

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Студент _____

Курс _____ Группа _____

Тема **Теплоснабжение города**

I. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Район строительства и генплан _____

2. Температура наружного воздуха

- расчетная для проектирования системы отопления $t_{н.о}^p =$ _____

- средняя отопительного периода $t_{н.о}^{cp} =$ _____

3. Продолжительность отопительного периода $Z =$ _____

4. Теплоноситель _____

5. Расчетные параметры теплоносителя $\tau_1^p =$ _____ $\tau_2^p =$ _____

6. Источник тепла _____

7. Сведения о системе теплоснабжения:

- вид (закрытая, открытая) _____

8. Способ прокладки тепловых сетей _____

II. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. 1. Введение
2. Расчет количества жителей в 1 и 2 микрорайоне
3. Расчет тепловых нагрузок: определение часовых и годовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение отдельно для жилых и общественных зданий города. Данные расчетов свести в таблицу.
4. Построение графика зависимости часовых расходов тепла на отопление жилых зданий (миллиметровка Ф.А4)
5. Построение графика часовых расходов тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий в зависимости от температуры наружного воздуха совместно для 1 и 2 микрорайонов (миллиметровка Ф.А4)
6. Построение годового графика расхода тепла по продолжительности тепловых нагрузок для города.
7. Расчёт и построение графика регулирования отпуска теплоты по нагрузке отопления (миллиметровка Ф.А4)
8. Расчет и построение графика регулирования отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный график) (миллиметровка Ф.А4)
9. Гидравлический расчет тепловой сети: описание расчета основной магистрали, расчета и увязкой 2-х ответвлений, данные расчетов свести в таблицу.
10. Определение толщины тепловой изоляции на головном участке тепловой сети.
11. Механический расчет тепловой сети (для участка 4-5):
 - определение максимального расстояния между неподвижными опорами по компенсирующей способности сальниковых компенсаторов,
 - определение усилий на неподвижную опору,
 - определение максимального пролета между подвижными опорами,
 - расчет на компенсацию тепловых удлинений плоских участков трубопроводов,
 - выбор размеров П-образного компенсатора

III. Графическая часть

1. Генплан города М 1:1000, с обозначением 1 и 2 микрорайонов
2. Тепловая сеть с нанесением участков сети, диаметров, длины, расхода воды на участке в соответствии с ГОСТ

3. Продольный профиль трассы основной магистрали тепловой сети $M_r = 1:1000$
 $M_b = 1:100$, пьезометрический график основной магистрали
4. Развернутая схема тепловой сети с нанесением тепловых камер, неподвижных опор (указать расстояние между неподвижными опорами), компенсаторов.
5. План и разрезы тепловой камеры $M 1:200$.
6. Лобовая неподвижная опора в двух проекциях $M 1:100$.
7. Скользящая и неподвижная опора $M 1:100$.
8. Непроходной канал $M 1:200$.

Руководитель проекта

Задание принял к исполнению

Срок сдачи

ЗАДАНИЕ №1.

Расчет тепловых нагрузок

Определение часовых и годовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение проводится для жилых и общественных зданий в соответствии с климатическими данными района строительства (СНиП 23-01-99). «Строительная климатология»

г.Москва

$t_{н.о}^p = -26^\circ\text{C}$ - температура наружного воздуха (расчетная) для проектирования отопления;
(Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (графа 5 табл. 1))

$t_{н.о}^p = -3,7^\circ\text{C}$ - температура наружного воздуха (средняя отопительного периода);

$Z_{ом} = 212\text{сут}$ - продолжительность отопительного периода.

Принимаются также по (СНиП 23-01-99., табл.1 графы 11,12) т. е. Со среднесуточной температурой наружного воздуха $\leq + 8^\circ\text{C}$.

Расходы тепла жилыми зданиями

1. Определение расхода тепла на отопление

$$Q_{ом} = 1,1(Q_{н.о} + Q_v - Q_{вн}), \text{Вт.}$$

1,1 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла в местной системе отопления, т. е. 10% запас на неучтенные потери;

$Q_{н.о}$ - потери тепла через наружные ограждения, Вт.

Q_v - расход тепла на вентиляцию (инфильтрацию), Вт.

$Q_{вн}$ - тепловые выделения внутри здания, Вт.

$$a) \quad Q_{н.о} = F_{жс} \cdot K_2 \cdot q_{н.о} (t_{вн} - t_{н.о}^p), \text{Вт}$$

$F_{жс}$ - жилая площадь, м^2 .

$$F_{жс} = N \cdot f_{жс}, \text{м}^2.$$

$f_{жс} = 12 - 18 \frac{\text{м}^3}{\text{чел}}$ - норма жилой площади, приходящаяся на одного человека. В расчетах принимать $18 \frac{\text{м}^3}{\text{чел}}$;

N - количество людей;

K_2 - объемный коэффициент здания (зависит от этажности, года строительства, материала из которого построено здание), $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^2}$

$$K_2 = 6,2 \div 7,3 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2}$$

$q_{н.о}$ - удельная отопительная характеристика здания (потери теплоты через наружные ограждения здания, отнесенные к его наружному объему и расчетной разности температур).

Принимаем здание с размерами:

$$a = 50\text{м}$$

$$b = 20\text{м}$$

$$H = 36\text{м}$$

$$q_{н.о} = \frac{Q_{н.о}}{V_n^{жс} \cdot (t_{вн} - t_{н.о}^p)} = 1,06 \cdot \left\{ \frac{P}{S} \cdot [K_{см} + d \cdot (K_{ок} - K_{см})] + \frac{1}{H} \cdot (K_q \cdot \varphi_q + K_{пол} \cdot \varphi_{пол}) \right\}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}};$$

• $V_n^{жс}$ - объем здания по наружному обмеру, м^3

$$V_n^{жс} = a \cdot b \cdot H = 50 \cdot 20 \cdot 36 = 36000 \text{ м}^3$$

P - периметр пола здания, м^2 ;

S - площадь пола здания, м^2 ;

K_{cm} - коэффициент теплопередачи наружных стен, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

$$K_{cm} = \frac{1}{R_{cm}}, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

R_{cm} - термическое сопротивление теплопередаче стен, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

d - степень остекления (для жилых зданий $d = 0,11-0,33$)

$\varphi_u, \varphi_{пол}$ - поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений $\varphi_u = 0,75 - 0,9$; $\varphi_{пол} = 0,5 - 0,7$;

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций следует принимать не менее требуемых значений R_0^{mp} , определяемых исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий, и условий энергосбережения.

- Определение $q_{н.о}$ из условий энергосбережения.

В соответствии с СНиП II-3-79* находим количество градусосуток отопительного периода (ГСОП):

$$ГСОП = (t_e - t_{ом.пер.}^{сп.}) \cdot Z_{ом.пер.} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

t_e - температура воздуха в помещении $t_e = 18^\circ\text{C}$;

$t_{н.о}^{сп.}$ - средняя температура отопительного периода, сут .

$$ГСОП = (18 - (-3,7)) \cdot 212 = 4600^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

Здания и помещения	Градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0^{mp} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных над холодными подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей	Фонарей
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты.	2000	2,1	3,2	2,8	0,30	0,30
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,60	0,40
	8000	4,2	6,2	5,5	0,70	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,50
	12000	5,6	8,2	7,3	0,80	0,55
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с вла-	2000	1,6	2,4	2,0	0,30	0,30
	4000	2,4	3,2	2,7	0,40	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,50	0,40
	8000	3,6	4,8	4,1	0,60	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,70	0,50

жным или мокрым режимом	12000	4,8	6,5	5,5	0,80	0,55
-------------------------	-------	-----	-----	-----	------	------

По таблице 16 СНиП II-3-79* находим исходя из значения ГСОП:

- Стены 4000 → 2,8; 6000 → 3,5; $R_{ст} = 3,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; $K_{ст} = \frac{1}{3,01} = 0,33 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$
- Окна 4000 → 0,45; 6000 → 0,6; $R_{ок} = 0,495 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; $K_{ок} = \frac{1}{0,495} = 2,02 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$
- Чердачные перекрытия 4000 → 3,7; 6000 → 4,6; $R_r = 3,97 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
 $K_q = \frac{1}{3,97} = 0,25 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$
- Покрытия (полы) 4000 → 4,2; 6000 →
 $5,2 R_{пол} = 4,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; $K_{ст} = \frac{1}{4,5} = 0,22 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$

$$q_{н.о} = 1,06 \cdot \left\{ \frac{140}{1000} \cdot [0,33 + 0,3 \cdot (2,02 - 0,33)] + \frac{1}{36} \cdot (0,25 \cdot 0,8 + 0,22 \cdot 0,6) \right\} = 0,134, \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{°C};$$

$$Q_{н.о} = 18 \cdot 7 \cdot 0,134 \cdot (18 - (-26)) = 743 \text{ Вт}/\text{чел}$$

б) расход тепла на вентиляцию (инфильтрацию)

$$Q_в = F_{жс} \cdot q_в^{жс} \cdot (t_в - t_{н.о}^p)$$

- $q_в^{жс} = l_{yd} \cdot C$ - удельная вентиляционная характеристика здания;

l_{yd} - удельный объем воздуха, т.е. кол-во воздуха, поступающего на 1 м^2 жилой площади в 1ч ($3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$)

C - удельная объемная теплоемкость воздуха = $0,35 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{°C}$

$$q_в^{жс} = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$$

$$Q_в = 18 \cdot 1,05 \cdot (18 - (-26)) = 832 \text{ Вт}/\text{чел}$$

в) Внутренние тепловыделения (от людей, осветительных приборов, электрических, бытовых приборов, газовых плит).

$$Q_{вн} = F_{жс} \cdot q'_{вн}, \text{ Вт}$$

- $q'_{вн} = q_{вн} \left(1 + \frac{F_{квх}}{F_{жс}} \right)$ - суммарные удельные тепловыделения, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

$q_{вн} = 21 \text{ Вт}/\text{м}^2$ - количество бытового тепла на 1 м^2 площади помещений.

$$\frac{F_{квх}}{F_{жс}} \sim 0,25$$

$$q'_{вн} = 21 \cdot (1 + 0,25) = 26 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

$$Q_{вн} = 18 \cdot 26 = 468, \text{ Вт}/\text{чел}$$

$$Q_{о.м} = 1,1 \cdot (743 + 832 - 468) = 1218 \text{ Вт}/\text{чел}$$

2. определение расхода тепла на ГВ зимой

$$Q_{\text{гв}}^3 = \frac{N \cdot q_{\text{сут}}^{\text{гв}} \cdot C \cdot (t_2 - t_x) \cdot (1 + \beta_2)}{24}, \text{Вт}$$

N - количество потребителей

$q_{\text{сут}}^{\text{гв}}$ - расход горячей воды одним жителем в сутки отопительного сезона, $\text{Вт}/\text{чел}$.

$$q_{\text{сут}}^{\text{гв}} = 105 \frac{\text{л}}{\text{сут}} \cdot \text{чел}$$

C - удельная теплоемкость воды = $1,16 \frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

t_2 - средняя температура воды в водоразборных стояках системы горячего водоснабжения

$$t_2 = 55^\circ\text{C}$$

t_x - температура холодной воды в водопроводе $t_x = 5^\circ\text{C}$

β_2 - коэффициент, зависящий от протяженности и мощности системы ГВ, при изолированных водоразборных стояках $\beta_2 = 0,05 \div 0,2$; а при неизолированных $\beta_2 = 0,1 \div 0,3$.

$$Q_{\text{гв}}^3 = \frac{1 \cdot 105 \cdot 1,16 \cdot (55 - 5) \cdot (1 + 0,2)}{24} = 305 \frac{\text{Вт}}{\text{чел}}$$

3. Определение расхода тепла на ГВ летом

$$Q_{\text{гв}}^{\text{л}} = Q_{\text{гв}}^3 \frac{t_2 - t_{\text{х.л.}}}{t_2 - t_{\text{х.з}}}, \text{Вт}$$

$t_{\text{х.з}}$ и $t_{\text{х.л}}$ - зимняя (5°C) и летняя (15°C) температура воды в водопроводе.

$\beta_{\text{л}}$ - коэффициент, учитывающий снижение летнего расхода тепла на ГВ по отношению к зимнему расходу; при отсутствии более конкретных данных $\beta_{\text{л}} = 0,8$, за исключением курортных и южных городов, для которых $\beta_{\text{л}} = 1,2$.

$$Q_{\text{гв}}^{\text{л}} = 305 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 195, \frac{\text{Вт}}{\text{чел}}$$

Расходы тепла общественными зданиями

4. Определение расхода тепла на отопление

$$Q_{\text{от}}^{\text{общ}} = 1,1 \cdot V_{\text{н}}^{\text{общ}} \cdot q_{\text{от}}^{\text{общ}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{п}}) \cdot (1 + \mu) \cdot \beta_t, \text{Вт}$$

1,1 – коэффициент учитывающий дополнительные потери тепла в системе отопления;

$V_{\text{н}}^{\text{общ}}$ - объем здания по наружному обмеру, м^3 .

$$V_{\text{н}}^{\text{общ}} = F_{\text{жс}} \cdot K_2 \cdot 0,25 = 18 \cdot 7 \cdot 0,25 = 31,5 \text{ м}^3$$

$q_{\text{от}}^{\text{общ}}$ - удельный расход тепла на отопление общественных зданий, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$

$$q_{\text{от}}^{\text{общ}} = 0,4 \div 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$$

μ - коэффициент, учитывающий расход теплоты на подогрев инфильтрационного воздуха, который при отсутствии приточной вентиляции = $0,1 - 0,2$; в зданиях с приточной вентиляцией $\mu = 0$.

β_t - температурный коэффициент, учитывающий изменения требуемого термического сопротивления наружных стен в зависимости от $t_{\text{н.о}}$.

$$\beta_t = 1 + 0,6 \cdot \frac{30 + t_{\text{н.о}}^{\text{п}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{п}}} = 1 + 0,6 \frac{30 + (-26)}{18 - (-26)} = 1,055$$

$$Q_{\text{от}}^{\text{общ}} = 1,1 \cdot 31,5 \cdot 0,45 \cdot (18 - (-26)) \cdot (1 + 0) \cdot 1,055 = 724 \frac{\text{Вт}}{\text{чел}}$$

2. Расход тепла на вентиляцию

$$Q_v^{общ} = V_n^{общ} \cdot q_v^{общ} (t_{вн} - t_{н.о}^p), \text{ Вт}$$

$q_v^{общ}$ - удельная вентиляционная характеристика общественных зданий $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$q_v^{общ} = 0,25 \div 0,35 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_v^{общ} = 31,5 \cdot 0,3 \cdot (18 - (-26)) = 416 \text{ Вт}/\text{чел}$$

3. Расход тепла на горячее водоснабжение

$$Q_{ГВ}^{общ} = \frac{q_{сут.сп}^{общ} \cdot N \cdot C (t_z - t_x) (1 + \beta_t)}{24}, \text{ Вт}/\text{чел}$$

$q_{сут.сп}^{общ} = 25 \text{ л}/\text{сут.} \cdot \text{чел}$ - норма расхода горячей воды для общественных зданий.

$$Q_{АА}^C = \frac{25 \cdot 1 \cdot 1,16 (55 - 5) (1 + 0,2)}{24} = 73 \text{ Вт}/\text{чел}$$

$$Q_{ГВ}^3 = 73 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 47 \text{ Вт}/\text{чел}$$

	Расходы тепла, Вт			
	На отопле- ние	На венти- ляцию	На ГВ (зи- мой)	ВСЕГО
Жилые дома	1218	-	305	1523
Общественные здания	724	416	73	1213
Итого:	1942	416	378	2736

Годовой расход тепла жилыми и общественными зданиями

1. Годовой расход тепла на систему отопления.

$$Q_{от}^{год} = (Q_{от}^{ж} + Q_{от}^{общ}) \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{cp}}{t_{вн} - t_{н.о}^p} \cdot Z_{от.пер}, \text{ Вт}/\text{год.чел}$$

$$Z_{от.пер} = 212 \cdot 24 = 5088 \text{ час}/\text{год}$$

$$Q_{от}^{год} = (1218 + 724) \frac{18 - (-3,7)}{18 - (-26)} \cdot 5088 = 4873078, \text{ Вт}/\text{год.чел}$$

2. Годовой расход тепла на систему вентиляции.

$$Q_v^{год} = \frac{Z}{24} \cdot Q_v^{общ} \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{cp}}{t_{вн} - t_{н.о}^p} \cdot Z_{от.} =$$

$$= \frac{16}{24} \cdot 416 \cdot \frac{18 - (-3,7)}{18 - (-26)} \cdot 5088 = 695915 \text{ Вт}/\text{год.чел}$$

Z- число часов работы системы вентиляции $Z = 16 \text{ час}/\text{сут.}$

3. Годовой расход тепла на систему горячего водоснабжения.

$$Q_{ГВ}^{zod} = Q_{ГВ}^3 \cdot Z_{om} + Q_{ГВ}^n \cdot (8400 - Z_{om}) = 378 \cdot 5088 + 242(8400 - 5088) =$$

$$= 2724768 \text{ Bm} / \text{годчел}$$

Суммарный годовой расход тепла жилыми и общественными зданиями.

$$Q_{zod}^{\Sigma} = Q_{om}^{zod} + Q_{в}^{zod} + Q_{ГВ}^{zod}, \text{ Bm} / \text{годчел}$$

$$Q_{zod}^{\Sigma} = 4873078 + 695915 + 2724768 = 8293761 = 8,29 \text{ MBm} / \text{чел.год}$$

График зависимости часовых расходов тепла жилым зданием от наружной температуры.

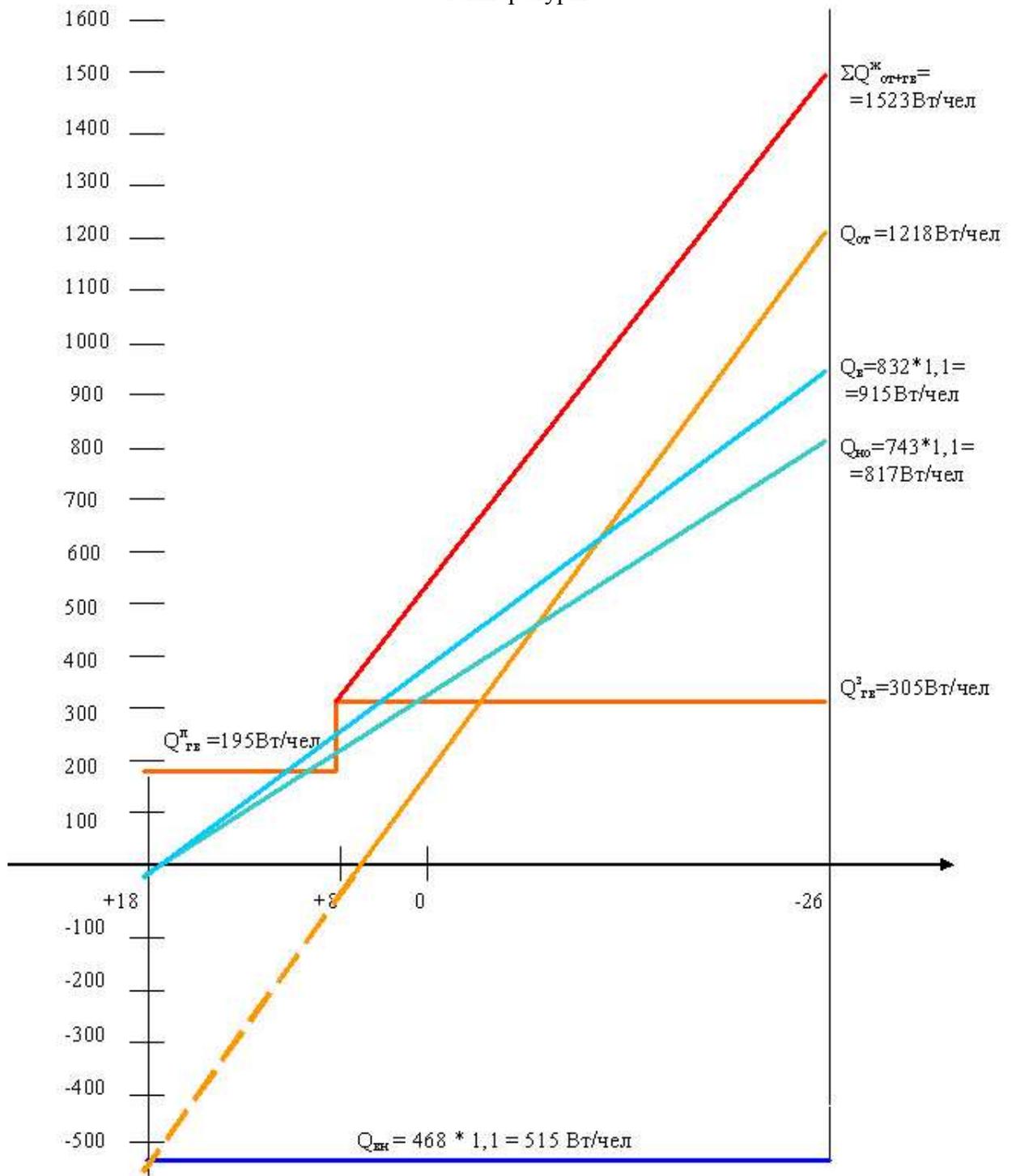
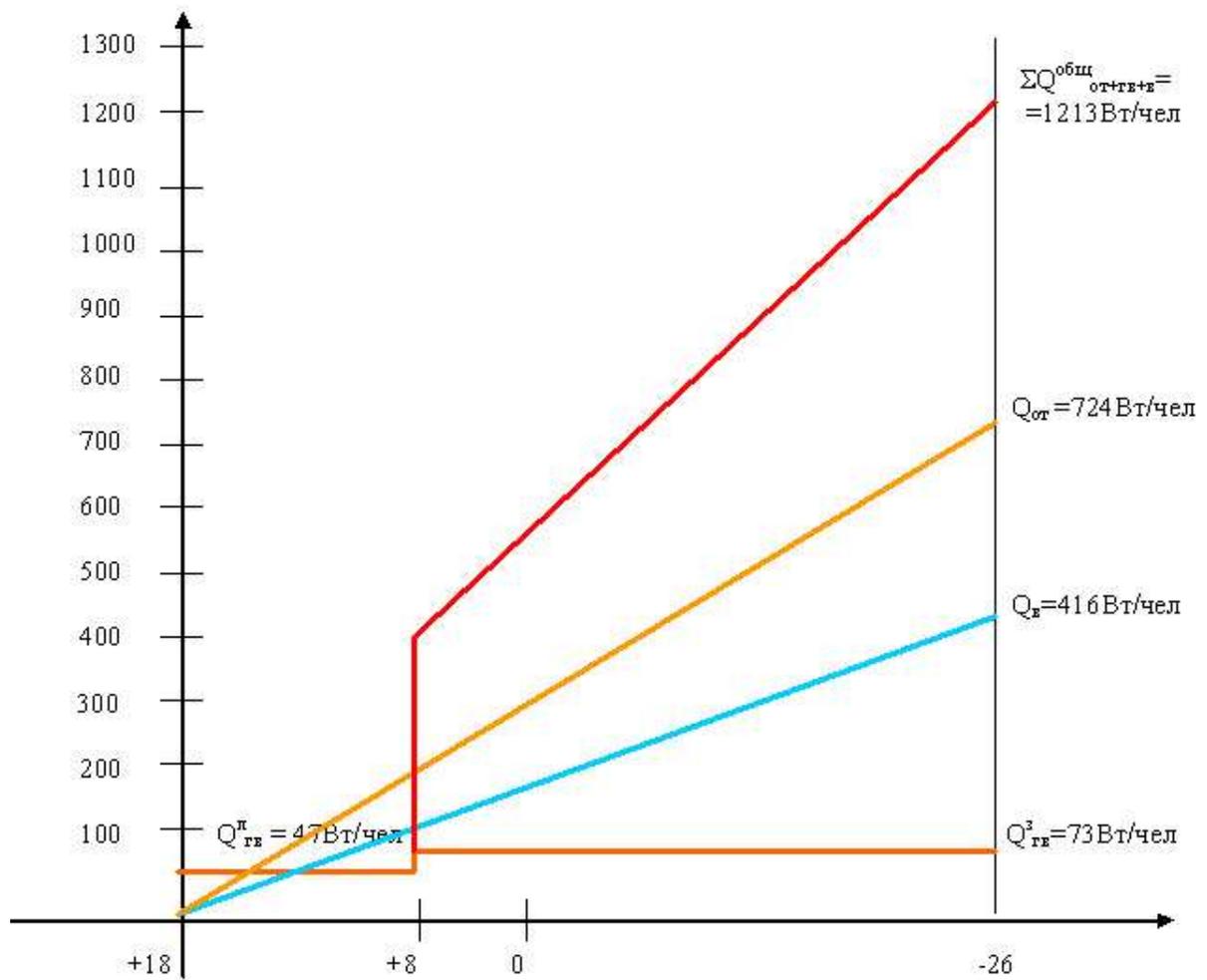


График зависимости часовых расходов тепла общественным зданием от наружной температуры.



**Задача №2. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ
ПО НАГРУЗКЕ ОТОПЛЕНИЯ**

1. Необходимое количество подаваемой теплоты зданиям определяется из условия $t_{вн}=\text{const}$ и линейной зависимости разности температур:

$$Q = \frac{Q}{Q^P} = \frac{t_{вн}^P - t_n^P}{t_{вн}^P - t_n^P}$$

Линейная зависимость является следствием принятия коэффициента теплопередачи через ограждения здания постоянным.

2. Теплота Q поступает в помещения здания через нагревательные приборы от греющего теплоносителя, параметры которого и расход должны быть такими, чтобы обеспечить подачу требуемого количества. Температурный график нагревательного прибора (рис. 1) иллюстрирует процесс передачи теплоты, который описывается уравнением теплопередачи:

$$Q = kF((\tau_3 + \tau_2)/2 - t_{вн}) = kF\Delta t_{cp}$$

и уравнением баланса тепла для теплоносителя:

$$Q = (\tau_3 + \tau_2) = W\Delta\tau_{от}$$

Баланс тепла для воздуха написать нельзя, так как $t_{вн}=\text{const}$

В приведенной системе уравнений заданы: Q, F, t_b, k .

Коэффициент теплопередачи k задан числом, если он принимается постоянным, или математической зависимостью, по которой его можно определить. Известные величины: τ_3, τ_2, W . Одно неизвестное лишнее, его надо задать законом изменения. Если $W=\text{const}$, тогда осуществляется качественное регулирование, если $\tau_3=\text{const}$ - количественное. Возможно качественно-количественное регулирование.

Запишем уравнения в безразмерном виде:

$$Q = k\Delta t_{cp}, \quad Q = W\Delta\tau_{от}.$$

Изменение коэффициента теплопередачи нагревательных приборов определяется экспериментально и аппроксимируется следующей математической зависимостью:

$$K = \Delta t_{cp}^n,$$

Где n в зависимости от типа нагревательного прибора изменяется в пределах 0,25 – 0,32.

Из решения уравнения получаем:

$$\tau_3 = \tau_2 + \Delta\tau_{от}^{\frac{Q}{W}} \quad ;$$

от

$$\tau_3 = t_{вн} + \Delta t_{cp}^p \cdot Q \frac{1}{n=1} - 0.5 \Delta \tau_{от}^p \frac{Q}{W_{от}} .$$

При качественном регулировании $W_{от}$ поддерживают на источнике, а τ_2 - температура воды на выходе из нагревательных приборов (реакция системы на процесс отопления здания).

Если на пути теплоносителя от источника тепла до системы отопления установлен трансформатор температуры для ее снижения (например элеватор), тогда необходимо найти закон изменения температуры на входе (τ_1) в зависимости от требуемой температуры на выходе (τ_2). Для элеваторного ввода (рис.2) коэффициент смещения остается постоянным:

$$U = \frac{W_{от} - W_{mc}}{W_{mc}} = \text{const}, \text{ тогда}$$

$$\tau_3 W_{от} = \tau_1 W_{тс} + \tau_2 (W_{от} - W_{тс});$$

$$\tau_3 (1+W) = \tau_1 + \tau_2 U;$$

$$\tau_1 = \tau_3 + (\tau_1^p - \tau_3^p) \frac{Q}{W_{от}} = \tau_3 + (\Delta T_{тс}^p - \Delta T_{от}^p) \frac{Q}{W_{от}} ;$$

$$\tau_1 = \tau_2 + \Delta T_{тс}^p \frac{Q}{W_{от}} .$$

Температуру τ_1 для закрытых систем теплоснабжения не снижают ниже 70 С.

ПРИМЕР

$$\text{Задано: } t_{вн}^p = 18, \tau_1^p = 150, \tau_3^p = 95, \tau_2^p = 70, t_{н.о}^p = 25.$$

Решение:

1. Определяем параметры для основных точек.

а) Расчетные условия для отопления:

$$t_{н.о}^p = 25, Q=1, \tau_1^p = 150, \tau_3^p = 95, \tau_2^p = 70;$$

б) Точка излома графика температур:

$$\tau_1 = 70; 70 = 18 + 64,5 \cdot Q_{из}^{0,75} - 0,5 \cdot 25 Q_{из} + 80 Q_{из}, \text{ где}$$

$$\Delta t_{cp}^p = 64,5; \Delta \tau_{om}^p = 25; \Delta \tau_{mc}^p = 80, \text{ отсюда } Q_{uz} = 0,34;$$

$$0,34 = \frac{18 - t_{uz}}{18 + 25}; t_{uz} = 3,3; \tau_2 = 18 + 64,5 \cdot 0,34 \cdot 0,75 - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,34 = 42,5,$$

$$\tau_3 = 42,5 + 25 \cdot 0,34 = 51.$$

с) Конец отопительного периода:

$$t_n = 8; Q = \frac{18 - 8}{18 + 25} = 0,23; \tau_2 = 18 + 64,5 \cdot 0,23 \cdot 0,75 - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,23 = 36,4;$$

$$\tau_3 = 36,4 + 25 \cdot 0,23 = 42,2; \tau_1 = 36,4 + 80 \cdot 0,23 = 54,8.$$

2. Рассчитываем параметры для промежуточных значений Q, равных 0,75; 0,5. Все рассчитанные параметры сводим в таблицу.

Q	t _n , °C	τ ₁ , °C	τ ₃ , °C	τ ₂ , °C
1	-25	150	95	70
0,75	-14,3	121,3	80	61,3
0,5	-3,5	90,1	62,6	50,1
0,34	3,3	70	51	42,5
0,23	8	54,9	42,2	36,4

По полученным данным строим температурный график (рис.3).

ЗАДАЧА №4. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЫ С РР НА ВВОДЕ В ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ

Графики регулирования определяются из условия что в тепловой пункт поступает постоянный расход сетевой воды, поддерживаемый РР (рис.1), равный расходу воды на отопление в расчетном режиме:

$$G_{mc} = Q_{om}^p / c (\tau_1^p - \tau_2^p).$$

Так как температура воды, подаваемая на горячее водоснабжение, в течение года постоянная, t_r=65 °C (поддерживается регулятором РТ), а температура воды в подающей магистрали и на выходе из систем отопления переменные, то имеют место три разнохарактерных диапазона (рис.2).

Температура воды в подающей магистрали $\tau_1=65\text{ }^\circ\text{C}$, вследствие чего весь расход воды на горячее водоснабжение определяется из нее (диапазон 1).

Температура воды в подающей магистрали $\tau_1 > 65\text{ }^\circ\text{C}$, а из систем отопления $\tau_2 < 65\text{ }^\circ\text{C}$, поэтому отбор воды на горячее водоснабжение производится из подающей и обратной линий в количествах, определяемых из материальных и тепловых балансов (диапазон 2):

$$\begin{aligned} G_{зв} &= G_{зв}^n + G_{зв}^{об}; \\ G_{зв} \cdot t_z &= G_{зв}^n \cdot \tau_1 + G_{зв}^{об} \cdot \tau_2. \end{aligned}$$

При этом расход воды, поступающей в систему отопления, становится меньше расчетного значения ($Q_{om} < Q_{om}^P$) и для обеспечения нагрузки отопления температуру подаваемой сетевой воды необходимо принимать более высокой, чем при качественном методе регулирования нагрузки отопления.

Температура воды на выходе из систем отопления $\tau_2 \geq 65\text{ }^\circ\text{C}$, поэтому отбор воды на горячее водоснабжение производится из обратной линии (диапазон 3). Количество отбираемой воды (при $t_z=65\text{ }^\circ\text{C}$) определяется из материальных и тепловых балансов в смесителе:

$$\begin{aligned} G_{зв} &= G_{зв}^{об} + G_x; \\ G_{зв} t_z &= G_{зв}^{об} \cdot \tau_2 + G_x t_x. \end{aligned}$$

Повышенный температурный график в диапазоне II строится для балансовой нагрузки горячего водоснабжения $G_{зв}^b = \alpha Q_{зв}^{cp}$, при которой обеспечивается требуемый суточный отпуск теплоты в систему отопления. Балансовый коэффициент α учитывает характер влияния часовой неравномерности потребления воды на горячее водоснабжение в течение суток на теплоотдачу отопительных приборов, так как при уменьшении расхода воды через отопительные приборы теплоотдача снижается в большей степени, чем при увеличении расхода воды. В открытых системах принимается: $\alpha=1$ при установке баков аккумуляторов в системах горячего водоснабжения и $\alpha=1,1$ - при отсутствии баков аккумуляторов.

При построении графиков температур и расходов воды в диапазоне II используются следующие зависимости:

Доля воды, отбираемая на горячее водоснабжение из подающей магистрали

$$a = \frac{G_{zv}^n \cdot (t_2 - \tau_k)}{G_{zv} \cdot (\tau_1 - \tau_k)} \quad (1)$$

Отношение среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение к расчетному расходу теплоты на отопление

$$\rho_{zv}^{cp} = \frac{Q_{zv}^{cp}}{Q_{om}^p} = \frac{G_{zv}^{cp}}{G_{om}^p} \cdot \frac{\tau_1^p - \tau_2^p}{\tau_2 - t_x} \quad (2)$$

Отношение текущих значений нагрузок отопления к расчетному расходу теплоты на отопление

$$Q_{om} = G_{om} \cdot \frac{\tau_1 - \tau_k}{\tau_1^p - \tau_2^p} \quad (3)$$

При повышенном температурном графике отпуск теплоты в систему отопления может быть определен из уравнения:

$$Q_{om} = (G_{om}^p - \alpha G_{zv}^{\bar{b}}) c (\tau_1 - \tau_k).$$

Разделив обе части уравнения на

$$Q_{om}^p = G_{om}^p c (\tau_1^p - \tau_2^p)$$

и подставив зависимости (1)...(3), получаем

$$\tau_k = t_2 - \frac{(t_2 - t_x) \left(\frac{1}{G_{om}} - 1 \right) Q_{om}}{\rho_{zv}^{\bar{b}}}, \quad (4)$$

где $\rho_{zv}^{\bar{b}} = \alpha \rho_{zv}^{cp}$.

Так как при качественно-количественном методе регулирования температура воды на выходе из систем отопления определяется по формуле

$$\tau_k = t_{\text{вн}} + \Delta t_{np}^p Q^{0,76} - 0,5(\tau_3^p - \tau_2^p) \frac{Q_{om}}{G_{om}}, \quad (5)$$

то, приравняв первые части уравнений (4) и (5), находим

$$G_{om} = \frac{1 - 0,5 \cdot \rho_{zv}^{\bar{b}} \cdot \frac{\tau_3^p - \tau_2^p}{t_z - t_x}}{1 + \frac{t_z - t_x}{dy} \cdot \frac{\rho_{zv}^{\bar{b}}}{\rho_{zv}^p} - \frac{\Delta t_{np}^p}{np} \cdot \frac{\rho_{zv}^{\bar{b}}}{\rho_{zv}^p} \cdot \frac{Q_{om}}{t_z - t_x} \cdot \frac{0,24}{Q_{om}}} \quad (6)$$

Из (3), (2) и (1) получаем

$$\tau_l = \tau_k + (\tau_1^p - \tau_2^p) \frac{Q_{om}}{G_{om}},$$

$$G_{zv}^{cp} = \rho_{zv}^{cp} \cdot \frac{t_z - t_x}{\tau_1^p - \tau_2^p},$$

$$G_{zv}^z = a \cdot G_{zv}^{cp}; \quad G_{zv}^{ob} = (1-a)G_{zv}^{cp}$$

Пример расчета при исходных данных: $\tau_1^p = 150$; $\tau_3^p = 105$; $\tau_2^p = 70$; $t_z = 65$; $t_x = 5$; $t_{\text{вн}} = 18$;

$\rho_{zv}^{cp} = 0,2$; $\alpha = 1,1$; $Q_{om} = 0,5$.

$$G_{om} = \frac{1 - 0,5 \cdot 0,22 \cdot \frac{105 - 70}{65 - 5}}{1 + \frac{65 - 18}{65 - 5} \cdot \frac{0,22}{0,5} - \frac{69,5}{65 - 5} \cdot \frac{0,22}{0,5} \cdot \frac{0,24}{0,24}} = 0,897;$$

где $\rho_{zv}^{\bar{b}} = 1,1 \cdot 0,2 = 0,22$; $\Delta t_{np}^p = \frac{105 + 70}{2} - 18 = 69,5$ °C;

$$\tau_k = 65 - \frac{(65 - 5) \left(\frac{1}{0,897} - 1 \right) \cdot 0,5}{0,22} = 49,3$$
 °C;

$$t_1 = 49,3 + (150 - 70) \frac{0,5}{0,897} = 93,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$G_{\text{зв}}^{\text{сп}} = 0,2 \cdot \frac{150 - 70}{65 - 5} = 0,27; \quad a = \frac{65 - 49,3}{93,9 - 49,3} = 0,35;$$

$$G_{\text{зв}}^{\text{n}} = 0,35 \cdot 0,27 = 0,09; \quad G_{\text{зв}}^{\text{o}} = (1 - 0,35) \cdot 0,27 = 0,18.$$

Аналогично определяем параметры при других значениях α и по результатам строим графики температур и расходов воды.

ЗАДАЧА №5. ПОСТРОЕНИЕ СКОРРЕКТИРОВАННОГО ГРАФИКА ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ БЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ РАСХОДА У АБОНЕНТОВ

У рассматриваемой системы осуществляется связанное регулирование подачи теплоты на отопление здания и на горячее водоснабжение. Ограничение расхода обеспечивается циркуляционным насосом (ЦН) (рис. 1) на источнике теплоты (ИТ). Для исключения разрегулировки подачи теплоты абонентам, необходимо, чтобы все абоненты имели одинаковую гидравлическую устойчивость:

$$K = \Delta H_{\text{аб}} / \Delta H_{\text{мс}} = \Delta H_{\text{аб}}$$

В этом случае степень изменения расхода воды через отопление при изменении отбора ГВ для всех абонентов будет примерно одинаково. Этого достигают путем установки диаграмм на абонентских вводах на подающей (D_n) и обратной (D_o) линиях, добиваясь того, чтобы располагаемый номер перед всеми абонентами $\Delta H_{\text{аб}}$ при чисто отопительной нагрузке был одинаковым.

Циркуляционный насос на источнике теплоты поддерживает $H_{\text{н}} \sim \alpha \frac{H}{p}$. При пологой характеристике насоса можно считать $\alpha \sim 1$, тогда $H_{\text{н}} \sim \text{const}$. Подачу теплоты в систему отопления регулируют качественным способом, изменяя температуру в подающей линии по отопительному графику. Система рассчитывается и отлаживается на отопительный (отопление и вентиляция) расход без учета потребления горячей воды. Отладку ведут так,

чтобы полные напоры в подающей и обратной линиях перед узлами присоединения абонентов были одинаковые. В этом случае будет и одинаковая гидравлическая устойчивость.

В осенне-весенний период в подающей линии температура поддерживается постоянной и равной 65 °С, поэтому отбор осуществляется только из этой линии. По обратной линии идет отопительный расход. Эти расходы будут максимальными, но отбор воды на ГВ регулируется регулятором температуры РТ, поэтому подача воды в систему отопления (при балансовом расходе на ГВ) будет меньше требуемой величины и помещения будут недогреться. И это будет несмотря на то, что при водоразборе общее гидравлическое сопротивление системы уменьшается (включается параллельный контур через водоразборную арматуру).

При низких наружных температурах отбор воды на ГВ осуществляют только из обратной линии после системы отопления. Это приведет к сокращению расхода через систему теплоснабжения и увеличению подачи воды и теплоты в системы отопления. Поэтому здания будут перегреваться.

Для исключения недогрева помещений в осенне-весенний период и перегрева зимой отопительный график корректируют, понижая температуру зимой и повышая в осенне-весенний период. Для расчета графика необходимо составить систему уравнений.

1. Гидравлический режим основного контура системы теплоснабжения определяется вторым законом Кирхгофа:

$$\alpha H_n = (S_{om} + S_o)(V_{om} + a V_{2\beta})^2 + S_{om} \cdot V_{om}^2 + S_o [V_{om} - (1-a)V_{2\beta}]^2.$$

(обозначения даны на рис.1).

Заменяя объемные расходы тепловыми эквивалентами, принимая напор насоса равным $\alpha H_n = \alpha S \Sigma V_{om}^2$ и переходя к безразмерным величинам, получаем следующую зависимость:

$$A = S_n (W_{om} + Q \mu_{\delta})^2 + S_{om} W_{om}^2 + S_o [W_{om} - (1-a) \mu_{\delta}], \quad (1)$$

где $\mu_{\delta} = Q_{2\beta} / Q_{om}^p$; $a = G_{2\beta}^n / G_{2\beta}^{\Sigma} = W_{2\beta}^n / W_{2\beta}^{\Sigma}$.

2. Напишем уравнение баланса тепла для воды, отбираемой из сети, из условия получения заданной температуры горячей воды t_2 .

$$t_2 = a \tau_n + (1-a) \tau_k, \quad (2)$$

Где τ_n и τ_k - начальная и конечная температуры в тепловой сети на абонентском вводе по скорректированному графику.

3. Уравнение баланса тепла, подаваемого теплоносителем на отопление:

$$Q_{om} = W_{mc.om} (\tau_n - \tau_k).$$

Этот расход тепла равен потребному количеству:

$$Q_{om} = W_{mc.om}(\tau_1 - \tau_2).$$

Из сравнения этих балансов получаем

$$W_{om} = \frac{\tau_H - \tau_K}{\tau_1 - \tau_2} = 1 \quad (3)$$

4. Уравнение теплопередачи через нагревательные приборы отражает реакцию системы отопления на входной поток тепла:

$$\tau_K = \tau_{вн}^p + \Delta t_{cp}^p \cdot Q_{om}^{0,76} - 0,5 \cdot \Delta \tau_{om}^p \cdot \frac{Q_{om}}{W_{om}} \quad (4)$$

При элеваторном присоединении $W_{mc} = W_{om}$.

Уравнения (1)...(4) написаны для балансового режима потребления горячей воды и составляют замкнутую систему. Неизвестными являются: W_{om} , a , τ_H , τ_K .

Решение системы удобно осуществлять, используя соотношения, получаемые из уравнений (2)...(4):

$$a = A W_{om} + B, \quad (5)$$

$$A = \frac{t_z - t_{вн}^p - \Delta t_{cp}^p \cdot Q_{om}^{0,76}}{\Delta \tau_{mc}^p \cdot Q_{om}}, \quad (6)$$

$$B = \frac{0,5 \tau_{om}^p}{\Delta \tau_{mc}^p} \quad (7)$$

Для определения целесообразно использовать соотношение

$$Q_{om}/Q_{om}^p = W_{om}(\tau_H - \tau_K)/W_{om}^p (\tau_1^p - \tau_2^p) \text{ или} \quad (8)$$

$$\tau_H = \tau_K + \Delta \tau_{mc}^p \cdot \frac{Q_{om}}{W_{om}}$$

Методика построения скорректированного графика

Рассчитываем параметры граничных точек скорректированного графика

1. $Q_{om}=1$; $a=0$;
2. $a=0$; $\tau_k=65^\circ\text{C}$;
3. $a=1$; $\tau_H=65^\circ\text{C}$.
4. Далее рассчитываем промежуточные точки i : $Q_{om, i}$.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

1. $Q_{om}=1$, $a=0$, W_{om} , τ_k , τ_H .
2. $a=0$, $\tau_k=65^\circ\text{C}$, W_{om} , Q_{om} , τ_H .
3. $a=1$, $\tau_H=65^\circ\text{C}$, W_{om} , Q_{om} , τ_k , τ_H .
4. Q_{om} Б, A_i , τ_k , τ_H .

ПРИМЕР

Задано: $\alpha=1$; $S_n=0,5$; $S_{om}=0,2$; $S_o=0,3$; $\mu_o=0,37$;

$$t_{вн}^P = 18^\circ\text{C}; \tau_1^P = 45^\circ\text{C}; \tau_2^P = 70^\circ\text{C}; \Delta t_{ср}^P = 64,5^\circ\text{C}; \Delta t_{om}^P = 25^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{тс}^P = 80^\circ\text{C}; t_{но}^P = -26^\circ\text{C}.$$

Решение:

1) $Q_{om}=1$; $a=0$;

$$1=0,5 \cdot W_{om}^2 + 0,2 \cdot W_{om}^2 + 0,3(W_{om}-0,37)^2,$$

отсюда $W_{om}=1,1$,

$$\tau_k = 18 + 64,5 - 0,5 \cdot 25 \frac{1}{1,1} = 71,1^\circ\text{C};$$

$$\tau_H = 71,1 + 80 \frac{1}{1,1} = 143,8^\circ\text{C};$$

2) $a=0$; $\tau_k=65$;

$$W_{om}=1,1.$$

$$65 = 18 + 64 Q_{om}^{0,76} - 0,5 \cdot 25 \frac{Q_{om}}{1,1}, \text{ отсюда } Q_{om}=0,84,$$

$$\tau_H = 65 + 80 \frac{0,84}{1,1} = 126,1^\circ\text{C}.$$

3) $a=1$; $\tau_n=65$.

$$1=0,5(W_{om}+0,37)^2+0,2W_{om}^2+0,3W_{om}^2, \text{ отсюда } W_{om}=0,798,$$

$$65 = \tau_k + 80 \frac{Q_{om}}{0,798}; \tau_k = 65 - 100,3 Q_{om};$$

$$\tau_k = 18 + 64,5 \cdot Q_{om}^{0,76} - 0,5 \cdot 25 \frac{Q_{om}}{0,798}; \tau_n = 18 + 64 Q_{om}^{0,76} - 15,7 Q_{om}.$$

$$\text{Следовательно: } 65 - 100,3 Q_{om} = 18 + 64,5 Q_{om}^{0,76} - 15,7 Q_{om}.$$

отсюда $Q_{om}=0,28$.

$$\tau_k = 65 - 100,3 \cdot 0,28 = 36,9^\circ\text{C}; \tau_n = 36,9 + 80 \frac{0,28}{0,798} = 65^\circ\text{C}.$$

4) $t_n=0$; $Q = \frac{18}{44} = 0,41$.

W_n, W_o, W_{om} - относительные расходы в подающей и обратной линиях и в системах отопления

$\alpha\mu; (1-\alpha)\mu$ - относительные отборы воды на ГВ из подающей и обратной линий тепловой сети

$$B = 0,5 \frac{25}{50} = 0,156; A = \frac{65 - 18 - 64,5 \cdot 0,41^{0,76}}{80 \cdot 0,41} = 0,434.$$

$$a = 0,434 W_{om} + 0,156; 1 = 0,5(W_{om} + a \cdot 0,37)^2 + 0,2W_{om}^2 + [W_{om} - (1-a) \cdot 0,3]^2.$$

Решая систему уравнений, получаем $W_{om}=0,991$; $a=0,59$; $\tau_k=45,6^\circ\text{C}$; $\tau_n=78,7^\circ\text{C}$.

На рис.2 построены скорректированный график температур (а) и график расходов воды (б).

ЗАДАЧА №6 РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

1. Выбор поверхности теплообменников (параллельная схема присоединения горячего водоснабжения, независимая схема присоединения систем отопления).

1) Простейшая схема

2) Блок-схема расчета

$$Q^{макс} = \tau_1, \tau_2, t_2, t_x \rightarrow G_z^{макс}, G_x^{макс} \rightarrow f_{mp}, f_{np} \rightarrow \text{Тип теплообменника, т.е. } d_{mp}, d_{экв},$$

$$f_{mp}, f_{np}, F_{сек} \rightarrow V_{mp}, V_{np} \rightarrow t_x^{cp}, t_z^{cp} \rightarrow K \rightarrow \Delta t_{cp}^л \rightarrow F \rightarrow N_{сек} \rightarrow$$

$$\rightarrow \Delta P_{mp}, \Delta P_{np}.$$

3) Основные расчетные зависимости

$\tau_2 = t_x + 5 + 25^\circ\text{C}$ (из технико-экономических расчетов);

$$Q^{макс} = G^{макс} c(\tau_1 - \tau_2) = G_x^{макс} c(t_2 - t_x);$$

$$f_{mp} = \frac{G_{mp}^{макс}}{1 \cdot \rho}; f_{np} = \frac{G_{np}^{макс}}{1 \cdot \rho}.$$

Тип теплообменника (из справочных данных, ГОСТ 27590-88);

$$V_{mp} = \frac{G_{mp}^{макс}}{f_{mp} \cdot \rho}; V_{np} = \frac{G_{np}^{макс}}{f_{np} \cdot \rho}$$

$$t_x^{cp} = \frac{t_z + t_x}{2}; \tau_z^{cp} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot t_{cp} - 0,041 \cdot t_{cp}^2) \cdot \frac{V_{mp}^{0,8}}{d_{mp}^{0,2}} \quad (\text{при прохождении в трубках нагреваемой}$$

среды);

$$\alpha_{mn} = \varphi(\tau_{cp}) \cdot \frac{V \cdot m}{d \cdot \frac{1-m}{ж}}$$

($m=0,78$ для гладких трубок, $m=0,75$ для профилированных трубок; $\varphi(\tau_{cp})$ из таблицы ГОСТа 27590-88);

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\delta t_{б} - \delta t_{ж}}{\ln \frac{\delta t_{б}}{\delta t_{ж}}}; F = \frac{Q^{макс}}{K \Delta t_{cp}}; N_{сек} = \frac{F}{F_{сек}};$$

$$\Delta P_{mp} = 6714 \cdot V_{mp}^2 \cdot N, [\text{Па}]; \Delta P_{mn} = 28300 \cdot V_{mn}^2 \cdot N, [\text{Па}].$$

4) Пример расчета.

Подобрать водоводяной скоростной теплообменник (ГОСТ 27590-88) (прил.2,3) для подогрева водопроводной воды, поступающей в систему горячего водоснабжения при исходных данных: $Q_{зв}^{макс} = 1 \cdot 10^6 \text{Вт}$; $\tau_1 = 70^\circ\text{C}$; $\tau_2 = 30^\circ\text{C}$; $t_1 = 65^\circ\text{C}$; $t_x = 5^\circ\text{C}$. Определить площадь поверхности нагрева, число секций в теплообменнике и потери давления по греющей и нагреваемой воде.

$$G_z^{макс} = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(70 - 30)} = 21496 \text{ кг/ч}; G_x^{макс} = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(65 - 5)} = 14331 \text{ кг/ч}.$$

В теплообменниках ГВ в трубках проходит нагреваемая вода, в межтрубном пространстве – греющая, поэтому

$$F_{mp} = \frac{14331}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0041 \text{ м}^2; f_{mn} = \frac{21496}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0061 \text{ м}^2.$$

По ГОСТу 27590-88 выбираем тип подогревателя:

ПВ – 114 х 4 – 1,0 – РГ – 6 – УЗ с гладкими трубками,
 $d_{mp} = 0,014 \text{ м}$; $d_{жв} = 0,0155$; $F_{mp} = 0,0293 \text{ м}^2$; $f_{mn} = 0,005 \text{ м}^2$; $F_{сек} = 3,58 \text{ м}^2$
(число секций подсчитано ниже).

$$V_{mp} = \frac{14331}{0,00293 \cdot 975 \cdot 3600} = 1,393 \text{ м/с};$$

$$V_{mn} = \frac{21496}{0,005 \cdot 975 \cdot 3600} = 1,225 \text{ м/с};$$

$$t_x^{cp} = \frac{65 + 5}{2} = 35^\circ\text{C}; \quad \tau_2^{cp} = \frac{70 + 30}{2} = 50^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{cp} = (1630 + 21 \cdot 38,75 - 0,041 \cdot 38,75^2) \cdot \frac{1,393^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 7292,8 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\alpha_{mn} = 4129 \cdot \frac{1,225^{0,78}}{0,0155^{0,22}} = 12103 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{7292,8} + \frac{1}{12103}} = 3868,9 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp}^{\text{л}} = \frac{25 - 5}{\ln \cdot \frac{25}{5}} = 12,43^\circ\text{C};$$

$$F = \frac{1 \cdot 10^6}{3868 \cdot 12,43} = 20,8 \text{ м}^2;$$

$$N_{сек} = \frac{20,8}{3,58} = 5,8. \text{ Принимаем к установке } N_{сек} = 6 \text{ шт.}$$

$$\Delta P_{mp} = 6714 \cdot 1,393^2 \cdot 6 = 78169 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{mn} = 28300 \cdot 1,225^2 \cdot 6 = 254806 \text{ Па}.$$

В теплообменник, рассчитанный в примере, поступает греющая вода с $\tau_1 = 150^\circ\text{C}$. Определить расход греющей воды и температуру ее на выходе при той же тепловой нагрузке.

Итерационный метод

Задаемся $\tau_2 = 6,3^\circ\text{C}$;

$$G = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(150 - 6,3)} = 5983 \text{ кг/ч};$$

$$t_x^{cp} = \frac{65 + 5}{2} = 35^\circ\text{C}; \quad \tau_1^{cp} = \frac{150 + 6,3}{2} = 78,15^\circ\text{C};$$

$$V_{mp} = \frac{14331}{0,00293 \cdot 975 \cdot 3600} = 1,393 \text{ м/с};$$

$$V_{mn} = \frac{5983,6}{0,005 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,341 \text{ м/с};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot 45,79 - 0,041 \cdot 45,79^2) \cdot \frac{1,393^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 7670,9 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\alpha_{mn} = 4700,9 \cdot \frac{0,341^{0,78}}{0,0155^{0,22}} = 5080 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{7670,9} + \frac{1}{5080}} = 2598,6 \frac{Вт}{(м^2, °C)};$$

$$\Delta f_{cp}^{\lambda} = \frac{85 - 1,3}{\frac{8,5}{1,3}} = 20,02 °C;$$

$$F' = \frac{1 \cdot 10^6}{2598,6 \cdot 20,02} = 19,22 \text{ м}^2;$$

$$\frac{F - F'}{F} = \frac{20,8 - 19,22}{20,8} = 0,076 \text{ (т.е. 7,6\%)}.$$

$$A = \frac{12,43}{\sqrt{(70 - 30)(65 - 5)}} = 0,254;$$

$$E = \frac{65 - 5}{150 - 5} = 0,414.$$

Метод безразмерных комплексов

Принимаем $\theta = 2,4$ и определяем

$$Z = \frac{1 - \theta}{A\sqrt{\theta}} = \frac{1 - 2,4}{0,254\sqrt{2,4}} = -3,558.$$

Проверяем

$$\varepsilon = \frac{l^z - 1}{l^z - \theta}; \quad 0,414 = \frac{l^{-3,558} - 1}{l^{-3,558} - 2,4};$$

$$0,414 = 0,41$$

$$W_x = \frac{Q}{65 - 5} = \frac{1 \cdot 10^6}{60} = 16666,7 \text{ Вт/}°C;$$

$$W_z = \frac{16666,7}{2,4} = 6944,4 \text{ Вт/}°C; \quad \tau_2 = 150 - \frac{1 \cdot 10^6}{6944,4} = 150 - 144 = 6 °C;$$

$$G_2 = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(150 - 6)} = 5971,15 \text{ кг/ч.}$$

2. Расчет параметров при переменных режимах работы

1. Исходные данные.

Тип теплообменника и его поверхность F .

Параметры нагреваемой среды и тепловая нагрузка:

$t_2; t_x; G_x$ и $Q = G_x c(t_2 - t_x)$.

Параметры греющей среды: τ_1 (из температурного графика регулирования) или G_2 (из условия качественного регулирования).

Необходимо определить: τ_2 и G_2 (или τ_1)

2. Блок-схема расчета и основные зависимости.

Итерационный метод

Задаемся $\tau_2 \rightarrow G_2 = \frac{Q}{c(\tau_1 - \tau_2)}$ (или $\tau_1 = \tau_2 - \frac{Q}{G_2 \cdot c}$) $\rightarrow t_x^{cp}, \tau_2^{cp} \rightarrow V_{тр}, V_{нп} \rightarrow \alpha_{тр}, \alpha_{нп} \rightarrow K \rightarrow$

$$\Delta t_{cp}^л \rightarrow F' \rightarrow \frac{F - F^1}{F} \leq \varepsilon,$$

если да, то расчет закончен; если нет то задаемся новым значением τ_2 и повторяем расчет.

Метод безразмерных комплексов

$$A = A^p = \frac{\sqrt{W_x^p \cdot W_z^p}}{K^p F} = \frac{\Delta t_{cp}^л}{\sqrt{(\tau_1 - \tau_2)(t_2 - t_x)}} \text{ (при расчетном режиме),}$$

↓

$$\varepsilon = \frac{t_2 - t_x}{\tau_1 - t_x} \text{ (при переменном режиме),}$$

↓

$$\theta \text{ из уравнений } \varepsilon = \frac{l^z - 1}{l^z - \theta}; \quad z = \frac{1 - \theta}{A\sqrt{\theta}};$$

↓

$$W_z = \frac{W_x}{\theta} \rightarrow \tau_2 = \tau_1 - \frac{Q}{W_z} \rightarrow G_1 = \frac{Q}{c(\tau_1 - \tau_2)}.$$

ЗАДАЧА №7. РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СМЕШАННОЙ СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Схема применяется при отпуске теплоты по нормальному температурному графику, соответствующему качественному методу регулирования по отопительной нагрузке (см. задачу №2).

1. Выбор поверхности теплообменников

Поверхности теплообменников определяются при $Q_{2в}^{макс}$ и минимальной температуре исходной греющей среды, т.е. $\tau_1 = 70^\circ\text{C}$.

1) Исходные данные.

Температуры нагреваемой среды и максимальная нагрузка горячего водоснабжения

$$t_2; t_x; Q_{2в}^{макс}.$$

Температуры воды в подающей магистрали, на выходе из систем отопления при t_{cp} и $t_{нв}$ расход воды на отопление $\tau_1; \tau_{2\text{от}}; G_{\text{от}}$.

2) Блок-схема расчета

$$\begin{aligned} \text{Задаем: } \tau_5 = \tau_{2\text{от}} \rightarrow t_n = \tau_{2\text{об}} - 5 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow G_x^{\text{макс}} &= \frac{Q_{\text{зв}}^{\text{макс}}}{c(t_2 - t_x)} \rightarrow Q_I = Q_x^{\text{макс}} c(t_n - t_x) \rightarrow \\ \rightarrow Q_{II} = Q_{\text{зв}}^{\text{макс}} - Q_x &\rightarrow G_z^{\text{II}} = \frac{Q_{II}}{c(\tau_1 - \tau_5)} \rightarrow G_z^z \\ G_z^z + G_{\text{от}} \rightarrow t_k = t_2 - \frac{Q_1}{G_z^z \cdot c} &\rightarrow f_{mp}, (f_{mn})I, (f_{mn})II \rightarrow \text{тип теплообменника, (т.е. } d_{mp}; \\ d_{\text{жв}}; f_{mp}; f_{mn}; F_{\text{сек}}) &\rightarrow \begin{cases} \text{расчет I ступени} & \{ t_x^{cp}, \tau_z^{cp}, V_{mp}, V_{mn}, \alpha_{mp}, \alpha_{mn}, K \\ \text{расчет II ступени} & \{ \Delta t_{cp}^n, F, n \end{cases} \end{aligned}$$

3) Пример расчета при исходных данных: $f_2=65 \text{ } ^\circ\text{C}; t_x=5 \text{ } ^\circ\text{C}, Q_{\text{зв}}^{\text{макс}}=2,3\text{МВт}, G_{\text{зв}}^{\text{макс}}=32960,7 \text{ кг/ч}; \tau_1=70 \text{ } ^\circ\text{C}; \tau_{2\text{об}}=42 \text{ } ^\circ\text{C}; G_{\text{от}}=39558 \text{ кг/ч}; \tau_5 = \tau_{2\text{от}}=42 \text{ } ^\circ\text{C}; t_n=42-5=37 \text{ } ^\circ\text{C};$
 $Q_I=32960,7 \cdot 1,163(37-5)=1226665,4 \text{ Вт};$
 $Q_{II}=2300000-1226665,4=1073334,6 \text{ Вт};$
 $Q_z^{\text{II}} = \frac{1073334,6}{1,163(70 - 42)} = 32960,8 \text{ кг/ч};$
 $Q_z^I = 32960,8 + 39558 = 72518,8 \text{ кг/ч};$
 $T_k = 42 - \frac{1226665,4}{1,163 \cdot 72518,8} = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$

В теплообменниках ГВ в трубках проходит нагреваемая вода, в межтрубном пространстве – греющая, поэтому

$$\begin{aligned} f_{mp} &= \frac{32960,7}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0094 \text{ м}^2; \\ (f_{mn})_I &= \frac{72518,8}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0207 \text{ м}^2; \\ (f_{mn})_{II} &= \frac{32960,8}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0094 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

По ГОСТ 27590-88 выбираем тип подогревателя:

ПВ 219 х 4 – 1,0 – РП – или – УЗ с профилированными трубками
 $d_{mp}=0,014 \text{ м}; d_{\text{жв}}=0,0258; F_{mp}=0,00985 \text{ м}^2; f_{mn}=0,02079 \text{ м}^2; F_{\text{сек}}=11,51 \text{ м}^2;$
 (число секций определено ниже);

$$V_{mp} = \frac{32960,7}{0,00985 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,953 \text{ м/с};$$

$$V_{mn}^I = \frac{72518,8}{0,0207 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,998 \text{ м/с};$$

$$V_{mn}^{II} = \frac{32960,8}{0,0207 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,4536 \text{ м/с}.$$

Расчет 1 ступени:

$$t_x^{cp} = \frac{37 + 5}{2} = 21^\circ\text{C}; \quad t_z^{cp} = \frac{42 + 27,5}{2} = 34,75^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot 24,44 - 0,041 \cdot 24,44^2) \cdot \frac{0,953^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 4787,6 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\alpha_{mn} = 2676,4 \cdot \frac{0,998^{0,75}}{0,0258^{0,25}} = 666 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{4787,6} + \frac{1}{6668}} = 2369,7 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp}^{\text{л}} = \frac{22,5 - 5}{\ln \frac{22,5}{5}} = 11,6^\circ\text{C};$$

$$F_I = \frac{1226665,4}{2369,7 \cdot 11,6} = 44,6 \text{ м}^2;$$

$$N_{сек}^I = \frac{44,6}{11,51} = 3,88. \text{ Принимаем к установке } N_{сек}^I = 4 \text{ шт.}$$

Расчет II ступени:

$$t_x^{cp} = \frac{65 + 37}{2} = 51^\circ\text{C}; \quad t_z^{cp} = \frac{70 + 42}{2} = 56^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot 52,25 - 0,041 \cdot 52,25^2) \cdot \frac{0,953^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 5909,6 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})}$$

$$\alpha_{mn} = 3130,7 \cdot \frac{0,4536^{0,75}}{0,0258^{0,25}} = 4317,6 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{5909,6} + \frac{1}{4317,6}} = 2120,8 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp}^{\text{л}} = 5^\circ\text{C}; \quad F_{II} = \frac{1073334,6}{2120,8 \cdot 5} = 101,2 \text{ м}^2;$$

$$N_{сек}^{II} = \frac{101,2}{11,58} = 9 \text{ шт.}$$

2. Расчет двухступенчатой смешанной схемы при переменных режимах работы

1) Известные исходные данные

Тип теплообменника и поверхности F_I и F_{II} .

Параметры нагреваемой среды и тепловая нагрузка

$t_x; t_z; G_x; Q_{z6}=G_x c(t_z - t_x)$.

Температура греющей воды τ_1 (из температурного графика).

Расход воды на отопление и температура ее на выходе при τ_1

G_{om} и τ_{2om} , т.е. $Q_{om}=G_{om}c(\tau_1 - \tau_{2om})$.

Необходимо определить: $\tau_5, G_{II}, \tau_k, Q_I, Q_{II}$.

2) Блок-схема расчета при использовании итерационного метода.

$$\begin{aligned} \text{Задаемся } \tau_k \rightarrow W_{mc} &= \frac{Q_{om} + Q_{z6}}{\tau_1 + \tau_k} \rightarrow W_{II} = W_{mc} - W_{om} \rightarrow \text{задаемся } b = 5 \div 20 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow \\ \rightarrow Q_I = W_{mc}(\tau_z - \tau_k) \rightarrow Q_{II} &= Q_{z6} - Q_I \rightarrow \tau_5 = \tau_1 - \frac{Q_{II}}{W_{II}} \rightarrow \tau_2^{cm} = \frac{W_{om} \cdot \tau_{2om} + W_{II} \cdot \tau_5}{W_{mc}} \rightarrow \\ \rightarrow \frac{(\tau_2 - \tau_2^{cm})}{\tau_2} &\leq \varepsilon, \end{aligned}$$

если нет, то задаемся новым значением b и расчет повторяем, если да, то $\tau_n = \tau_2 - b \rightarrow$

Расчет 1 ступени: $(t_x^{cp}, \tau_1^{cp}, V_{mp}, V_{mn}, \alpha_{mn}, \alpha_{mp}, K, \Delta t_{cp}^l, F') \rightarrow \leq \varepsilon$,

если нет, то задаемся новым значением τ_k и повторяем расчет; если да, то расчет закончен.

3) Пример расчета

В тепловой пункт, рассчитанный в примере задачи №6, поступает греющая вода с $t_1 = 150^\circ\text{C}$, при этом $b_{zom} = 70^\circ\text{C}$ и $W_{om} = 46006 \frac{\text{Bm}}{^\circ\text{C}}$.

Определить параметры в схеме при той же тепловой нагрузке горячего водоснабжения и параметрах тепловой среды:

$$Q_{om} = 46006 (150 - 79) = 3,68 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$W_x = 32960,7 \cdot 1,163 = 38333,3 \frac{\text{Bm}}{^\circ\text{C}};$$

Задаемся $\tau_k = 31^\circ\text{C}$.

$$W_{mc} = \frac{(3,68 + 2,3) \cdot 10^6}{150 - 31} = 50252 \frac{\text{Bm}}{^\circ\text{C}};$$

$$W_{II} = 50252 - 46006 = 4246 \frac{\text{Bm}}{^\circ\text{C}};$$

Задаемся $b = 14^\circ\text{C}$.

$$T_z = \frac{50252 \cdot 31 - 38333,3(5 + 14)}{50252 - 38333,3} = 69,6^\circ\text{C};$$

$$Q_x = 50252 (69,6 - 31) = 1,9395 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$Q_{II} = (2,3 - 1,9395) \cdot 10^6 = 0,3605 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$\tau_5 = 150 - \frac{0,3605 \cdot 10^6}{4246} = 65,1^\circ\text{C};$$

$$\tau_z^{сн} = \frac{46006 \cdot 70 + 4246 \cdot 65,1}{50252} = 69,59 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Так как $\frac{69,6 - 69,59}{69,6} = 0,0001$ (т.е. меньше 0,05), то уточнять значение ν не надо.

$$t_n = 69,6 - 14 = 55,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчет 1 ступени:

$$t_x^{ср} = \frac{5 + 55,6}{2} = 30,3 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \tau_z^{ср} = \frac{69,6 + 31}{2} = 50,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$V_{mp} = \frac{32960,7}{0,00985 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,953 \text{ м/с};$$

$$V_{mn} = \frac{50252}{0,0207 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,692 \text{ м/с};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot 30,3 \cdot 2 \cdot 0,041 \cdot 30,3^2) \cdot \frac{0,953^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 5242,9 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})}$$

$$\alpha_{mn} = 2959,6 \frac{0,692^{0,75}}{0,0258^{0,25}} = 5602,7 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{5242,9} + \frac{1}{5602,7}} + 2298,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{ср}^л = \frac{126 - 14}{\ln \frac{26}{14}} = 19,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$F_l = \frac{1,9395 \cdot 10^6}{2298,5 \cdot 19,4} = 43,5 \text{ м}^2.$$

Так как $\frac{44,6 - 43,5}{44,6} = 0,024$ (т.е. меньше 0,05), то уточнять значение τ_k не надо.

Расчет 2 ступени не проводим, так как $Q_{II} < Q_{II}^P$

$$Q_{II} = 0,3605 \cdot 10^6 \text{ Вт}, \text{ а } Q_{II}^P = 1,073 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

ЗАДАЧА №8. РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Схема применяется при регулировании отпуска теплоты по повышенному температурному графику, обеспечивающему покрытие нагрузок Q_{zv}^b и Q_{om} при

постоянном расходе воды в теплосети $G_{zc} = G \frac{p}{om}$

(поддерживается регулятором РР, установленным на перемычке П ступени теплообменника горячего водоснабжения). Повышенный температурный график строится по методике, изложенной в задаче №3.

1. Выбор поверхности теплообменника

В качестве расчетного режима для выбора поверхности теплообменника необходимо принимать минимальные температуры греющей среды, которые имеют место при $t_{нв}^{соед}$.

При этом I ступень (по ходу нагреваемой среды) может быть определена при Q_{zv}^{cp} , а II

ступень – при $Q_{zv}^{макс}$.

1) Исходные данные

Температура нагреваемой среды, средняя и максимальная нагрузки горячего водоснабжения: $t_z, t_x, Q_{zv}^{cp}, Q_{zv}^{макс}$.

Температуры греющей среды $\tau_1^n, \tau_1^n, \tau_2, \tau_k$ и расход воды на отопление G_{om} при $t_{нв}^{сред}$.

2) Блок-схема расчета

$G_{zv}^{макс}$ - f_{mp}, f_{mn} тип теплообменников (т.е. $\alpha_{mp}, \alpha_{mn}, f_{mp}, f_{mn}, F_{сек}$);

Расчет 1 ступени (при Q_{zv}^{cp});

$t_n = \tau_z - 5 \rightarrow G_{zv}^{cp} \rightarrow Q_I^{cp} \rightarrow t_x^{cp}, \tau_z^{cp} \rightarrow V_{mp}, V_{mn} \rightarrow \alpha_{mp}, \alpha_{mn} \rightarrow K \rightarrow \Delta t_{cp}^л \rightarrow F_I \rightarrow N_{секц}^I \rightarrow$

Расчет 2 ступени (при $Q_{zv}^{макс}$);

Задаемся $\tau_k \rightarrow \sum Q \rightarrow Q_{om}, Q_{om}^M \rightarrow \bar{Q} \rightarrow \tau_1, \tau_2, t_n, \tau_k' \rightarrow \frac{\tau_z - \tau_k^1}{\tau_k} \leq \varepsilon,$

Если нет, то задаемся новым значением τ_k ; если да, то переходим к $Q_{zv}^{II} \rightarrow t_x^{cp}, \tau_z^{cp} \rightarrow$

$V_{mp} \rightarrow \alpha_{mp}, \alpha_{mn} \rightarrow K \rightarrow \Delta t_{cp}^л \rightarrow F_{сек} - N^{II}.$

3) Пример расчета при исходных данных: $t_2=65$ °C; $t_x=5$ °C; $Q_{2в}^{cp}=1$ МВт; $Q_{2в}^{макс}=2,3$ МВт; $\tau_1^n=82,1$ °C; $\tau_1^n=70$ °C; $\tau_2=42$ °C; $\tau_k=28,1$ °C; $G_{om}=39588,7$ кг/ч;

$$G_{2в}^{макс} = \frac{Q_{2в}^{макс}}{c(t_2 - t_x)} = \frac{2,3 \cdot 10^6}{1,163(65 - 5)} = 32960,7 \text{ кг/ч};$$

$$f_{mp} = \frac{Q_{2в}^{макс}}{V \cdot \rho} = \frac{32960,7}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0094 \text{ м}^2;$$

$$f_{mn} = \frac{G_{om}}{V \cdot \rho} = \frac{39588,7}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,01128 \text{ м}^2.$$

По ГОСТ 27590-88 выбираем подогреватель с гладкими трубками
Тип ПВ 219 х 4 – 1,0 – РП - N_{сек} – У3 с параметрами $d_{mp}=0,014$ м; $d_{жв}=0,0258$; $F_{mp}=0,00985$ м²; $f_{mn}=0,02079$ м²; $F_{сек}=11,51$ м² (число секций определено ниже).

Расчет I ступени

$$t_n=42-5=37 \text{ °C}; G_{2в}^{cp} = \frac{Q_{2в}^{cp}}{c(t_2 - t_x)} = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163 \cdot (65 - 5)} = 14330,8 \text{ кг/ч};$$

$$Q_I^{cp} = G_{2в}^{cp} \cdot c(t_n - t_k) = 14330,8 \cdot 1,163 \cdot (37 - 5) = 533335 \text{ Вт};$$

$$t_{cp} = \frac{t_x^{cp} + t_{om}}{2} = \frac{21 + 28}{2} = 24,5 \text{ °C};$$

$$\tau_{cp} = \frac{\tau_z^{cp} + t_{om}}{2} + \frac{35 + 28}{2} = 31,5 \text{ °C};$$

$$V_{mp} = \frac{G_{2в}^{cp}}{f_{mp} \cdot \rho} = \frac{14330,8}{0,00985 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,4145 \text{ м/с};$$

$$V_{mn} = \frac{G_{om}}{f_{mn} \cdot \rho} = \frac{39588,7}{0,02079 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,5425 \text{ м/с};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot t_{cp} - 0,041 t_{cp}^2) \cdot \frac{V_{mp}^{0,8}}{d^{0,2}} = (1630 + 21 \cdot 24,5 - 0,041 \cdot 24,5^2) \cdot \frac{0,4145^{0,8}}{0,014^{0,2}} =$$

$$2460,8 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{°C})}$$

$$\alpha_{mn} = \varphi(\tau_{cp}) \cdot \frac{V_{mn}^{0,78}}{d_{жв}^{0,22}} = 3687 \cdot \frac{0,5425^{0,78}}{0,0258^{0,22}} = 5112 \frac{Вт}{(м^2, °C)}$$

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{0,85}{\frac{1}{2460,8} + \frac{1}{5112}} = 1412 \frac{Вт}{(м^2, °C)};$$

$$\Delta t_{cp}^n = \frac{b_{tb} - b_{tn}}{\ln \frac{b_{tb}}{b_{tn}}} = \frac{23,1 - 5}{\ln \frac{23,1}{5}} = 11,83 °C;$$

$$F_I = \frac{Q_{cp}}{K \cdot \Delta t_{cp}^n} = \frac{533335}{1412,7 \cdot 11,83} = 31,9 м^2;$$

$$N_{секц}^I = \frac{F_I}{F_{сек}} = \frac{31,9}{11,51} = 2,77, \text{ принимаем } N_{секц}^I = 3 \text{ шт.}$$

Расчет II ступени

Задаемся $t_k = 16,5 °C$.

$$\sum Q = G_{om} \cdot c(\tau_1^n - \tau_k) = 39588,7 \cdot 1,163(82,1 - 16,5) = 3,02 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$Q_{om} = \sum Q - Q_{зв}^{макс} = (3,02 - 2,3) \cdot 0,72 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$Q_{om}^H = G_{om} \cdot c(\tau_1^n - \tau_2) = 39588,7 \cdot 1,163 \cdot (70 - 42) = 1,289 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$\bar{Q} = \frac{Q_{om}}{Q_{om}^H} = \frac{0,72}{1,289} = 0,5586;$$

2. Расчет двухступенчатой последовательной схемы при переменных режимах работы

1) Известные исходные данные

Тип теплообменника и поверхности F и F'

Температуры нагреваемой среды и нагрузка горячего водоснабжения:

Температуры греющей среды и расход воды на отопление при

Необходимо определить:

2) Блок-схема расчета и основные зависимости

Задаемся

(см. пример задачи №7) , если нет, то задаемся новым значением ; если да, то

Пример расчета аналогичен приведенному в задаче №7

ЗАДАЧА №9. РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СМЕШАННОЙ С ОГРАНИЧЕНИЕМ РАСХОДА СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Схема применяется при регулировании отпуска теплоты по повышенному температурному графику, обеспечивающему покрытие нагрузок и при постоянном расходе воды в теплосети (поддерживается регулятором ОР, установленном на вводе в тепловой пункт). Перемычка с насосом и трехходовым клапаном перед системой отопления позволяет устранить перетопы помещений в период срезки температурного графика за счет уменьшения расхода сетевой воды (при этом ОР открыт и не оказывает влияние на величину).

Повышенный температурный график строится по методике, представленной в задаче №3

1. Выбор поверхности теплообменников горячего водоснабжения

В качестве расчетного режима для выбора поверхности теплообменников необходимо принимать минимальную температуру греющей среды, которая имеет место при . При этом 1 ступень (по ходу нагреваемой среды) может быть определена при , а 2 ступень – при

1) Исходные данные

Температура нагреваемой среды, средняя и максимальная нагрузки горячего водоснабжения:

Параметры греющей среды и требуемая (нормальная) нагрузка отопления при

2) Блок-схема расчета

тип теплообменников (т.е.

расчет 1 ступени

Принимаем

Расчет 2 ступени (при):

Задаемся

Задаемся

Если нет, то задаемся новым значением и повторяем расчет; если да, то производим проверку правильности задания по поверхности 1 ступени (т.е. производим ее расчет для требуемых условий);

Если нет, то задаемся новым значением и повторяем расчет; если да, то переходим к расчету 2 ступени:

3) Пример расчета при исходных данных

По ГОСТ 27590-88 выбираем подогреватель с гладкими трубами
тип ПВ-219 4-1,0-РП-п_{сек}-УЗ с параметрами

(число секций определено ниже)

Принимаем Расчет 1 ступени

Задаемся Расчет 2 ступени

Так как (т.е. больше 5%), то задаемся новым значением и повторяем расчет

Проверяем правильность принятия по поверхности 1 ступени. Последовательно определяем:

(т.е. меньше 5%), следовательно значение принято правильно.
Определяем параметры 2 ступени:

2. Расчет двухступенчатой смешанной с ограничением расхода схемы при переменных режимах работы

1. Исходные данные

Тип теплообменника и поверхности F и F

Температуры нагреваемой воды и нагрузка горячего водоснабжения:

Параметры греющей среды и требуемая (нормальная) нагрузка отопления при (т.е. при текущем режиме):

Необходимо определить:

2. Блок-схема расчета

Задаемся:

Задаемся:

Если нет, то задаемся новым значением и повторяем расчет, если да, то переходим к расчету 1 ступени:

Если нет, то задаемся новым значением и повторяем расчет, если да, то расчет закончен (проверить 2 ступень нет необходимости, так как выбрана в максимальном режиме).

Пример расчета аналогичен приведенному в задаче №7

ЗАДАЧА №12. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Для проведения гидравлического расчета необходимо выбрать главную магистраль по протяженности и загруженности, пронумеровать участки и определить для них расчетные расходы теплоносителя. Гидравлический расчет проводится по формулам или с использованием соответствующих номограмм (прил.4) и таблиц. После проведения гидравлического расчета главной магистрали проводят расчеты для ответвлений с увязкой.

1. Основные расчетные зависимости

$$d = \frac{0,439 \cdot G^{0,38}}{(\rho R_\lambda)^{0,19}},$$

где G - расход теплоносителя на участке, кг/с

R_λ - удельные потери давления на трение, Па/м

$$R_\lambda = \frac{0,013G^2}{\rho d_{\text{вн}}^{5,25}}; \quad V = \frac{1,273G}{\rho d_{\text{вн}}^2};$$

$$\Delta P = R\lambda(1 + \alpha)$$

α - доля потерь давления в местных сопротивлениях,

$$R_{\lambda_{\text{отв}}} = \frac{\sum \Delta P_{\Gamma\lambda}}{(1 + \alpha) \sum l_{\text{отв}}}.$$

2. Гидравлический расчет тепловой сети

Пример: Провести гидравлический расчет для схемы тепловой сети (см. задачу №11)

$$R_{\lambda_{\text{отв}}} = 412 \text{ Па/м}, \quad \rho = 975 \text{ кг/м}^3, \quad G_{\lambda\delta} = 3,47 \text{ кг/с}$$

Решение: Участок 4-3

$$d_{\text{вн}} = \frac{0,439 \cdot 3,47^{0,381}}{(975 / 412)^{0,1905}} = 0,06 \text{ м, принимаем по сортаменту};$$

$$d_{\text{вн}} = 0,051 \text{ м} \quad (d_{\text{вн}} = 500 \text{ мм});$$

$$R_\lambda = \frac{0,013G^2}{975 \cdot 0,051^{5,25}} = 9011 \text{ Па/м};$$

$$V = \frac{1,273 \cdot 3,47}{975 \cdot 0,051^2} = 1,74 \text{ м/с};$$

$$\Delta P = 9011 \cdot 200(1 + 0,2) = 108120 \text{ Па}.$$

Аналогично проведем расчеты для участков 3-2, 2-1, 1-0 главной магистрали и результаты расчетов сведем в табл.1

Т а б л и ц а 1

Номер участка	Длина $l, м$	Расход теплоносителя $G, кг/с$	$d_y, мм$	Скорость $V, м/с$	Удельные потери давления $R_\lambda, Па/м$	Потери давления $\Delta P = R\lambda(1 + \alpha)$ Па
4-3	200	3,47	50	1,74	90	108120
3-2	300	6,94	80	1,35	328,5	118260
2-1	800	20,82	125	1,74	328,5	315360
1-0	400	27,76	125	2,3	584	280320

Рассчитаем ответвление 2-2

$$R_{\lambda_{отв2-2}} = \frac{\Delta P_{4-3} + \Delta P_{3-2}}{(1 + \alpha)(l_{2-22} + l_{22-21} + l_{21-2})} = \frac{108120 + 118260}{(100 + 200 + 100)} = 471,6 \text{ Па/м.}$$

Расчеты проведем аналогично участку 4-3 и результаты расчетов сведем в табл.2

Т а б л и ц а 2

Номер участка	$l, м$	$G, кг/с$	$d_y, мм$	$V, м/с$	$R_\lambda, Па/м$	$\Delta P = R\lambda(1 + \alpha)$ Па
2-22	100	3,47	50	1,74	901,0	108120
22-21	200	6,94	80	1,35	328,5	39920
21-2	100	13,88	100	1,8	438,0	52560

$$\Sigma 200100$$

$$\text{Невязка} = \frac{(108120 + 118260) - 200100}{(108120 + 118260)} \cdot 100\% = 11,6\% .$$

ЗАДАЧА № 13. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Провести расчет теплоизоляционной конструкции для головного участка тепловой сети (см. задачу №12).

Основные виды теплоизоляционных материалов и изделий, применяемых для изоляции теплопроводов, приведены в прил.5.

Согласно указаниям СНиПа 2.04.07-86 толщины основного слоя теплоизоляционных конструкций теплопроводов должны определяться на основе технико-экономических расчетов или по действующим нормам плотности теплового потока. В прил.6 и 7 приведены соответственно нормы плотности теплового потока трубопроводами тепловых

сетей, прокладываемых в непроходных каналах и бесканально, при среднегодовых значениях температур теплоносителя и окружающей среды для первого территориального района.

Значения плотностей теплового потока при других заданных температурах теплоносителя и окружающей среды, а также для других территориальных районов определяются по формуле

$$q_n^p = q_n \cdot \frac{\tau_{cp.год}^p - t_{окр.ср}^p}{\tau_{cp.год} - t_{окр.ср}} \text{ Вт/м}, \quad (1),$$

где q_n - нормы плотности теплового потока, по прил. 6 и 7, Вт/м;

$\tau_{cp.год}^p$ - расчетная среднегодовая температура теплоносителя, °С;

$t_{окр.ср}^p$ - расчетная среднегодовая температура окружающей среды, °С;

$\tau_{cp.год}$ - среднегодовая температура теплоносителя, принятая при расчете норм тепловых потерь, °С;

$t_{окр.ср}$ - среднегодовая температура окружающей среды, принятая при расчете норм тепловых потерь, °С.

При расчете теплоизоляционной конструкции необходимо выбрать толщину теплоизоляционного слоя $\delta_{из}$ и определить плотность теплового потока:

$$q = \frac{\tau - t_o}{R_e}, \quad (2)$$

где τ - температура теплоносителя, °С;

t_o - температура окружающей среды, °С;

Полное термическое сопротивление R_e зависит от способа прокладки трубопроводов тепловой сети.

Расчет тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей при двухтрубной прокладке в непроходном канале

В качестве теплоизоляционного слоя в соответствии со СНиП 2.04.14-88 следует применять материалы со средней плотностью не более 400 кг/м³ и теплопроводностью не более $0,07 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}, \text{°C})}$.

Полное термическое сопротивление подающего и обратного теплопроводов определяется по формулам:

$$R_e^n = R_{из}^n + R_n^n + R_n^n + R_g + R_k + R_{cp} \quad (3)$$

$$R_e^o = R_{из}^o + R_n^o + R_n^o + R_g + R_k + R_{cp} \quad (4)$$

Каждое из слагаемых определяется из выражения

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d_n}, \quad (5)$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности основного теплоизоляционного материала,

принимается по прил. 1, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}, \text{°C})}$;

$d_{уз}$ - диаметр изоляционного слоя изоляционной конструкции, м;

d_n - наружный диаметр трубопровода, м;

$$R_n = \frac{1}{2\pi\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{уз}}, \quad (6)$$

где λ_n - коэффициент теплопроводности материала покровного слоя конструкции,

$$\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)};$$

d_n - диаметр покровного слоя изоляционной конструкции, м;

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n \pi d_n}, \quad (7)$$

где α_n - коэффициент теплоотдачи;

$$R_e = \frac{1}{\alpha_e \pi d_{кан}^e}, \quad (8)$$

где $d_{кан}^e$ - диаметр, эквивалентный внутреннему периметру канала, м;

$$R_k = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_{кан}^n}{d_{кан}^e}, \quad (9)$$

где λ_k - коэффициент теплопроводности материала канала, $\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)}$;

$d_{кан}^n$ - диаметр, эквивалентный наружному периметру канала, м.

При значениях $2h/d_{кан}^n < 2$ термическое сопротивление грунта определяется по формуле:

$$R_{zp} = \frac{1}{2\pi\lambda_{zp}} \ln \left[\frac{2h_3}{d_{кан}^n} + \sqrt{\left(\frac{2h_3}{d_{кан}^n} \right)^2 - 1} \right], \quad (10)$$

где λ_{zp} - коэффициент теплопроводности грунта, принимается равным $1,2 + 2,2$

$$\frac{Вт}{(м \cdot ^\circ C)};$$

h_3 - эквивалентная глубина заложения.

$$h_3 = h + \frac{\lambda_{zp}}{\alpha}, \quad (11)$$

где h - глубина заложения теплопровода до его оси, м.

При значениях $2h/d_{кан}^n \geq 2$ применяется приближенная формула:

$$R_{cp} = \frac{1}{2\pi\lambda_{cp}} \ln \frac{4h}{d_{кан}^n},$$

$$d_{кан} = \frac{4F}{P},$$

где F – площадь поперечного сечения канала, m^2 ;

P – периметр этого сечения, m .

При проведении расчетов следует предварительно задаться значениями δ_n и δ_o и определить значения термических сопротивлений.

В расчетах значения коэффициентов теплоотдачи от поверхности изоляционной конструкции к воздуху в канале α_n и теплоотдачи от воздуха в канале к его внутренней поверхности α_g принимаются

$$\alpha_n = \alpha_g = 8-12 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

Для определения теплового потока необходимо найти температуру воздуха в канале по выражению

$$t_g = \frac{\frac{\tau_n}{R_{уз}^n + R_n^n + R_n^n} + \frac{\tau_o}{R_{уз}^o + R_n^o + R_n^o} + \frac{t_{cp}}{R_g + R_k + R_{cp}}}{\frac{1}{R_{уз}^n + R_n^n + R_n^n} + \frac{1}{R_{уз}^o + R_n^o + R_n^o} + \frac{1}{R_g + R_k + R_{cp}}}.$$

Тогда плотность теплового потока для подающего или обратного теплопроводов можно определить из выражения

$$q = \frac{\tau - t_g}{R_{уз} + R_n + R_n}.$$

После этого производится сравнение полученной плотности теплового потока q с нормативной q_k^p , и если соблюдается соотношение

$$\left(\frac{q_k^p - q}{q_k^p} \right) \cdot 100\% \leq 5-10\%,$$

то расчет считается законченным.

Если же расхождения значительны, то необходимо задаться новыми значениями δ_n и δ_o , и расчет повторить.

Температура на поверхности теплоизоляционной конструкции после окончательного подбора толщины тепловой изоляции может быть найдена из выражения $t_{уз} = \tau - q(R_{уз} + R_n)$.

При транспорте теплоносителя от источника тепла к потребителю из-за потерь тепла температура теплоносителя уменьшается. Падение температуры на участке тепловой сети определяется по формуле

$$\Delta\tau = \frac{qlK}{G \cdot c},$$

где l - длина участка, м;

G - расход теплоносителя на участке, кг/ч;

c - теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·°C);

K - коэффициент, учитывающий потери тепла опорами труб, компенсаторами, арматурой и т.д.

Расчет тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей при двухтрубной бесканальной прокладке

Для теплоизоляционного слоя при бесканальной прокладке следует применять, как правило, материалы со средней плотностью не более 600 кг/м³ и теплопроводностью не более 0,13 Вт/(м·°C).

Полное термическое сопротивление подающего и обратного теплопроводов можно найти из выражений:

$$R_e^n = R_{из}^n + R_n^n + R_{зп} + R_o;$$

$$R_e^o = R_{из}^o + R_n^o + R_{зп} + R_o,$$

где R_o - термическое сопротивление, учитывающее взаимодействие тепловых потоков теплопроводов, Вт/(м·°C).

При одинаковой глубине заложения теплопроводов R_o определяется из выражения

$$R_o = \frac{1}{2\pi\lambda_{зп}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2};$$

где b - расстояние между осями трубопроводов по горизонтали, м.

При различных глубинах заложения теплопроводов h_n и h_o термическое сопротивление R_o определяется по формуле

$$R_o = \frac{1}{2\pi\lambda_{зп}} \ln \sqrt{\frac{b^2(h_n + h_o)^2}{b^2 + (h_n + h_o)^2}}.$$

Расчет тепловой изоляции ведется аналогично канальной прокладке, т.е. предварительно необходимо задаться толщиной изоляции δ_n и δ_o , рассчитать термическое сопротивление R_e . Тогда плотность теплового потока можно определить из выражения

$$q = \frac{\tau - t_{зп}}{R_e}.$$

Полученные плотности теплового потока сравнивают с нормированными и при необходимости производят пересчет.

Пример расчета

Определить толщину тепловой изоляции для двухтрубной прокладки тепловой сети диаметром $d_n = 0,529\text{ м}$ в железобетонном непроходном канале с размерами $2,41 \times 1,105\text{ м}$ (внутренний) и $2,62 \times 1,355\text{ м}$ (наружный).

Место строительства – Европейская часть. Средняя температура теплоносителя в подающем теплопроводе $\tau_{cp}^n = 88^\circ\text{C}$, в обратном $\tau_{cp}^o = 46^\circ\text{C}$. Глубина заложения оси трубопроводов $h = 2,4\text{ м}$. Грунт суглинистый $\gamma_{cp} = 1400\text{ кг/м}^3$, влагосодержание 20%. Среднегодовая температура грунта $t_{zp} = 5,9^\circ\text{C}$. В качестве тепловой изоляции принимаем маты минераловатные, прошивные, ГОСТ 2/880-88 марки 100. Покровный слой из стеклоткани $\lambda_n = 0,17\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$.

Для трубопроводов с $d_n = 0,529\text{ м}$ ($d_y = 500\text{ мм}$) по нормам плотность теплового потока $q_n^n = 98\text{ Вт/м}$ и $q_n^o = 38\text{ Вт/м}$, тогда

$$q_{n-n}^p = 98 \cdot \frac{88 - 5,9}{90 - 5} \cdot 1,0 = 94,7\text{ Вт/м};$$

$$q_{n-n}^o = 38 \cdot \frac{46 - 5,9}{50 - 5} \cdot 1,0 = 33,9\text{ Вт/м}.$$

Принимаем толщину слоя тепловой изоляции и покровного слоя $\delta_{uzn} = 0,06\text{ м}$, $\delta_{uzo} = 0,04\text{ м}$, $\delta_n = 0,03\text{ м}$.

Для определения коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала температуру по наружной поверхности слоя тепловой изоляции принимаем $t_{uz} = 20^\circ\text{C}$, тогда

$$t_{cp-n} = \frac{88 + 20}{2} = 54^\circ\text{C};$$

$$t_{cp-o} = \frac{46 + 20}{2} = 33^\circ\text{C};$$

$$\lambda_{uzn} = 0,045 + 0,00021 \cdot 54 = 0,056\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_{uzo} = 0,045 + 0,00021 \cdot 33 = 0,052\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_k = 1,5\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}, \quad \lambda_{cp} = 1,62\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)};$$

$$d_{uzn} = 0,529 + 0,12 = 0,649\text{ м};$$

$$d_{uzo} = 0,529 + 0,08 = 0,609\text{ м};$$

$$d_{n-n} = 0,649 + 0,006 = 0,655\text{ м};$$

$$d_{n-o} = 0,609 + 0,006 = 0,615\text{ м};$$

Определяем термическое сопротивление:

$$R_{uzn} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,056} \ln \frac{0,649}{0,529} = 0,581(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_{n-n} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,17} \ln \frac{0,655}{0,649} = 0,009 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$R_{n-o} = \frac{1}{3,14 \cdot 8,7 \cdot 0,655} = 0,056 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$\sum R_n = 0,581 + 0,009 + 0,056 = 0,646 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$R_{u \rightarrow o} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,052} \ln \frac{0,609}{0,529} = 0,431 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$R_{n-o} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,17} \ln \frac{0,615}{0,609} = 0,009 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$R_{n-o} = \frac{1}{3,14 \cdot 8,7 \cdot 0,615} = 0,06 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$\sum R_o = 0,431 + 0,009 + 0,06 = 0,5 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$d_{\text{экв}}^e = \frac{4 \cdot 2,41 \cdot 1,105}{2(2,41 + 1,105)} = 1,38 \text{ м};$$

$$d_{\text{экв}}^n = \frac{4 \cdot 2,62 \cdot 1,355}{2(2,62 + 1,355)} = 1,79 \text{ м};$$

$$R_{\kappa} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \ln \frac{1,79}{1,38} = 0,028 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$R_{\delta} = \frac{1}{3,14 \cdot 8,7 \cdot 1,38} = 0,027 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

Определяем соотношение

$$\frac{2h}{d_{\text{экв}}^n} = \frac{2 \cdot 1,9}{1,79} = 2,12 > 2, \text{ тогда}$$

$$R_{\text{зп}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,62} \ln \frac{4 \cdot 1,9}{1,79} = 0,142 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт};$$

$$\sum R_{\kappa} = 0,027 + 0,028 + 0,142 = 0,197 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}.$$

Определяем температуру внутри канала:

$$t_s = \frac{\frac{88}{0,646} + \frac{46}{0,5} + \frac{5,9}{0,197}}{\frac{1}{0,646} + \frac{1}{0,5} + \frac{1}{0,197}} = 29,94^\circ \text{C}.$$

Определяем тепловые потери:

$$q_n = \frac{88 - 29,94}{0,646} = 89,88 \text{Вт} / \text{м}.$$

Сравниваем с нормами:

$$\frac{94,7 - 89,88}{94,7} \cdot 100\% = 5,1\% ;$$

$$q_o = \frac{46 - 29,94}{0,5} = 32,12 \text{Вт} / \text{м} ;$$

$$\text{невязка} = \frac{33,9 - 32,12}{33,9} \cdot 100\% = 5,3\% .$$

ЗАДАЧА №16. ПОДБОР ТЕПЛОФИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ

1. Основные расчетные зависимости

Тепловая мощность пикового водогрейного котла

$$Q_{пвк} = (1 - \alpha_{тэц}) \sum Q^p .$$

Тепловая мощность основного подогревателя:

для закрытой системы $Q_{от} = \alpha_{тэц} \cdot \sum Q^p ;$

для открытой системы $Q_{от} = \alpha_{тэц} \cdot \sum Q^p - Q_{св}^{сп} ;$

Число параллельно установленных типоразмеров ОП

$$n_1 = \frac{Q_{от}}{Q_{мин}} \quad n_1 = \frac{\sum G_{т\ у\ в}^p}{G_{мин}} .$$

Температура сетевой воды на выходе из ОП

$$\tau_{у\ в} = \tau_1^p - \frac{Q_{пвк}}{\sum G_{т\ у\ в}^p \cdot c} ,$$

где $\sum G_{т\ у\ в}^p$ - суммарный расход сетевой воды при $t_{у\ в}^p$.

Температура пара в теплофикационном отборе турбины

$$t_n = \tau_{у\ в} + 10 ,$$

Температура сетевой воды на входе в ОП

$$\tau_2 = \tau_{уп} - \frac{Q_{от}}{\sum G_{т\ у\ в}^p \cdot c} ,$$

Средняя температура сетевой воды в ОП

$$\tau_{cp} = \frac{\tau_{up} + \tau_2}{2}.$$

Температура стенки $t_{cm} = \frac{t_n + \tau_{cp}}{2}.$

Средняя температура воды при теплопередаче

$$t_{cp}^e = \frac{t_{cm} + \tau_{cp}}{2}.$$

Средняя температура пара при теплопередаче

$$\tau_{cp}^n = \frac{t_n + t_{cm}}{2}.$$

Средний логарифмический напор в ОП

$$\Delta t_{cp}^n = \frac{(t_n - \tau_2) - (t_n - \tau_{np})}{\ln \frac{t_n - \tau_2}{t_n - \tau_{np}}}.$$

Скорость воды в трубках ОП

$$V_{mp} = \frac{4 \sum G_t^p}{m \cdot n_1 \cdot \bar{n} \cdot d_{вн} \cdot \rho \cdot 3600}.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к сетевой воде

$$\alpha_s = \left[1630 + 21 \cdot t_{cp}^e - 0,041(t_{cp}^e)^2 \right] \cdot \frac{V_{mp}^{0,8}}{d_{вн}^{0,2}}.$$

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке:

для типов ПСВ
$$\alpha_n = \frac{7400 + 75,5 t_{cp}^n - 0,23(t_{cp}^n)^2}{[H(t_n - t_{cm})]^{0,22}};$$

для типов ПВГ
$$\alpha_n = \frac{4920 + 58 t_{cp}^n - 0,175(t_{cp}^n)^2}{[2\sqrt{m} \cdot d_n (t_n - t_{cm})]^{0,25}}.$$

Коэффициент теплопередачи в ОП

$$K = \frac{0,75}{\frac{1}{\alpha_s} + \frac{1}{\alpha_n}}.$$

Требуемая поверхность ОП

$$F = \frac{Q_{om}}{n_1 \cdot K \cdot \Delta t_{cp}^n}.$$

Число последовательно включенных ОП
$$n_2 = \frac{F}{F_{mun}}.$$

2. Пример расчета при исходных данных:

$$\sum Q^p = 2500 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}; \text{ система теплоснабжения - закрытая; } \alpha_{\text{теп}} = 0,5;$$

$$\sum G_{\text{т.уг}}^p = 6,63 \cdot 10^6 \text{ кг/ч}; \tau_1^e = 150^\circ \text{C}.$$

$$Q_{\text{нвк}} = (1 - 0,5) \cdot 2500 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}.$$

$$Q_{\text{ом}} = 0,5 \cdot 2500 \cdot 10^6 = 1250 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}.$$

Из таблицы выбираем тип ОП: ПВТ-2300, который устанавливается с турбиной Т-170-130 с характеристиками: $G_{\text{мин}}^{\text{НОМ}} = 3500 \cdot 10^3 \text{ кг/ч}$;

$$m = 1081 \text{ мм}; \frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{н}}} = \frac{23}{25} \text{ мм};$$

$$n_1 = \frac{6630 \cdot 10^3}{3500 \cdot 10^3} = 2 \text{ (так как } n_1 > 1,5) \quad F_{\text{мин}} = 2300 \text{ м}^2.$$

$$\tau_{\text{np}} = 150 - \frac{1250 \cdot 10^6}{6630 \cdot 10^6 \cdot 4,19} = 105^\circ \text{C};$$

$$t_n = 105 + 10 = 115^\circ \text{C};$$

$$\tau_2 = 105 - \frac{1250 \cdot 10^6}{6630 \cdot 10^3 \cdot 4,19} = 60^\circ \text{C};$$

$$\tau_{\text{cp}} = \frac{105 + 60}{2} = 82,5^\circ \text{C}; \quad t_{\text{cm}} = \frac{115 + 82,5}{2} = 98,75^\circ \text{C};$$

$$t_{\text{cp}}^n = \frac{115 + 98,75}{2} = 106,88^\circ \text{C};$$

$$\Delta t_{\text{cp}}^n = \frac{(115 - 60) - (115 - 105)}{\ln \frac{115 - 60}{115 - 105}} = 26,39^\circ \text{C};$$

$$V_{\text{мп}} = \frac{4 \cdot 6,63 \cdot 10^6}{1081 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,023^2 \cdot 975 \cdot 3600} = 2,1 \text{ м/с};$$

$$\alpha_6 = \left[1630 + 21 \cdot 90,63 - 0,041 \cdot 90,63^2 \right] \cdot \frac{2,1^{0,8}}{0,023^{0,2}} = 12241 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C});$$

$$\alpha_n = \frac{4920 + 58 \cdot 106,88 - 0,175 \cdot 106,88^2}{\left[2\sqrt{1081} \cdot 0,025(115 - 98,75) \right]^{0,25}} = 4017,56 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C});$$

$$K = \frac{0,75}{\frac{1}{12241} + \frac{1}{4017,56}} = 2272,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C});$$

$$P = \frac{1250 \cdot 10^6}{2 \cdot 2272,7 \cdot 26,39 \cdot 3,6} = 2890 \text{ м}^2;$$

$$n_2 = \frac{2890}{2300} = 1,26 \text{ шт.} = 1 \text{ шт. (так как } n_2 \leq 1,5)$$

Технические характеристики основных подогревателей (ОП)

Ном ер ОП	Поверхност ь нагрева	Расче тный расход воды	Числ о трубок по воде	Расстояни е между перегородка ми	Тип	
					ОП	Турбины
1	200	800	510	1,33	ПВГ-200	Т-25-90
2	315	1130	606	1,2	ПВГ-315	ПТ-25-90
3	500	1500	965	1,19	ПВГ-500	ПТ-60-90
4	800	1250	539	-	ПВГ-800	ПТ-50- 130 Т-50-130
5	1300	2000	807	-	ПВГ- 1300	Т-100-130 ПТ-135- 130
6	2300	3500	1081	-	ПВГ- 2300	Т-170-130
7	5000	6000	1854	-	ПВГ- 5000	Т-170-130 Т-250-240

Приложение 2

Типы водо-водяных подогревателей и секций (ГОСТ 27590-88)

Тип подогревателя	Тип секции		Область применения
	Наименование	Обозначение	
Разъемный	Без компенсатора	РГ РП	Горячее водоснабжение
	С компенсатором	РГК РПК	Отопление
Сварной	Без компенсатора	СГ СП	Горячее водоснабжение
	С компенсатором	СГК СПК	Отопление

Г – гладкостенные трубы

П – профильные трубы

Условные обозначения подогревателя

ПВ 219 x 4 - 1,0 - РГ - 5 - УЗ ГОСТ 27590-88

1 2 3 4 5 6 7

1 – подогреватель водяной

2 – диаметр корпуса секции, мм;

3 - длина секции, м;

- 4 – давление, МПа;
 5 – обозначение типа секций;
 6 – число секций;
 7 – исполнение по климатическим условиям (для народного хозяйства УЗ).

Условные обозначения секции

Секция 114 х 4 - 1,0 - СГК - 85,7 ГОСТ 27590-88
 8

8 – расчетный тепловой поток секции, кВт.

Приложение 5

Теплоизоляционные материалы и изделия, применяемые
 для изоляции тепловых сетей

№ п/п	Наименование теплоизоляционного материала	ГОСТ или ТУ	Объемная масса	Максимальная температура применения	Коэффициент теплопроводности
Прокладка в каналах					
1	Полуцилиндры и цилиндры минераловатные на синтетическом связующем марки: 100 150 200	ГОСТ 23208-83	100 150 200	400	0,049+0,00021 0,051+0,0002 0,053+0,00019
2	Маты минераловатные прошивные марки: 100 125	ГОСТ 21880-86	100 125	До 600	0,045+0,00021 0,049+0,0002
3	Плиты минераловатные на синтетическом связующем мягкие марки: 50 75 125 175	ГОСТ 9573-82	50 75 125 175	400 400	0,04+0,00029 0,043+0,00022 0,044+0,00021 0,052+0,00020
4	Маты минераловатные вертикально-слоистые марки: 100	ГОСТ 23307	100	300	0,046+0,0003
Бесканальная прокладка					
5	Автоклавный пенобетон	ТУ-480-2-1-74	350-450	180	0,1-0,13
6	Битумоперлит	ТУ-400-			

		-2-131- -75	450-550	150	0,11-0,13
7	Битумокерамзит	ТУ-102- -80	600	150	0,13
8	Битувермикулит		600	150	0,13
9	Пенополимеробетон		400	150	0,07
10	Пенопуретан		60-80	120	0,05

Приложение 6

Нормы плотности теплового потока через изолированную
поверхность трубопроводов при двухтрубной подземной
канальной прокладке

Таблица 1

Нормы плотности теплового потока при числе часов работы
в год 5000 и менее, Вт/м

Условный проход трубопровода, мм	Трубопровод					
	подающий	обратный	подающий	обратный	подающий	обратный
	Среднегодовая температура теплоносителя ,					
	65	50	90	50	110	50
25	18	12	26	11	31	10
30	19	13	27	12	33	11
40	21	14	29	13	36	12
50	22	15	33	14	40	13
65	27	19	38	16	47	14
80	29	20	41	17	51	15
100	33	22	46	19	57	17
125	34	23	49	20	61	18
150	38	26	54	22	65	19
200	48	31	66	26	83	23
250	54	35	76	29	93	25
300	62	40	87	32	103	28
350	68	44	93	34	117	29
400	76	47	109	37	123	30
450	77	49	112	39	135	32
500	88	54	126	43	167	33
600	98	58	140	45	171	35
700	107	63	163	47	185	38
800	130	72	181	48	213	42
900	138	75	190	57	234	44
1000	152	78	199	59	249	49
1200	185	86	257	66	300	54
1400	204	90	284	69	322	58

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Тб. 2.10

Основные размеры труб

Условный проход D_y в мм	Наружный диаметр D_n в мм	Номинальная толщина стенки s	Внутренний диаметр D_b в мм	Площадь в см^2 F_b по D_b	Площадь f поперечного сечения стенки трубы в см^2	Момент сопротивления W поперечного сечения трубы в см^3	Момент инерции J поперечного сечения трубы в см^4
25	32	2,5	27	5,73	2,31	1,59	2,54
32	38	2,5	33	8,55	2,79	2,32	4,41
40	45	2,5	40	12,57	3,3	3,36	7,56
50	57	3,5	50	19,63	5,92	7,42	21,1
70	76	3,5	69	37,39	7,96	13,8	52,5
80	89	3,5	82	52,81	9,41	19,3	86,1
100	108	4	100	78,54	13,11	32,8	177
125	133	4	125	122,7	16,2	50,8	338
150	159	4,5	150	176,7	21,9	82	652
175	194	5	184	265,9	29,7	137	1327
200	219	6	207	336,5	40,2	208	2279
250	273	7	259	526,9	58,4	379	5177
300	325	8	309	749,9	79,7	616	10014
350	377	9	359	1012	104	935	17624
400	426	9	408	1307	118	1204	25640
		6	414	1346	79	820	17460
450	478	7	466	1706	89	1037	24780
500	529	8	515	2083	115	1479	39160
600	630	9	614	2961	156	2400	75612
700	720	9	702	3870	202	3529	127052
800	820	9	804	5077	204	4103	168213
900	920	10	902	6390	258	5810	267239
1000	1020	12	1000	7854	317	7934	404638

Примечание: Жирной линией обозначена граница между бесшовными и сварными трубами.

Выписка из табл. 2.11.,2.12 СП "Тепловые сети".

Условный проход трубы D_y , в мм	Наружный диаметр трубы D_n , в мм	Толщина стенки трубы s , в мм	Вес 1 м трубы $q_{тр}$, в кг	Вес воды в 1м трубы q_B в кг
20	25	2	1,13	0,34
25	32	2,5	1,76	0,573
32	38	2,5	2,19	0,855
40	45	2,5	2,62	1,26
50	57	3	4	2,04
70	76	3	5,4	3,85
80	89	4	8,34	5,15
100	108	4	10,26	7,85
125	133	4	12,73	12,27
150	159	4,5	17,15	17,67
175	194	5	23,31	26,59
200	219	6	31,52	33,65
250	273	7	45,92	52,69
300	325	8	62,54	74,99
350	377	9	81,68	101,2
400	426	9	92,56	130,7
400	426	6	62,15	134,6
450	476	7	81,31	169,1
500	529	8	102,9	206,7
600	630	9	137,8	294,2
700	720	9	157,8	387
800	820	9	180	505,2
900	920	10	224,4	636,2
1000	1020	12	298,3	779,1
1200	1220	12	358	1123

Тб. 2.16

**Развернутая длина гнутых гладких отводов под
углом 90°**

Условный проход трубы D_y в мм	Радиус осевой линии отвода в мм	Развернутая длина отвода в мм
25	150	236
32		
40	200	314
50		
70	350	550
80		
100	500	785
125		
150	600	942
175	750	1178
200	850	1335
250	1000	1570
300	1200	1884
350	1500	2355
400	1700	2670

Расстояние между неподвижными опорами

по компенсирующей способности сальниковых компенсаторов.

$$L = \frac{\alpha_{расч} - 50мм}{\alpha(t - t_{н.с})}, м$$

α - коэффициент расширения трубной стали, $\frac{мм}{м \cdot ^\circ C}$ (табл.10.11);

$\alpha_{расч}$ - расчетная компенсирующая способность сальникового компенсатора, мм (табл.4.16);

t - расчетная температура теплоносителя;

$t_{н.с.}$ - расчетная температура наружного воздуха;

50мм – реальная компенсирующая способность компенсатора принимается на 50мм меньше максимальной.

Тб. 4.16

Компенсаторы сальниковые по МН 2593-61 (односторонние)																	
Условный проход сальникового компенсатора Ду в мм (шифр МН)	Размеры в мм								Площадь патрубка по наружному диаметру $F_{сн}$ в $см^2$	Набивка-шнур марки АПР или АН ГОСТ 5152-55				Болты		Общий вес в кг	Наибольшая компенсирующая способность в мм
	D_n	A	l	D_1	D	D_3	D_2	S		Диаметр или стороны квадрата в мм	Количество колец в шт	l_2 в мм	Площадь поперечного сечения f_n в $см^2$	Диаметр	Количество n в шт.		
100	108	820	375	190	133	124	104	3	85	10	8-10	65	35,8	M16	3	20,5	250
125	133	835		215	159	150	128		129				48,2			25,4	
150	159	990	435	250	194	194	154	3,5	186	13	10-12	85	73,9	M20	4	43,8	300
175	194	935		280	219	219	188		278	10			62,2			49,9	
200	219	1160	490	345	273	273	212	4	353	25	8-10	130	177,9	M24	6	92	400
250	273	1150		395	325	325	265	4,5	552	22						203,2	
300	325	1170	590	450	377	377	318	5	794	19	140	140	212,4	M27	14	158	400
350	377	1175		500	426	426	370	6	1075								
400	426	1360	590	560	478	478	418	7	1372	25	8-10	140	260	M24	8	212	400
450	478	1360		610	529	529	470	8	1735							268	
500	529	1370	590	675	578	578	520		2124	25	8-10	140	428	M24	10	333	400
600	630	1375		780	680	680	622	9	3039							508	
700	720	1380	590	875	774	774	712	10	3982	25	8-10	140	578	M27	12	479	400
800	820	1385		980	874	874	812	11	5178							658	
900	920	1385	590	1085	974	974	912	12	6533	25	8-10	140	735	M27	14	687	400
1000	1020	1390		1185	1078	1078	1012		8044							808	

Примечания: 1. Допускается изготовление корпуса компенсаторов $D_y = 350 \div 1000$ мм

2. Размеры A и l даны при полностью выдвинутом патрубке компенсатора.

3. Все детали компенсаторов, кроме болтов, изготавливают из стали марки Ст.3 по ГОСТ 380-60; болты изготавливают из стали Ст.5 по ГОСТ 380-60.

4. Два-три передних или средних кольца сальниковой набивки со стороны грундбоксы выполняются из термостойкой резины того же поперечного сечения, что и асбестовые кольца. В водяных тепловых сетях применяют термостойкую резину по ГОСТ 7338-55.

Тб. 4.17

**Компенсаторы сальниковые двухсторонние
по МН 2598-61**

Условный проход сальникового компенсатора D_y в мм (шифр по МН)	Размеры в мм		Общий вес (при A_1) в кг	Наибольшая компенсирующая способность в мм
	A	A_1		
100	1620	870	41,62	2X250
125			49,93	
150	1900	1030	86,43	2X300
175			100	
200	2160	1180	177	
250			243	
300			305	
350			318	
400	2500	1380	406	2X400
450			408	
500	2620	1440	651	
600			784	
700			939	
800			1169	
900			1339	
1000			1528	

Примечания: 1. Остальные размеры принимают по Тб. 4.16, при этом количество колец набивки и кол-во болтов удваиваются.

2. Если по условиям компоновки необходимо ответвление трубопровода от корпуса компенсатора, допускается увеличение длины корпуса A_1 на величину, равную наружному диаметру ответвляемого трубопровода.

3. Размер A дан при полностью выдвинутом патрубке компенсатора.

4. Материал – см. Примечания 3 и 4 к Тб. 4.16.

Тб. 4.19

Установочная длина и расчетная компенсирующая способность сальниковых компенсаторов				
Условный проход сальникового компенсатора D_y в мм	Установочная длина сальникового компенсатора $L_{уст}$ в мм		Расчетная компенсирующая способность сальникового компенсатора $a_{расч}$ в мм	
	одностороннего	двухстороннего	одностороннего	двухстороннего
100	800	1580	230	460
125	815			
150	960	1840	270	540
175	935			
200	1130			
250	1120	2100		
300	1140			
350	1145			
400	1320	2480	360	720
450	1320			
500	1330	2540		
600	1335			
700	1340			
800	1345			
900	1345			
1000	1350			

Примечание: В таблице дана установочная длина сальниковых компенсаторов при полном использовании расчетной компенсирующей способности.

Тб. 7.1

Коэффициенты местных сопротивлений

Местное сопротивление	ζ
Задвижка нормальная	0,5
Вентиль с косым шпинделем	0,5
Вентиль с вертикальным шпинделем	6
Обратный клапан нормальный	7
Обратный клапан "захлопка"	3
Кран проходной	2
Компенсатор сальниковый	0,3
Компенсатор П-образный:	
с гладкими отводами	1,7
с крутоизогнутыми отводами	2,4
со сварными отводами	2,8
Отводы гнутые под углом 90° со складками при R/d:	
3	0,8
4	0,5
Отводы сварные одношовные под углом, град	
60	0,7
45	0,3
30	0,2
Отводы сварные двухшовные под углом 90°	0,6
Отводы сварные трёхшовные под углом 90°	0,5
Отводы гнутые под углом 90° гладкие при R/d:	
1	1
3	0,5
4	0,3
Тройник при слиянии потоков:	
проход	1,5
ответвление	2
Тройник при разделении потока:	
проход	1
ответвление	1,5
Тройник при потоке:	

расходящемся	2
встречном	3
Грязевик	10

* Коэффициент ζ отнесен к участку с суммарным расходом воды.

Тб. 7.2

Значения l_3 для труб при $\Sigma\zeta=1$

Условный проход	Наружный диаметр X толщина стенки	l_3 , м, при $k_3=0,0005$ м
25	33,5x3,2	0,67
32	38x2,5	0,85
40	45x2,5	1,09
50	57x3	1,47
70	76x3	2,19
80	89x4	2,63
100	108x4	3,42
125	133x4	4,52
150	159x4,5	5,7
175	194x5	7,3
200	219x6	8,5
250	273x7	11,2
300	325x8	14
350	377x9	16,9
400	426x9	19,8
400	426x6	20,2
450	478x7	23,4
500	529x8	26,5
600	630x9	32,9
700	720x9	38,9
800	820x9	46
900	920x9	53,1
1000	1020x12	60,5
1100	1120x12	68,2
1200	1220x14	75,7

Тб. 10.1

Номинальные допускаемые напряжения $\sigma_{\text{доп}}$, кгс/мм².

Расчётная температура стенки трубы в °С	Номинальные допускаемые напряжения для марок стали					
	Ст.2	10	Ст.3	15	Ст.4	20
20	11,7	12	13	13,3	14,3	14,7
100	11,15	11,5	12,4	12,75	13,6	14,05
150	10,8	11,2	12,05	12,4	13,2	13,65
200	10,5	10,9	11,7	12,1	12,8	1,3
240	9,7	10	10,7	11,1	11,7	12,2
260	9,3	9,6	10,3	10,6	11,1	11,6
280	8,9	9,2	9,8	10,1	-	11,1
300	8,5	8,8	9,4	9,7	-	10,5
320	-	8,3	-	9,2	-	10
340	-	7,9	-	8,7	-	9,5
360	-	7,5	-	8,2	-	9,0
380	-	7,1	-	7,7	-	8,5
400	-	6,7	-	7,3	-	8
410	-	6,5	-	7,1	-	7,7
420	-	6,3	-	6,9	-	7,5
430	-	5,9	-	6,5	-	7,3

Примечание: 1. Для промежуточных значений расчётной температуры стенки трубы допускаемое напряжение определяют интерполяцией между двумя ближайшими величинами с округлением результата до 0,005 кгс/мм² в сторону меньшей величины.

2. Значения $\sigma_{\text{доп}}$ для температур стенки трубы 100 и 150⁰ С определены интерполяцией.

Тб. 10.2

Коэффициенты прочности сварного шва.

Конструкция шва и способ сварки	Коэффициенты прочности сварного шва
---------------------------------	-------------------------------------

Стыковой шов при ручной сварке с подваркой со стороны вершины шва	0,95
Стыковой шов при ручной односторонней сварке при наличии со стороны вершины шва подкладки или кольца, прилегающих к основному металлу по всему периметру.....	0,9
Стыковой шов при ручной односторонней сварке.....	0,7
Стыковой шов с двусторонним проваром, выполняемый автоматической сваркой под слоем флюса.....	1
Стыковой шов, свариваемый только с одной стороны автоматической сваркой под слоем флюса.....	0,8

Примечание: коэффициент прочности спирального шва для сварных труб по ГОСТ 8696-58 с учётом допускаемого по ГОСТ не провара шва прини-
мают равным 0.6, а по ГОСТ 8696-62 =0.8.

Тб. 10.3

Формулы для определения коэффициента η_1

Способ компенсации	Расчетные формулы
Гибкие компенсаторы или самокомпенсация	$\eta_1 = (1,2 - (\sigma_{\text{пр}}/\sigma_{\text{доп}})^2)^{1/2}$
Сальниковые компенсаторы. Расчет труб по растягивающим напряжениям.	$\eta_1 = 1,095$
Сальниковые компенсаторы. Расчет труб по сжимающим напряжениям.	$\eta_1 = (1,2 - 0,75(\sigma_{\text{пр}}/\sigma_{\text{доп}})^2 - (\sigma_{\text{пр}}/2\sigma_{\text{доп}}))^{1/2}$

Тб. 10.11

Модуль упругости и коэффициент линейного расширения

для трубных сталей марок 10,15,20,Ст.2, Ст.3,Ст.4.

Температура стенки трубы в град .	Модуль упругости Е в кгс/см ²	коэффициент линейного расширения α в мм/м град
-----------------------------------	--	---

20	$2,05 \cdot 10^6$	$1,18 \cdot 10^{-2}$
75	$1,99 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
100	$1,975 \cdot 10^6$	$1,22 \cdot 10^{-2}$
125	$1,95 \cdot 10^6$	$1,24 \cdot 10^{-2}$
150	$1,93 \cdot 10^6$	$1,25 \cdot 10^{-2}$
175	$1,915 \cdot 10^6$	$1,27 \cdot 10^{-2}$
200	$1,875 \cdot 10^6$	$1,28 \cdot 10^{-2}$
225	$1,847 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
250	$1,82 \cdot 10^6$	$1,31 \cdot 10^{-2}$
275	$1,79 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^{-2}$
300	$1,755 \cdot 10^6$	$1,34 \cdot 10^{-2}$
325	$1,727 \cdot 10^6$	$1,35 \cdot 10^{-2}$
350	$1,695 \cdot 10^6$	$1,36 \cdot 10^{-2}$
375	$1,665 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^{-2}$
400	$1,63 \cdot 10^6$	$1,38 \cdot 10^{-2}$
425	$1,60 \cdot 10^6$	$1,40 \cdot 10^{-2}$

Примечание: В таблице дан средний коэффициент линейного расширения трубных сталей α при нагреве от 0 до t^0 С.

Таблица для гидравлического расчета трубопроводов при $k_s=0,5$ мм и $\gamma=958,4$ кгс/м³.

Таблица 9.11

D _н ×S в мм	32*2,5		38*2,5		45*2,5		57*3,5		76*3,5	
G в т/ч	V в м/с	Δh в Па/м								
0,2	0,1	9,5								
0,22	0,11	11,4								
0,24	0,17	13,5								
0,26	0,130	15,9								
0,28	0,14	18,2								
0,3	0,15	20,8	0,1	7,2						
0,32	0,16	23,7	0,11	8,1						
0,34	0,17	27,1	0,12	9,2						
0,36	0,18	29,7	0,12	10,3						
0,38	0,19	33,0	0,13	11,5						
0,4	0,2	36,5	0,14	12,6						
0,42	0,21	40,0	0,14	13,7						
0,44	0,22	43,8	0,15	15,2	0,1	5,5				
0,46	0,23	47,5	0,16	16,6	0,11	6,0				
0,48	0,24	51,5	0,16	18,2	0,11	6,5				
0,5	0,25	55,5	0,17	19,5	0,12	7,0				
0,55	0,28	66,6	0,19	23,5	0,13	8,5				
0,6	0,3	78,5	0,2	28,0	0,14	10,1				
0,65	0,33	81,9	0,22	32,6	0,15	11,8				
0,7	0,35	107	0,24	37,7	0,16	13,7	0,1	4,4		
0,75	0,38	123	0,25	43,1	0,17	15,7	0,11	5,0		
0,8	0,41	140	0,27	48,6	0,18	17,7	0,12	5,7		
0,85	0,43	158	0,29	54,5	0,2	20,0	0,13	6,5		

0,9	0,46	177	0,31	60,8	0,21	22,2	0,13	7,2		
0,95	0,48	197	0,32	67,3	0,22	24,8	0,14	8,0		
1,0	0,51	219	0,34	74,5	0,23	27,2	0,15	8,8		
1,05	0,53	241	0,36	82,1	0,24	29,9	0,16	10,7		
1,1	0,56	265	0,37	90,1	0,25	32,9	0,16	10,5		
1,15	0,58	289	0,39	98,5	0,27	35,8	0,17	11,4		
1,2	0,61	320	0,41	107	0,28	38,7	0,18	12,4		

продолжение Таблицы 9.11

D _н ×S в мм	32*2,5		38*2,5		45*2,5		57*3,5		76*3,5	
G в т/ч	V в м/с	Δh в Па/м								
1,25	0,63	342	0,42	116	0,29	42	0,18	13,4		
1,3	0,66	370	0,44	126	0,3	45,1	0,19	14,4	0,1	2,7
1,35	0,68	399	0,46	136	0,31	48,6	0,2	15,5	0,1	2,9
1,4	0,71	429	0,47	146	0,32	52,1	0,21	16,7	0,11	3,1
1,45	0,73	460	0,49	157	0,33	55,9	0,21	17,8	0,11	3,3
1,5	0,76	492	0,51	168	0,35	59,8	0,22	19,1	0,12	3,6
1,55	0,79	526	0,53	179	0,36	63,8	0,23	20,2	0,12	3,8
1,6	0,81	560	0,54	191	0,37	68	0,24	21,4	0,12	4,0
1,65	0,84	596	0,56	203	0,38	72,3	0,24	22,6	0,13	4,3
1,7	0,86	632	0,58	215	0,39	76,8	0,25	24	0,13	4,6
1,75	0,89	670	0,59	228	0,4	81,4	0,26	25,3	0,14	4,8
1,8	0,91	709	0,61	241	0,42	86,1	0,27	26,6	0,14	5,1
1,85	0,94	749	0,63	255	0,43	90,9	0,27	28,1	0,14	5,3
1,9	0,96	790	0,64	269	0,44	95,9	0,28	29,6	0,15	5,6
1,95	0,99	832	0,66	283	0,45	101	0,29	31	0,15	5,9
2,0	1,1	875	0,68	298	0,46	106	0,3	32,5	0,16	6,2

2,1	1,06	965	0,71	328	0,48	117	0,31	35,5	0,16	6,8
2,2	1,11	1059	0,75	360	0,51	129	0,33	36,9	0,17	7,5
2,3			0,78	394	0,53	141	0,34	42,7	0,18	8,1
2,4			0,81	429	0,55	153	0,35	46,4	0,19	8,8
2,5			0,85	465	0,58	166	0,37	50,4	0,19	9,6
2,6			0,88	503	0,6	180	0,38	54,5	0,2	10,3
2,7			0,92	543	0,62	194	0,4	58,8	0,21	11,1
2,8			0,95	584	0,65	208	0,41	63,2	0,22	11,5
2,9			0,98	626	0,67	223	0,43	67,8	0,22	12,5
3,0			1,02	670	0,69	239	0,44	72,6	0,23	13,5
3,1			1,05	716	0,72	255	0,46	77,5	0,24	14,5
3,2			1,09	763	0,74	272	0,47	82,6	0,25	15,3
3,3			1,12	811	0,76	289	0,49	87,8	0,26	16,2
3,4			1,15	861	0,78	307	0,5	93,2	0,26	17,3

продолжение
Таблицы 9.11

D _н ×S в мм	45*2,5		57*3,5		76*3,5		89*35		108*4		133*4	
G в т/ч	V в м/с	Δh в Па/м										
3,5	0,81	326	0,52	98,8	0,27	18,2	0,19	7,1	0,13	2,7		
3,6	0,83	344	0,53	104	0,28	19,2	0,2	7,5	0,13	2,8		
3,7	0,85	364	0,55	110	0,29	20,2	0,2	7,9	0,14	2,9		
3,8	0,88	384	0,56	116	0,29	21,3	0,21	8,3	0,14	3,1		
3,9	0,9	404	0,58	123	0,3	22,2	0,21	8,8	0,14	3,3		
4	0,92	425	0,59	129	0,31	23,3	0,22	9,2	0,15	3,4		
4,2	0,97	469	0,62	142	0,33	24,8	0,23	10,1	0,16	3,8		
4,4	1,02	514	0,65	156	0,34	28,1	0,24	11,1	0,16	4,1	0,1	1,3
4,6	1,06	562	0,68	171	0,36	30,7	0,25	12,1	0,17	4,5	0,11	1,4

4,8	1,11	612	0,71	186	0,37	33,4	0,26	13,2	0,18	4,9	0,11	1,5
5	1,15	664	0,74	202	0,39	36,2	0,27	14,3	0,18	5,3	0,12	1,7
5,2	1,2	719	0,77	218	0,4	39,2	0,29	15,4	0,19	5,7	0,12	1,8
5,4	1,25	775	0,8	235	0,42	42,3	0,3	16,6	0,2	6,1	0,13	1,9
5,6	1,29	833	0,83	257	0,43	45,4	0,31	17,8	0,21	6,5	0,13	2,0
5,8	1,34	894	0,86	271	0,45	48,7	0,32	19,1	0,21	7,0	0,14	2,2
6	1,39	957	0,89	290	0,47	52,2	0,33	20,4	0,22	7,5	0,14	2,3
6,2	1,43	1021	0,92	310	0,48	55,7	0,34	22,2	0,23	8,0	0,15	2,5
6,4			0,95	330	0,5	59,4	0,35	23,7	0,24	8,5	0,15	2,6
6,6			0,98	351	0,51	63,1	0,36	25,2	0,24	9,0	0,16	2,8
6,8			1	373	0,53	67	0,37	26,8	0,25	9,5	0,16	3,1
7			1,03	395	0,54	71	0,38	28,4	0,26	10,1	0,17	3,2
7,5			1,11	454	0,58	81,5	0,41	32,6	0,28	11,5	0,18	3,7
8			1,18	516	0,62	92,7	0,44	37	0,3	13,0	0,19	4,2
8,5			1,25	583	0,66	105	0,47	41,8	0,31	14,6	0,2	4,7
9			1,33	653	0,7	117	0,49	46,9	0,33	16,4	0,21	5,2
9,5			1,4	728	0,74	131	0,52	52,2	0,35	18,2	0,22	5,8
10			1,48	806	0,78	145	0,55	57,9	0,37	20,2	0,24	6,4
10,5			1,55	889	0,81	160	0,58	63,8	0,39	22,2	0,25	7,0
11			1,63	976	0,85	175	0,6	70	0,41	24,4	0,26	7,7
11,5			1,7	1066	0,89	192	0,63	76,5	0,42	26,7	0,27	8,4

продолжение Таблицы 9.11

D _H ×S в мм	76*3,5		89*35		108*4		133*4		159*4,5		194*5	
	V в м/с	Δh в Па/м										
12	0,93	209	0,66	83,3	0,44	29,1	0,28	9,0	0,2	3,6		
12,5	0,97	226	0,69	90,4	0,46	31,5	0,3	9,8	0,21	3,9		
13	1,08	245	0,71	97,8	0,48	34,1	0,31	10,6	0,21	4,2		

13,5	1,05	264	0,74	105	0,5	36,8	0,32	11,3	0,22	4,5		
14	1,09	284	0,77	113	0,52	39,6	0,33	12,1	0,23	4,8		
14,5	1,12	305	0,8	122	0,54	42,4	0,34	13,0	0,24	5,1		
15	1,16	326	0,82	130	0,55	45,4	0,35	13,9	0,25	5,5	0,16	1,9
16	1,24	371	0,88	148	0,59	51,7	0,38	15,8	0,26	6,2	0,17	2,1
17	1,32	419	0,93	167	0,63	58,3	0,4	17,9	0,28	6,9	0,19	2,4
18	1,4	469	0,99	188	0,66	65,4	0,43	20,1	0,3	7,7	0,2	2,7
19	1,47	523	1,04	209	0,7	72,9	0,45	22,3	0,31	8,5	0,21	3,0
20	1,55	580	1,1	232	0,74	80,8	0,47	24,8	0,33	9,5	0,22	3,3
21	1,63	639	1,15	255	0,78	89	0,5	27,3	0,34	10,4	0,23	3,6
22	1,71	701	1,21	280	0,81	97,7	0,52	30,0	0,36	11,4	0,24	4,0
23	1,78	767	1,26	306	0,85	107	0,54	32,7	0,38	12,5	0,25	4,3
24	1,86	835	1,32	333	0,89	116	0,57	35,7	0,39	13,6	0,26	4,8
25	1,94	906	1,37	362	0,92	126	0,59	38,7	0,41	14,7	0,27	5,1
26	2,02	980	1,43	391	0,96	136	0,62	41,9	0,43	16,0	0,28	5,5
27	2,09	1056	1,48	422	1,0	147	0,64	45,1	0,44	17,2	0,29	5,9
28			1,54	454	1,03	158	0,66	48,5	0,46	18,5	0,31	6,4
29			1,59	487	1,07	170	0,69	52,1	0,48	19,9	0,32	6,8
30			1,65	521	1,11	182	0,71	55,7	0,49	21,2	0,33	7,3
31			1,7	556	1,15	194	0,73	59,5	0,51	22,7	0,34	7,7
32			1,76	593	1,18	207	0,76	63,4	0,53	24,2	0,35	8,2
33			1,81	630	1,22	220	0,78	67,4	0,54	25,7	0,36	8,7
34			1,87	669	1,26	233	0,8	71,6	0,56	27,3	0,37	9,3
35			1,92	709	1,29	247	0,83	75,8	0,57	28,9	0,38	9,8
36			1,98	750	1,33	262	0,85	80,2	0,59	30,6	0,39	10,4
37			2,03	792	1,37	276	0,87	84,8	0,61	32,3	0,4	11,0
38			2,09	836	1,4	292	0,9	89,4	0,62	34,1	0,41	11,6

продолжение Таблицы 9.11

D _н ×S в мм	108*4		133*4		159*4,5		194*5		219*6		273*7	
G в т/ч	V в м/с	Δh в Па/м										
39	1,44	307	0,92	94,2	0,64	35,9	0,43	12,2	0,34	6,6	0,21	2,2
40	1,48	323	0,95	99,1	0,66	37,8	0,44	12,8	0,35	6,9	0,22	2,3
41	1,51	339	0,97	104	0,67	39,7	0,45	13,5	0,35	7,2	0,23	2,4
42	1,55	356	0,99	109	0,69	41,6	0,46	14,2	0,36	7,6	0,23	2,5
43	1,59	373	1,02	114	0,71	43,6	0,47	14,8	0,37	8,0	0,24	2,6
44	1,63	391	1,04	120	0,72	45,7	0,48	15,5	0,38	8,3	0,24	2,7
45	1,66	409	1,06	125	0,74	47,8	0,49	16,2	0,39	8,7	0,25	2,9
46	1,7	427	1,09	131	0,76	49,9	0,5	17,0	0,4	9,1	0,25	3,0
47	1,74	446	1,11	137	0,77	52,1	0,51	17,7	0,41	9,5	0,26	3,1
48	1,77	465	1,13	143	0,79	54,4	0,52	18,5	0,41	9,9	0,26	3,2
49	1,81	485	1,16	149	0,8	56,7	0,53	19,3	0,42	10,4	0,27	3,4
50	1,85	505	1,18	155	0,82	59,0	0,55	20,1	0,43	10,8	0,28	3,5
52	1,92	546	1,23	167	0,85	63,8	0,57	21,7	0,45	11,7	0,29	3,8
54	1,99	589	1,28	181	0,89	68,8	0,59	23,4	0,47	12,6	0,3	4,1
56	2,07	633	1,32	194	0,92	74,0	0,61	25,2	0,48	13,5	0,31	4,4
58	2,14	679	1,37	208	0,95	79,4	0,63	27,0	0,5	14,5	0,32	4,6
60	2,22	727	1,42	223	0,98	85,0	0,65	28,9	0,52	15,5	0,33	4,9
62	2,29	776	1,47	238	1,02	90,7	0,68	30,8	0,53	16,6	0,34	5,1
64	2,36	827	1,51	254	1,05	96,7	0,7	32,9	0,55	17,7	0,35	5,4
66	2,44	879	1,56	270	1,08	103	0,72	35,0	0,57	18,8	0,36	5,8
68	2,51	934	1,61	286	1,12	109	0,74	37,1	0,59	19,9	0,37	6,1
70	2,59	989	1,65	303	1,15	116	0,76	39,3	0,6	21,1	0,39	6,5
72	2,66	1047	1,7	321	1,18	122	0,79	41,6	0,62	22,3	0,4	6,9
74			1,75	339	1,21	129	0,81	43,9	0,64	23,6	0,41	7,2
76			1,8	359	1,25	136	0,83	46,3	0,66	24,9	0,42	7,6
78			1,84	377	1,28	144	0,85	48,8	0,67	26,2	0,43	8,1
80			1,89	396	1,31	151	0,87	51,4	0,69	27,6	0,44	8,5
85			2,01	447	1,4	171	0,93	58,0	0,73	31,3	0,47	9,6

90			2,13	501	1,48	191	0,98	65,0	0,78	34,9	0,5	10,7
95			2,25	559	1,56	213	1,04	72,4	0,82	38,9	0,52	11,9

продолжение Таблицы 9.11

D _H ×S _B мм	133*4		159*4,5		194*6		194*5		219*6		273*7		325*8		377*9		426*7		426*6	
	V _B м/с	Δh _B Па/м	V _B м/с	Δh _B Па/ м																
100	2,36	619	1,64	236	1,12	85	1,09	80,2	0,86	43,1	0,55	13,2	0,39	5,2	0,29	2,5	0,2	10,	0,22	1,2
105	2,48	683	1,72	260	1,17	93,7	1,15	88,5	0,91	47,5	0,58	14,6	0,41	5,8	0,3	2,7	20,	2	0,02	1,3
110	2,6	749	1,81	286	1,23	103	1,2	97,1	0,95	52,2	0,61	16,0	0,43	6,3	0,32	3,0	23	1,3	3	1,4
115	2,72	819	1,89	312	1,28	112	1,25	106	0,99	57,0	0,63	17,5	0,44	6,9	0,33	3,2	0,2	1,4	0,24	1,5
120	2,84	891	1,97	340	1,34	122	1,31	116	1,03	62,1	0,66	19,1	0,46	7,5	0,34	3,4	4	1,6	0,25	1,7
125	2,95	967	2,05	369	1,39	133	1,36	125	1,08	67,4	0,69	20,7	0,48	8,2	0,36	3,7	0,2	1,7	0,26	1,8
130	3,07	1046	2,13	399	1,45	144	1,42	136	1,12	72,9	0,72	22,4	0,5	8,8	0,37	4,0	5	1,9	0,27	2,0
135			2,22	430	1,51	155	1,47	146	1,16	78,6	0,74	24,1	0,52	9,5	0,39	4,3	0,2	2,0	0,28	2,1
140			2,3	463	1,56	167	1,53	157	1,21	84,5	0,77	25,9	0,54	10,3	0,4	4,7	0,2	6	2,2	0,29
145			2,38	496	1,62	179	1,58	169	1,25	90,6	0,8	27,8	0,56	11,0	0,42	5,0	7	2,3	0,3	2,4
150			2,46	531	1,67	191	1,64	181	1,29	97,0	0,83	29,8	0,58	11,8	0,43	5,3	0,2	2,5	0,31	2,6
155			2,54	567	1,73	204	1,69	193	1,34	104	0,85	31,8	0,6	12,6	0,44	5,7	8	2,7	0,32	2,7
160			2,63	604	1,78	218	1,75	205	1,38	110	0,88	33,9	0,62	13,4	0,46	6,1	0,2	2,8	0,33	2,9
165			2,71	643	1,84	231	1,8	218	1,42	117	0,91	36,0	0,64	14,2	0,47	6,5	9	3,0	0,34	3,1
170			2,79	682	1,9	246	1,85	232	1,47	125	0,94	38,3	0,66	15,1	0,49	6,9		3,1	0,36	3,3
175			2,87	723	1,95	260	1,91	246	1,51	132	0,96	40,5	0,68	16,0	0,5	7,3	0,3	3,3	0,37	3,4
180					2,01	275	1,96	260	1,55	140	0,99	42,9	0,7	16,9	0,52	7,7	2	0,3	3,5	0,38
190					2,12	307	2,07	290	1,64	156	1,05	47,8	0,74	18,9	0,54	8,6	0,3	3,7	0,39	4,1

200					2,23	340	2,18	321	1,72	172	1,1	53,0	0,77	20,9	0,57	9,5	3	4,2	0,41	4,5
210					2,34	375	2,29	354	1,81	190	1,16	58,4	0,81	23,1	0,6	10,5	0,3	4,6	0,43	5,0
220					2,45	411	2,4	388	1,9	209	1,21	64,1	0,85	25,3	0,63	11,5	4	5,1	0,45	5,4
230					2,56	450	2,51	424	1,98	228	1,27	70,0	0,89	27,7	0,66	12,6	0,3	5,6	0,47	5,9
240					2,68	490	2,62	462	2,07	248	1,32	76,3	0,93	30,1	0,69	13,7	5	6,1	0,5	6,5
250					2,79	531	2,73	502	2,16	269	1,38	82,7	0,97	32,7	0,72	14,9	0,3	6,6	0,52	7,0
																	6	7,2	0,54	
260					2,9	575	2,84	542	2,24	291	1,43	89,5	1,01	35,4	0,75	16,1	0,3			7,6
270					3,01	620	2,95	585	2,33	314	1,49	96,5	1,04	38,1	0,77	17,3	7	7,8	0,56	8,2
280					3,12	666	3,05	629	2,41	338	1,54	104	1,08	41,0	0,8	18,6	0,3	8,4	0,58	8,8
290					3,23	715	3,16	675	2,5	363	1,6	111	1,12	44,0	0,83	20,0	8	9,0	0,6	9,5
300					3,35	765	3,27	722	2,59	388	1,65	119	1,16	47,1	0,86	21,4		9,7	0,62	10,
310					3,46	817	3,38	771	2,67	414	1,71	127	1,2	50,3	0,89	22,8	0,3	10,	0,65	1
																	9	4	0,67	10,
																	0,4	1,1		8
																	1			
																	0,4			
																	4			
																	0,4			
																	6			
																	0,4			
																	8			
																	0,5			
																	0,5			
																	2			
																	0,5			
																	2			
																	0,5			
																	7			
																	0,5			
																	9			
																	0,6			
																	1			

490	4,22	1035	2,7	318	1,9	120	1,4	57,1	1,07	27,7	1,06	27,0	0,84	14,8	0,68	8,6						
500			2,75	340	1,93	126	1,43	59,4	1,09	28,8	1,08	28,1	0,86	15,5	0,7	8,9	0,4	3,6	0,49	3,5		
520			2,86	368	2,01	131	1,49	64,3	1,13	31,2	1,12	30,4	0,89	16,7	0,72	9,7	9	3,9	0,51	3,8		
540			2,97	396	2,09	141	1,55	69,3	1,18	33,6	1,16	32,8	0,93	18,0	0,75	10,4	0,5	4,2	0,53	4,1		
560			3,08	426	2,17	153	1,6	74,6	1,22	36,2	1,21	35,3	0,96	19,4	0,78	11,2	1	4,5	0,55	4,4		
580			3,19	456	2,24	164	1,66	80,0	1,26	38,8	1,25	37,8	1,0	20,8	0,81	12,0	0,5	4,8	0,56	4,7		
600			3,3	488	2,32	176	1,72	85,6	1,31	41,5	1,29	40,5	1,03	22,3	0,84	12,9	3	5,1	0,58	5,0		
								188									0,5					
620					3,41	509	2,4		1,78	91,4	1,35	44,3	1,34	43,2	1,06	23,8	0,86	13,8	5	5,5	0,6	5,4
640					3,52	542	2,48	201	1,83	97,4	1,39	47,3	1,38	46,1	1,1	25,3	0,89	14,7	0,5	5,8	0,62	5,7
660					3,63	577	2,55	214	1,89	1041	1,44	50,3	1,42	49,0	1,13	26,9	0,92	15,6	7	6,2	0,64	6,1
680					3,74	612	2,63	228	1,95	10	1,48	53,3	1,47	5,51	1,17	28,6	0,95	16,5	0,5	6,6	0,66	6,5
700					3,85	649	2,71	242	2,01	117	1,52	56,5	1,51	5,7	1,2	30,3	0,97	17,5	9	7,0	0,68	6,9
720					3,96	686	2,79	256	2,06	123	1,57	59,8	1,55	5,83	1,24	32,1	1,0	18,6		7,4	0,7	7,3
								271											0,6			
																			1			
																			0,6			
																			3			
																			0,6			
																			5			
																	0,6					
																	7					
																	0,6					
																	9					
																	0,7					
																	1					

Продолжение
Тб.9.11

D _H *S	273*7		325*8		377*9		426*7		426*6		478*7		529*7		630*8		720*9		820*9	
	V B	Δh B																		
	G T/ч	м/с	Па/м	м/с																

740	4,07	725	2,86	286	2,12	130	1,61	63,2	1,59	61,6	1,27	33,9	1,03	19,6	0,73	7,8	0,55	3,9	0,42	1,9
760	4,18	765	2,94	302	2,18	137	1,65	66,6	1,64	65	1,3	35,7	1,06	20,7	0,74	8,2	0,57	4,1	0,44	2
780	4,29	805	3,02	318	2,24	145	1,7	70,2	1,68	68,4	1,34	37,6	1,09	21,8	0,76	8,7	0,58	4,3	0,45	2,1
800	4,41	847	3,09	335	2,29	152	1,74	73,8	1,72	72	1,37	39,6	1,11	22,9	0,78	9,1	0,6	4,5	0,46	2,3
820			3,17	352	2,35	160	1,78	77,6	1,77	75,6	1,4	41,6	1,14	24,1	0,8	9,6	0,61	4,7	0,47	2,4
840			3,25	369	2,41	168	1,83	81,4	1,81	79,4	1,44	43,6	1,17	25,3	0,82	10	0,63	5	0,48	2,5
860			3,33	387	2,46	176	0,87	85,3	1,85	83,2	1,48	45,7	1,2	26,5	0,84	10,5	0,64	5,2	0,49	2,6
880			3,4	405	2,52	184	1,91	89,3	1,9	87,1	1,51	47,9	1,23	27,7	0,86	11	0,66	5,5	0,51	2,7
900			3,48	424	2,58	193	1,96	93,4	1,94	91,1	1,54	50,1	1,25	29	0,88	11,5	0,67	5,7	0,52	2,9
920			3,56	443	2,64	201	2	97,6	1,98	95,2	1,58	52,3	1,28	30,3	0,9	12,1	0,69	6	0,53	3
940			3,64	462	2,69	210	2,05	102	2,03	99,4	1,61	54,6	1,31	31,6	0,92	12,6	0,7	6,2	0,54	3,1
960			3,71	482	2,75	219	2,09	106	2,07	104	1,65	57	1,34	33	0,94	13,1	0,72	6,5	0,55	3,2
980			3,79	502	2,81	228	2,13	111	2,11	108	1,68	59,4	1,36	34,4	0,96	13,7	0,73	6,8	0,56	3,4
1000			3,87	523	2,87	238	2,18	115	2,16	112	1,72	61,8	1,39	35,8	0,98	14,2	0,75	7,1	0,57	3,5
1020			3,95	544	2,92	247	2,22	120	2,2	117	1,75	64,3	1,42	37,2	1	14,8	0,76	7,3	0,59	3,7
1040			4,02	566	2,98	257	2,26	125	2,24	122	1,78	66,9	1,45	38,7	1,02	15,4	0,78	7,6	0,6	3,8
1060			4,1	588	3,04	267	2,31	130	2,28	126	1,82	69,5	1,48	40,2	1,04	16	0,79	7,9	0,61	4
1080			4,18	610	3,1	277	2,35	135	2,33	131	1,85	72,1	1,5	41,7	0,06	16,6	0,81	8,2	0,62	4,1
1100			4,26	633	3,15	288	2,39	140	2,37	136	1,89	74,8	1,53	43,3	1,08	17,2	0,82	8,5	0,63	4,3
1150			4,45	692	3,3	314	2,5	153	2,48	149	1,97	81,8	1,6	47,3	1,13	18,8	0,86	9,3	0,66	4,7
1200			4,64	753	3,44	342	2,61	166	2,59	162	2,06	89	1,67	51,5	1,18	20,5	0,9	10,2	0,69	5,1
1250			4,84	817	3,58	371	2,72	180	2,69	176	2,14	96,6	1,74	55,9	1,22	22,5	0,94	11	0,72	5,5
1300			5,03	884	3,73	402	2,83	195	2,8	190	2,23	104	1,81	60,5	1,27	24,1	0,97	11,9	0,75	5,9
1350			5,22	953	3,87	433	2,94	210	2,91	205	2,32	113	1,88	65,2	1,32	26	1,01	12,9	0,78	6,4
1400			5,42	102	4,01	466	3,05	226	3,02	220	2,4	121	1,95	70,1	1,37	27,9	1,05	13,8	0,8	6,9
				5																
1450					4,16	500	3,16	243	3,12	236	2,49	130	2,02	75,2	1,42	29,9	1,09	14,9	0,83	7,4
1500					4,3	535	3,26	260	3,23	253	2,57	139	2,09	80,5	1,47	32	1,12	15,9	0,86	7,9
1550					4,44	571	3,37	277	3,34	270	2,66	149	2,16	86	1,52	34,2	1,16	17	0,89	8,5
1600					4,59	609	3,48	295	3,45	288	2,74	158	2,23	91,6	1,57	36,5	1,2	18,1	0,92	9
1650					4,73	647	3,59	314	3,56	306	2,83	168	2,3	97,4	1,62	38,8	1,24	19,2	0,95	9,6

продолжение Таблицы 9.11

D _H ×S B MM	377*9		426*7		426*6		478*7		529*7		630*8		720*9		820*9		920*10		1020*11		1220*12	
	G B T/Ч	V B M/C	Δh B Па/ M	V B M/C																		
1700	4,8	687	3,7	333	3,66	325	2,9	179	2,3	103	1,6	41,2	1,2	20,4	0,9	10,2	1,7	5,6	0,6	3,2	0,4	1,3
1750	7	728	3,8	353	3,77	344	2	189	7	110	7	43,6	7	21,6	8	10,8	8	5,9	3	3,4	4	1,3
1800	5,0	770	1	374	3,88	364	3,0	200	2,4	116	1,7	46,1	1,3	22,9	1,0	11,4	0,8	6,2	0,6	3,6	0,4	1,4
1850	2	814	3,9	395	3,99	385	3,0	212	4	122	1	48,7	1	24,2	1,0	12,0	0,8	6,6	5	3,8	5	1,5
1900	5,1	858	2	416	4,09	406	9	223	2,5	129	1,7	51,4	1,3	25,5	3	12,7	2	7,0	0,6	4,1	0,4	1,6
1950	6	904	4,0	439	4,2	428	3,1	235	1	136	6	54,2	5	26,9	1,0	13,4	0,8	7,3	7	4,3	6	1,7
2000	5,3		3	461	4,31	450	7	247	2,5	143	1,8	57,0	1,3	28,3	6	14,1	4	7,7	0,6	4,5	0,4	1,7
2100	5,4		4,1	509	4,53	496	3,2	273	8	158	1	62,8	9	31,2	1,0	15,5	0,8	8,5	9	4,9	8	1,9
	5		3				6		2,6		1,8		1,4	9	7	0,7			0,7		0,4	
2200	5,5		4,2	558	4,74	544	3,3	299	5	173	6	68,9	2	34,2	1,2	17,0	0,8	9,3	0,7	5,4	9	2,1
2300	9		4	610	4,96	595	5	327	2,7	189	1,9	75,3	1,4	37,4	1,1	18,6	9	10,2	2	5,9	0,5	2,3
2400			4,3	665	5,17	648	3,4	356	2	206	1	82,0	6	40,7	5	20,3	0,9	11,1	0,7	6,57,	0,5	2,5
2500			5	721	5,39	703	3	386	2,7	224	1,9	89,0	1,5	44,2	1,2	22,0	1	12,0	4	0	1	2,7
2600			4,5	780	5,6	760	3,6	418	9	242	6	96,3	1,5	47,8	1	23,8	0,9	13,0	0,7	7,6	0,5	2,9
2700			7	841	5,82	820		451	2,9	261	2,0	104	7	51,5		25,7	6	14,0	8	8,2	4	3,2
2800				904	6,03	882	3,7	485	2	281	6	112		55,4	1,2	27,6		15,1		8,8		3,4
2900			4,7	970	6,25	946	7	520		301		120	1,6	59,4	6	29,6	1,0	16,2	0,8	9,4	0,5	3,7
			9				3,9		3,0		2,1		21,	1,3		1,0		2		7		
3000			5,0	1038	6,47	1012	5	556	6	322	6	128	72	63,6	2	31,7	5	17,3	0,8	10,1	0,5	3,9
3100			5,2				4,1	594	3,2	344	2,2	137	1,8	67,9	1,3	33,8	1,0	18,5	5	10,8	9	4,2
3200			2				2	633	3,3	366	5	146	1,8	72,3	8	36,0	9	19,7	0,8	11,5	0,6	4,5
3300			5,4				4,2	673	4	390	2,3	155	7	76,9	1,4	38,3	1,1	21,0	9	12,2	2	4,7
3400			4				9	712	3,4	414	5	164	1,9	81,7	1,4	40,7	4	22,3	0,9	13,0	0,6	5,0
3500			5,6				4,4	757	8	438	2,4	174	5	86,5	9	43,1	1,1	23,6	3	13,7	5	5,3

3600			6				6	801	3,6	464	5	185	2,0	91,6	1,5	45,6	9	25,0	0,9	14,5	0,6	5,7
3700			5,8				4,6	846	2	490	2,5	195	2	96,7	5	48,2	1,2	26,4	6	15,4	7	6,0
			8				3		3,7		5		2,1		1,6		3		1,0		0,7	
3800			6,0				4,8	893	6	517	2,6	206	2,1	102	1	50,8	1,2	27,8	1,0	16,2	0,7	6,3
3900			9				4,9	940	3,9	544	5	217	7	107	1,6	53,5	8	29,3	4	17,1	2	6,6
4000			6,3				8	989	4,0	573	2,7	228		113	7	56,3	1,3	30,8	1,0	18,0	0,7	7,0
4200			1					1091	4	631	4	251	2,2	125		62,1	2	34,0	8	19,8	5	7,7
4400							5,1			693	2,8	276	5	137	1,7	68,1		37,3		21,7		8,4
4600			6,5				5		4,1	757	4	301	2,3	149	2	74,5	1,3	40,8	1,1	23,7	0,7	9,2
			3				5,3		8				2		1,7		7		1		7	
							2		4,3		2,9		2,4		8		1,4		1,1		0,8	
							5,4		2		4		2,4		1,8		1		5		0,8	
							9		4,4		3,0		7		4		1,4		1,1		3	
							5,6		6		4		2,5		1,9		6		9		0,8	
							6		4,6		3,1		5		1,9		1,5		1,2		5	
							5,8		4,7		4		2,6		5		1,5		2		0,8	
							3		4		3,2		2		2,0		5		1,2		8	
							6,0		4,8		3		2,7		1		1,6		6		0,9	
							6,1		7		3,3		2,7		2,0		1,6		1,3		0,9	
							8		5,0		3		7		7		4		1,2		3	
							6,3		1		3,4				2,1		1,6		4		0,9	
							5		5,1		3		2,8		2		9		1,3		6	
							5		5		3,5		5						7			
							6,5				3		2,9		2,1		1,7				0,9	
							2		5,2		3,6		2		8		3		1,4		8	
							6,6		9		3		3,0		2,2		1,7		1		1,0	
							9		5,4				3,1		4		8		1,4		1	
							6,8		3		3,7		5		2,3		1,8		5		1,0	
							67,		5,5		2		3,3		2,4		2		1,4		3	
							21		7		3,8		3,4		1		1,9		8		1,0	
									5,8		2		5		2,5		2		1,5		8	
									56,		3,9				3		2,0		6		1,1	
									13		2				2,6		1		1,6		4	
									6,4		4,1				4		2,1		3		1,1	

									1		1 4,3 1 4,5 1								1,7 1		9	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	----------	--	---	--

продолжение Таблицы 9.11

D _H ×S _B мм	630*8		720*9		820*9		920*10													
	V _B м/с	Δh _B Па/м	V _B м/с	Δh _B Па/ м																
4800	4,7	328	3,6	163	2,76	81,1	2,19													
5000	4,9	356	3,75	177	2,87	88,0	2,28													
5200	5,09	385	3,9	191	2,99	95,2	2,37													
5400	5,29	415	4,05	206	3,1	103	2,46													
5600	5,49	447	4,2	222	3,22	110	2,55													
5800	5,68	479	4,35	238	3,33	118	2,64													
6000	5,88	513	4,50	254	3,45	127	2,74													
6200	6,07	547	4,65	272	3,56	135	2,83													
6400	6,27	583	4,8	289	3,68	144	2,92													
6600	6,47	620	4,95	308	3,79	153	3,01													
6800	6,66	659	5,1	327	3,9	163	3,1													
7000	6,86	698	5,25	346	4,02	172	3,19													
7200	7,05	738	5,4	366	4,13	182	3,28													
7400	7,25	780	5,55	387	4,25	193	3,37													
7600	7,45	823	5,7	408	4,36	203	3,47													
7800	7,64	867	5,85	430	4,48	214	3,56													
8000	7,84	912	6,0	452	4,59	225	3,65													
8200	8,03	958	6,15	475	4,71	237	3,74													

8400	8,23	1005	6,3	498	4,82	248	3,83												
8600			6,45	522	4,94	260	3,92												
8800			6,6	547	5,05	273	4,01												
9000			6,75	572	5,17	285	4,1												
9200			6,9	598	5,28	298	4,2												
9400			7,05	624	5,4	311	4,29												
9600			7,2	651	5,51	324	4,38												
9800			7,35	678	5,63	338	4,47												
10000			7,5	706	5,74	352	4,56												
10500					6,03	389	4,79												
11000					6,32	426	5,02												
11500					6,6	465	5,24												

