

**ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ АДМИНИСТРАЦИИ
ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ
ГБПОУ ВО
«Владимирский химико-механический колледж»**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО
ПМ01ТЗ
«Эксплуатация систем теплоснабжения»**

2017

Рассмотрено на заседании цикловой
комиссии специальных дисциплин

УТВЕРЖДАЮ

Протокол № _____ от _____

Председатель ЦК _____

Зам. директора по УР _____

И.Н.Какунина

С.В.Макарова

Составитель:

Зубарев В.С.

преподаватель ГБПОУ ВО «ВХМК»

Рецензент:

Николаева О.С.

методист ГБПОУ ВО «ВХМК»

Содержание

1. Определение расхода теплоты на отопление, вентиляцию и горячего водоснабжения по укрупненным показателям.....	3
2. Изучение схем присоединения отопительных систем и систем горячего водоснабжения.....	21
3. Регулирование отпуска теплоты.....	33
4. Гидравлический расчет трубопроводов тепловой сети.....	49
5. Построение пьезометрического графика напоров водяной тепловой сети.....	67
6. Выбор схем присоединения потребителей тепла к внешним сетям по графику напоров.....	79
7. Выбор материала и толщины слоя тепловой изоляции тепловых сетей.....	83

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ НА ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ГРУППЫ ЗДАНИЙ ПО УКРУПНЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Расход теплоты на отопление.

Отопление зданий предназначено для поддержания температуры в помещении на уровне, обеспечивающем комфортные условия.

Для поддержания температуры в здании на расчетном уровне необходимо обеспечить равновесие между притоком тепла в здание и тепловыми потерями.

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{т.в.}};$$

где:

$Q_{\text{пот}}$ – потери тепла из здания наружу через стены;

$Q_{\text{пр}}$ – приток тепла в здание из системы теплоснабжения;

$Q_{\text{т.в.}}$ – внутреннее тепловыделение в здании от источников тепла от людей, промышленного оборудования, нагревательных приборов, осветительных приборов и т.п.

Для жилых помещений внутреннее тепловыделение относительно мало и в расчетах не используется ($Q_{\text{т.в.}}=0$), для промышленных зданий $Q_{\text{т.в.}}$ может быть значительным (например, в механических и термических цехах) и должно учитываться в тепловом балансе.

Тепловые потери $Q_{\text{пот}}$ состоят из потерь теплопередачей через наружные стены здания $Q_{\text{т}}$ и потерь инфильтрацией $Q_{\text{и.}}$, т.е. потерь теплоты вследствие поступления наружного холодного воздуха в здание через щели.

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{и.}};$$

Тепловые потери зависят, в основном от первого слагаемого, поэтому при расчетах применяют формулу

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{т}}(1 + \mu);$$

где $\mu = Q_{\text{и}}/Q$ - коэффициент инфильтрации, составляющий 0,03 - 0,06 для жилых зданий и 0,25 - 0,30 для промышленных объектов.

Потери теплопередачей через наружные стены определяют по формуле:

$$Q_{\text{т}} = q_0 \cdot \beta \cdot V \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{п}} - t_{\text{н}}), \text{Вт};$$

где:

q_0 [Вт/(м³К)] – удельные тепловые потери через стены здания теплопередачей, приводятся в СНиП (строительных нормах и правилах) для различных типов зданий. Значение q_0 означает, сколько ватт тепловой энергии уходит из одного кубометра объема здания при разнице наружной и внутренней температуры в один градус;

$\beta = 1,3 + 0,01 \cdot t_{\text{o.p.}}$ – поправочный коэффициент для районов, имеющих расчетную температуру окружающего воздуха, отличную от -30°C;

$t_{\text{o.p.}}$ – расчетная температура окружающего воздуха;

V – объем помещения, м³;

$t_{\text{вн}}^{\text{п}}$ – расчетная температура воздуха внутри помещения;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха.

Из этого уравнения можно вывести уравнение необходимого притока тепла в здание через систему отопления:

$$Q_0 = q_0 \cdot (1 + \mu) \cdot V \cdot \beta \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{п}} - t_{\text{н}});$$

Максимальная нагрузка отопления соответствует самой низкой температуре наружного воздуха $t_{\text{н}}$.

Расчет отопления производится по температуре $t_{\text{н}} = t_{\text{o.p.}}$, которая определяется как средняя температура наиболее холодных пятидневок из восьми самых холодных зим за последние 50 лет. Для различных городов эта температура берется из многолетних климатических измерений.

Таким образом, расчетный расход тепла на отопление равен

$$Q_0^{\text{п}} = q_0 \cdot (1 + \mu) \cdot V \cdot \beta \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{п}} - t_{\text{o.p.}}), \text{кВт};$$

где:

μ – коэффициент инфильтрации;

q_0 – удельные тепловые потери через стены здания;

V – объем здания;

$\beta = 1,3 + 0,01 \cdot t_{o.p.}$ – поправочный коэффициент для районов, имеющих расчетную температуру окружающего воздуха, отличную от -30°C ;

$t_{\text{вн}}^p$ – расчетная температура воздуха в отапливаемом помещении (см. Приложение 2);

$t_{o.p.}$ – расчетная температура наружного воздуха.

Продолжительность отопительного периода определяется как число дней с устойчивой среднесуточной температурой $+8^\circ\text{C}$ и ниже.

Расход теплоты на вентиляцию.

Вентиляция предназначена для поддержания в помещении состава воздуха, определенного санитарными нормами. С точки зрения отопления, в процессе вентиляции из помещения удаляется теплый воздух, а взамен через приточные каналы, или через неплотности в стенах, поступает холодный воздух. Для поддержания необходимого теплового баланса холодный воздух следует нагревать, затрачивая на это тепло Q_v . В жилых домах, оборудованных системой приточной вентиляции $Q_v \approx 0,1 Q_o^p$. В зданиях коммунальных предприятий, общественно-культурных учреждений и промышленных предприятий расход тепла на вентиляцию составляет значительную долю потребления тепла.

Расход тепла на вентиляцию определяется по формуле:

$$Q_v = q_v \cdot V \cdot (t_{\text{вн}}^p - t_{o.p.}), \text{ Вт};$$

где:

q_v – расчетное количество воздуха, подаваемое приточной вентиляцией, м^3 ,

V – объем помещения.

Расход теплоты на горячее водоснабжение (ГВС)

Разбор горячей воды в отапливаемых помещениях может производиться через открытую или закрытую систему горячего водоснабжения. В открытых системах на водоразбор используется

непосредственно сетевая (техническая) вода из системы отопления, поступающая с источника тепла. В закрытых системах на водоразбор используется вода нагретая непосредственно у потребителя в специально установленном теплообменнике. Расход теплоты на ГВС сильно меняется как в течение суток, так и в течение недели.

Среднесуточный расход теплоты на ГВС равен:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср.сут.}} = \frac{[g_{\text{ср}}^{\text{сут.}} \cdot m \cdot c(t_{\text{г}} - t_{\text{х}})]}{n_{\text{с}} \cdot 3600}, \text{ кВт};$$

где:

$g_{\text{ср}}^{\text{сут.}}$ – суточная норма расхода горячей воды на одного человека;

m – число человек в доме;

c – объемная теплоемкость воды;

$t_{\text{г}} = 55^{\circ}\text{C}$ – нормируемая температура горячей воды;

$t_{\text{х}}$ – нормируемая температура холодной воды (5°C зимой, 15°C летом);

$n_{\text{с}}$ – расчетная длительность подачи горячей воды в сутки (в жилых зданиях – 24 часа).

Максимальный расход теплоты на ГВС равен:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = k \cdot Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср.сут.}}, \text{ кВт};$$

где:

k – коэффициент суточной неравномерности расхода теплоты; $k = 1$ для жилых зданий, $k = 1,2$ для промышленных зданий.

Определение годового расхода тепла

производится для определения годового количества потребного топлива, составления графика использования и ремонта оборудования.

Годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_{\text{о}}^{\text{год}} = Q_{\text{о}}^{\text{р}} \cdot \frac{t_{\text{вн}}^{\text{р}} - t_{\text{ср}}^{\text{о}}}{t_{\text{вн}}^{\text{р}} - t_{\text{о.р.}}} \cdot n_{\text{о}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \frac{\text{ГДж}}{\text{год}};$$

где:

Q_o^p – расчетный расход тепла на отопление, кВт;

t_{cp}^o – средняя температура воздуха за отопительный период, °С;

n_0 – продолжительность отопительного периода, сут./год.

Годовой расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_B^{год} = Q_B^p \cdot \frac{t_{BH}^p - t_{cp}^o}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} \cdot n_0 \cdot Z_B \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \frac{\text{ГДж}}{\text{год}};$$

где:

Q_B^p – расчетный расход тепла на вентиляцию, кВт;

Z_B – количество часов работы вентиляции в сутки.

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение:

$$Q_{ГВС}^{год} = Q_{ГВС}^{ср.сут.} \cdot \left[n_0 + \varphi_{\Gamma}^l \cdot \frac{t_{\Gamma}^p - t_{\chi}^l}{t_{\Gamma}^p - t_{\chi}^3} \cdot (350 - n_0) \right] \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \frac{\text{ГДж}}{\text{год}};$$

где:

$Q_{ГВС}^{ср.сут.}$ – среднесуточный расход теплоты на ГВС, кВт;

$\varphi_{\Gamma}^l = 0,8$ – коэффициент снижения расхода на ГВС в летний период;

$t_{\Gamma}^p = 55^{\circ}\text{C}$, $t_{\chi}^3 = +5^{\circ}\text{C}$, $t_{\chi}^l = +15^{\circ}\text{C}$ – соответственно расчетные температуры горячей и холодной водопроводной воды зимой и летом;

Общий годовой расход тепла:

$$Q^{год} = Q_o^{год} + Q_B^{год} + Q_{ГВС}^{год}, \frac{\text{ГДж}}{\text{год}}.$$

Задание:

Произвести расчет тепловых нагрузок для перечисленных ниже зданий, расположенных в городах согласно вариантам:

Вариант	Город	Вариант	Город	Вариант	Город
1	Архангельск	11	Иваново	21	Оренбург
2	Астрахань	12	Иркутск	22	Пермь
3	Барнаул	13	Казань	23	Псков
4	Брянск	14	Кострома	24	Рязань
5	Верхоянск	15	Красноярск	25	Самара
6	Владивосток	15	Краснодар	26	Смоленск
7	Вятка	17	Курск	27	Тверь
8	Волгоград	18	Мурманск	28	Томск
9	Воронеж	19	Новосибирск	29	Хабаровск
10	Екатеринбург	20	Омск	30	Ярославль

Здание № 1. Жилой 9-этажный крупнопанельный железобетонный дом на 400 жителей, $V=25800 \text{ м}^3$.

Здание № 2. Столовая. Высота $h=6\text{м}$, длина $a=18\text{м}$, ширина $b=18 \text{ м}$. Число посадочных мест - 80.

Здание № 3. Жилой 5-этажный кирпичный дом на 200 жителей, $V=25000 \text{ м}^3$.

Здание № 4. Столярный цех промышленного предприятия. Высота $h=4\text{м}$, длина $a=24\text{м}$, ширина $b=30 \text{ м}$. Число работающих - 100 человек в смену; цех работает в 2 смены по 8 часов.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Произвести расчет тепловых нагрузок для перечисленных выше зданий, расположенных в г. Москве:

РЕШЕНИЕ:

1. Определяем расход теплоты на отопление:

$$Q_0^p = q_0 \cdot (1 + \mu) \cdot V \cdot \beta \cdot (t_{\text{вн}}^p - t_{\text{о.р.}}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт};$$

Принимаем:

$\mu = 0,045$ для зданий №№ 1,2,3; $\mu = 0,27$ для столярного цеха;

По приложению 1 принимаем: $t_{\text{о.р.}} = -26^\circ\text{C}$;

Тогда поправочный коэффициент $\beta = 1,3 + 0,01 \cdot t_{o.p.} = 1,3 - 0,01 \cdot 26 = 1,04$

По приложению 2 принимаем:

$t_{вн}^p = 18^\circ\text{C}$ — для жилых зданий;

$t_{вн}^p = 16^\circ\text{C}$ — для столовой и столярного цеха;

По приложению 1.3 принимаем:

для здания № 1: $q_0 = 0,3 \text{ Вт/м}^3\text{К}$;

для здания № 2: $q_0 = 0,35 \text{ Вт/м}^3\text{К}$;

для здания № 3 (объем здания $6 \cdot 18 \cdot 8 = 1944 \text{ м}^3$): $q_0 = 0,3 \text{ Вт/м}^3\text{К}$;

для здания № 4 (объем здания $4 \cdot 34 \cdot 30 = 2880 \text{ м}^3$): $q_0 = 0,53 \text{ Вт/м}^3\text{К}$.

Подчитываем расход теплоты на отопление и сводим результаты в табл. 1:

Здание	μ	β	q _{0,3} Вт/м³К	V	t _{вн} ^p , °С	t _{о.р.} , °С	Q ₀ ^p , кВт
№1	1,04	0,045	0,3	25 800	18	-26	370,12
№2		0,045	0,35	1 944	16		31,05
№3		0,045	0,3	25 000	18		358,64
№4		0,27	0,53	2 880	16		84,67
Итого ΣQ ₀ ^p							844,50

2. Определяем расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_v^p = q_v \cdot V \cdot (t_{вн}^p - t_{o.p.}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт};$$

В жилых домах расходы теплоты на вентиляцию принимаем равными нулю: $Q_v^p = 0$.

По приложению 3 принимаем:

для здания №2 (столовая) $q_v = 0,7 \text{ Вт/м}^3\text{К}$;

для здания №4 (столярный цех) $q_v = 0,47 \text{ Вт/м}^3\text{К}$.

Подсчитываем расход теплоты на вентиляцию и сводим результаты в табл. 2:

Здание	$q_v, \text{Вт/м}^3\text{К}$	$V, \text{м}^3$	$t_{\text{вн}}^p, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{о.р.}}, ^\circ\text{C}$	$Q_v^p, \text{кВт}$
№1	-	-	-	-	0
№2	0,7	1944	16	-26	57,15
№3	-	-	-	-	0
№4	0,47	2880	16	-26	56,85
Итого ΣQ_v^p					114,00

3. Определяем расход теплоты на горячее водоснабжение (ГВС)

$$Q_{\text{ГВС}}^p = \frac{g_{\text{ср}}^{\text{сут}} \cdot m \cdot c \cdot (t_r^p - t_x^p)}{n_c \cdot 3600} \cdot K_{\text{сут.}} \cdot K_{\text{ч}}, \text{кВт}$$

Для зданий №№1, 3:

Из задания $n_c = 24$ ч., $m_1 = 400$, $m_2 = 200$.

По приложениям 4, 5 принимаем:

$$g_{\text{ср}}^{\text{сут}} = 105 \text{ кг/сут.};$$

$$K_{\text{сут.}} = 1,14;$$

$$K_{\text{ч}} = 2,00.$$

Для здания №2:

$$g_{\text{ср}}^{\text{сут}} = 12,7 \text{ кг/блюдо};$$

$$m = 2,2 \cdot N \cdot p = 2,2 \cdot 80 \cdot 3 = 528 \text{ блюд в час};$$

$$n_c = 1;$$

$$K_{\text{сут.}} = 1;$$

$$K_{\text{ч}} = 1.$$

Для здания №4:

$g_{\text{ср}}^{\text{сут}} = 11 \text{ л/сут.}$ - норма расхода горячей воды на одного работающего в смену, без учета душевых сеток;

$$K_{\text{сут.}} = 1;$$

$$K_q = 9,6;$$

Норма расхода воды на 1 душевую сетку $g = 270$ кг/час; $K_q = K_{\text{сут.}} = 1$; число душевых сеток определяется из расчета 1 сетка на 10 человек.

Норма расхода горячей воды на одного работающего приведены в кг/сут. на 1 работающего в смену, поэтому при расчете расхода теплоты в этом случае $n_c = 24$; при определении расхода теплоты на душевые установки m определяется как число душевых сеток, $n_c = 1$.

$t_r^p = 55^\circ\text{C}$ – расчетная температура горячей воды;

$t_x^p = 5^\circ\text{C}$ – расчетная температура холодной воды в отопительный период;

$c = 4,19$ кДж/кг·К – теплоемкость воды.

Подсчитываем расход теплоты на горячее водоснабжение и сводим результаты в табл. 3:

Здание	$g_{\text{ср}}^{\text{сут}}$	m	n	c	t_r^p	t_x^p	$K_{\text{сут.}}$	K_q	$Q_{\text{ГВС}}^p$, кВт
№ 1	105	400	24	4,19	55	5	1,14	2	232,20
№ 2	12,7	528	1				1	1	390,23
№ 3	105	200	24				1,14	2	116,10
№ 4									219,28
в том числе на краны	11	120	24				1	9,6	30,73
на душевые	270	12	1				1	1	188,55
Итого $\Sigma Q_{\text{ГВС}}^p$									957,80

4. Определяем годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_o^{\text{год}} = Q_o^p \cdot \frac{t_{\text{вн}}^p - t_{\text{ср.}}^o}{t_{\text{вн}}^p - t_{\text{o.p.}}^o} \cdot n_o \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж/год};$$

Здесь

$t_{\text{ср.}}^o = -3,1^\circ\text{C}$ - средняя температура воздуха за отопительный период, определено по приложению 1;

$n_o = 214$ суток - продолжительность отопительного периода в Москве, определено по приложению 1;

24 – число часов в сутках;

365 – число дней в году.

Результаты расчета сводим в таб. 4:

Здание	Q_o^p , кВт	$t_{вн}^p$, °C	$t_{вн}^p$, °C	$t_{ср.}^o$, °C	n_o , сут.	$Q_o^{год}$, ГДж
№ 1	370,12	18	-26	-3,1	214	3281,71
№ 2	31,05	16				261,14
№ 3	358,64	18				2861,96
№ 4	84,67	16				585,84
Итого $\Sigma Q_o^{год}$						6990,65

5. Определяем годовой расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_{в}^{год} = Q_{в}^p \cdot \frac{t_{вн}^p - t_{ср.}^o}{t_{вн}^p - t_{o.p.}} \cdot n_o \cdot Z_{в} \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж/год}$$

Здесь:

$Z_{в} = 0$ для жилых зданий №№ 1,3, $Z_{в} = 12$ час. для здания № 2; $Z_{в} = 16$ час. для здания № 4.

Результаты расчета сводим в таб. 5:

Здание	$Q_{\text{в}}^{\text{п}}, \text{Вт}$	$t_{\text{вн}}^{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{o.p.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ср.}}^{\text{o}}, ^\circ\text{C}$	$n_{\text{o}}, \text{сут.}$	$Z_{\text{в}}, \text{час.}$	$Q_{\text{в}}^{\text{год}}, \text{ГДж}$
№ 1	0		-26	-3,1	214		
№ 2	57,15	16				12	240,28
№ 3	0						
№ 4	56,85	16				16	318,68
Итого $\Sigma Q_{\text{в}}^{\text{год}}$							558,96

6. Определяем годовой расход теплоты на горячее водоснабжение:

$$Q_{ГВС}^{год} = Q_{ГВС}^p \left[n_o + \varphi_{л} \cdot \frac{t_{г}^p - t_{х}^л}{t_{г}^p - t_{х}^з} \cdot (350 - n_o) \right] \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \frac{\text{ГДж}}{\text{год}};$$

где:

$t_{г}^p = 55^{\circ}\text{C}$, $t_{х}^з = +5^{\circ}\text{C}$, $t_{х}^л = +15^{\circ}\text{C}$ – соответственно расчетные температуры горячей и холодной водопроводной воды зимой и летом;

$\varphi_{л} = 0,8$ – коэффициент снижения расхода на ГВС в летний период;

Результаты расчета сводим в таб. 6:

Здание	$Q_{\text{ГВС}}^p$, кВт	n_0 , сут.	$\varphi_{\text{л}}$	$t_{\text{г}}^p$, °C	$t_{\text{х}}^{\text{л}}$, °C	$t_{\text{х}}^{\text{л}}$, °C	$Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}}$, ГДж
№ 1	232,20	214	0,8	55	15	5	6039,7
№ 2	390,30						10150,1
№ 3	116,10						3019,3
№ 4	219,28						5702,6
Итого $\Sigma Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}}$							24911,4

7. Определяем общий годовой расход теплоты:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{о}}^{\text{год}} + Q_{\text{в}}^{\text{год}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}} =$$

$$= 6990,65 + 558,96 + 24911,4 = 32461,01 \text{ ГДж в год.}$$

Контрольные вопросы:

1. Перечислите виды тепловых нагрузок.
2. От чего зависит расход теплоты на отопление?
3. От чего зависит расход теплоты на вентиляцию?
4. От чего зависит расход теплоты на горячее водоснабжение?
5. Как разнятся графики расхода теплоты на отопление, вентиляцию и ГВС?
6. Что такое расчетная температура воздуха для проектирования отопления?
7. В чем измеряется расход теплоты?
8. В чем измеряется годовой расход теплоты?

**Климатологические данные некоторых населенных
пунктов Российской Федерации**

№ п/п	Населенные пункты	Максимальная из средних скорость ветра, w, м/с	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_{op} , °C	Средняя температура наружного воздуха наи- более холодного меся- ца, t_{cp} , °C	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период, t_{cp}^o , °C	Продолжительность отопительного периода, n_o , суток
1	2	3	4	5	6	7
1.	Архангельск	5,9	–31	–12,9	–4,4	253
2.	Астрахань	4,8	–23	–6,7	–1,2	172
3.	Барнаул	5,9	–39	–17,5	–8,3	221
4.	Благовещенск	3,4	–34	–24,1	–10,6	218
5.	Брянск	6,3	–26	–9,1	–2,3	205
6.	Верхоянск	2,1	–59	–48,2	–24,1	279
7.	Владимир	4,5	–28	–11,1	–3,5	217
8.	Владивосток	4,1	–24	–13,1	–3,9	201
9.	Вятка	5,3	–33	–14,9	–5,4	231
10.	Волгоград	5,1	–25	–9,1	–2,2	178
11.	Вологда	6,0	–32	–12,6	–4,1	231
12.	Воронеж	5,1	–26	–9,8	–3,1	196
13.	Екатеринбург	5,0	–35	–15,5	–6,0	230
14.	Иваново	4,9	–30	–11,9	–3,9	219
15.	Иркутск	2,9	–36	–20,6	–8,5	240

1	2	3	4	5	6	7
16.	Казань	5,7	−32	−13,5	−5,2	215
17.	Комсомольск-на-Амуре	5,7	−35	−25,6	−10,8	223
18.	Кострома	5,8	−31	−11,8	−3,9	222
19.	Красноярск	6,7	−40	−18,2	−7,1	234
20.	Краснодар	5,2	−19	−1,6	2,0	149
21.	Курск	5,3	−26	−9,3	−2,4	198
22.	Москва	4,9	−26	−10,2	−3,1	214
23.	Мурманск	7,5	−27	−10,5	−3,2	275
24.	Новгород	6,6	−27	−8,7	−2,3	221
25.	Нижний Новгород	5,1	−31	−11,8	−4,1	215
26.	Новосибирск	5,7	−39	−18,8	−8,7	230
27.	Омск	5,1	−37	−19,0	−8,4	221
28.	Оренбург	5,5	−31	−14,8	−6,3	202
29.	Пенза	5,6	−29	−12,2	−1,6	212
30.	Пермь	5,2	−35	−15,3	−5,9	229
31.	Петропавловск-Камчатский	9	−20	−7,5	−4,6	259
32.	Псков	4,8	−26	−7,5	−1,6	212
33.	Рязань	7,3	−27	−11,0	−4,3	196
34.	Санкт-Петербург	4,2	−26	−7,8	−1,8	220
35.	Самара	5,4	−30	−13,5	−5,2	203
36.	Саратов	5,6	−27	−11,0	−4,3	196
37.	Смоленск	6,8	−27	−9,4	−2,8	217
38.	Тверь	6,2	−29	−10,5	−3,0	207
39.	Томск	4,9	−40	−19,1	−8,4	236
40.	Тула	4,9	−27	−19,9	−3,0	207
41.	Хабаровск	5,9	−31	−22,3	−9,3	211
42.	Шарья	4,5	−32	−13,0	−4,7	228
43.	Ярославль	5,5	−31	−11,9	−4,0	221

**Расчетные температуры воздуха
внутри помещений, $t_{вн}^p$, °С**
(по данным СНиП для проектирования зданий
различного назначения)

Наименование групп зданий по их назначению	Расчетная температура, $t_{вн}^p$, °С
I. Жилые здания	18—20
Жилые здания квартирного типа и обще- жития	
II. Общественные здания	20
Больницы и диспансеры	
Родильные дома	22
Амбулатории и поликлиники	20
Общеобразовательные школы и школы-ин- тернаты	17, 18 или 21
Детские дошкольные учреждения	20, 21 или 22
ПТУ, ССУЗы, ВУЗы	18
Кинотеатры	14
Дома быта, ателье, мастерские и т. п.	18
Бани	25
Магазины продовольственные	12
Магазины промтоварные	15
Предприятия общественного питания	16
III. Промышленные здания	18
Производственные помещения при легких работах (швейное, полиграфическое, при- боростроение и т. п.)	
То же при работе средней тяжести (пря- дильно-ткацкие фабрики, механосбороч- ные цехи)	16
То же при работе в «горячих» цехах	14

**Удельные отопительные и вентиляционные
характеристики зданий**

Назначение здания	Строительный объем зда- ний, м ³	Удельная характеристика, Вт/м ³ К	
		Отопи- тельная, q_o	Вентиля- ционная, q_v
1	2	3	4
А. Промышленные здания			
Термические цехи	До 10 000	0,47—0,35	1,52—1,40
	10 000—30 000	0,35—0,29	1,40—1,17
	30 000—75 000	0,29—0,24	1,17—0,70
Кузнечные цехи	До 10 000	0,47—0,35	0,80—0,70
	10 000—50 000	0,35—0,29	0,70—0,58
	50 000—100 000	0,29—0,18	0,58—0,35
Механосборочные и ме- ханические цехи, сле- сарные мастерские	5 000—10 000	0,65—0,53	0,47—0,29
	10 000—50 000	0,53—0,47	0,29—0,17
	50 000—100 000	0,47—0,44	0,17—0,14
	100 000—200 000	0,44—0,42	0,14—0,10
Ремонтные цехи	5 000—10 000	0,69—0,58	0,23—0,18
	10 000—20 000	0,58—0,53	
	5 000—10 000	0,75—0,69	0,35—0,29
Бытовые и администра- тивные вспомога- тельные помещения	500—1 000	0,70—0,53	
	1 000—2 000	0,53—0,47	
	2 000—5 000	0,47—0,39	0,17—0,14
	5 000—10 000	0,39—0,35	0,14—0,13
	10 000—20 000	0,35—0,29	0,13—0,11
Б. Жилые и общественные здания			
Жилые здания	До 3 000	0,42	
	5 000	0,38	
	10 000	0,35	
	15 000	0,33	
	20 000	0,31	

1	2	3	4
	25 000	0,30	
	30 000	0,28	
	Свыше 30	0,28	
Гостиницы и общежития	До 3 000	0,42	
	5 000	0,38	
	10 000	0,34	
	15 000	0,32	
	20 000	0,31	
	25 000	0,30	
	Свыше 25 000	0,28	
Административные здания и учреждения	До 5 000	0,43	0,09
	10 000	0,38	0,08
	15 000	0,35	0,07
	Свыше 15 000	0,32	0,16
Клубы	До 5 000	0,38	0,25
	10 000	0,34	0,23
	Свыше 10 000	0,32	0,20
Кинотеатры	До 5 000	0,36	0,43
	10 000	0,32	0,39
	Свыше 10 000	0,30	0,38
Театры	До 10 000	0,29	0,41
	15 000	0,27	0,40
	20 000	0,22	0,38
	30 000	0,2	0,36
	Свыше 30 000	0,18	0,34
Универмаги	До 5 000	0,38	
	10 000	0,33	0,08
	Свыше 10 000	0,31	0,07
Детские сады и ясли	До 5 000	0,38	0,11
	Свыше 5 000	0,34	0,1
Школы	До 5 000	0,39	0,09
	10 000	0,35	0,08
	Свыше 10 000	0,33	0,07

1	2	3	4
Высшие учебные заведения и техникумы	До 10 000	0,35	
	15 000	0,33	0,10
	20 000	0,30	0,08
	Свыше 20 000	0,29	0,08
Лаборатории, диспансеры и поликлиники	До 5 000	0,40	
	10 000	0,36	0,25
	15 000	0,32	0,23
	Свыше 15 000	0,30	0,22
Больницы	До 5 000	0,40	0,29
	10 000	0,36	0,28
	15 000	0,32	0,26
Бани	До 5 000	0,28	1,00
	10 000	0,25	0,95
Рестораны, столовые, фабрики кухни	До 5 000	0,35	0,70
	10 000	0,33	0,65

**Нормы расхода горячей воды за средние сутки
отопительного периода при $t_r^p = 55^\circ\text{C}$**

Группа зданий и характеристика водоразборных приборов	Единица пропускной способности или вместимости здания	Среднесуточная норма расхода горячей воды на единицу пропускной способности, $g_{сут}^{cp}$, кг/с	Значения коэффициента неравномерности	
			$K_{сут}$	$K_{ч}$
1	2	3	4	5
I. Жилые здания				
Жилые дома квартирного типа: с душами и ваннами длиной 1,5—1,7 м	1 житель	107	1,14	2,0

**Нормы расхода горячей воды на 1 процедуру
или 1 водоразборный прибор при $t_r^p = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Группа зданий и характеристика процедур	Единица измерения	Нормы расхода горячей воды	
		на одну про- цедуру, g_z , кг	на одну ду- шевую сетку, $g_z^{\text{макс}}$, кг/ч
Предприятия общест- венного питания для приготовления пищи, реализуемой в зале	1 блюдо	12,7	—
Бани	1 посетитель	120	
То же с приемом оз- доровительных процедур		190	
То же в душевой ка- бине		240	
То ж в ванной кабине		360	
Душевые в бытовых помещениях про- мышленных пред- приятий	1 душевая сетка в смену	—	270

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Эффективность систем теплоснабжения во многом определяется схемой присоединения абонентов к тепловой сети. Схемы присоединения бывают зависимые и независимые.

В зависимых схемах теплоноситель (вода или пар) непосредственно поступает в отопительные приборы абонента и давление в местной системе отопления определяется режимом давления в тепловой сети. В независимых схемах теплоноситель из тепловой сети поступает в подогреватель, где его тепло используется для нагревания вторичного теплоносителя (водопроводной воды), циркулирующего в отопительных приборах местной отопительной сети. В этом случае тепловая сеть и местная система гидравлически разъединены.

Обе схемы присоединения имеют свои достоинства и недостатки. Главным недостатком независимой схемы является жесткая связь тепловой сети с приборами отопления и, как следствие - недостаточная надежность. Если давление в сети превышает допустимое давление в приборах отопления, применение зависимой схемы недопустимо. Вместе с тем зависимая схема обеспечивает меньшую стоимость системы и больший перепад температур в местной системе отопления. Недостатком зависимой схемы является ее повышенная стоимость, а также повышенные потери напора в водоподогревателе.

При температуре воды в подающем трубопроводе тепловой сети больше 95°C , применяют зависимое присоединение со смесительным устройством. В качестве смесителя используют элеваторы или насосы, подмешивающие к сетевой воде охлажденную воду из обратной магистрали местной системы отопления.

В случае, когда напор в обратной магистрали оказывается ниже необходимого, в обратный трубопровод устанавливают регулятор давления.

При независимых схемах присоединения система отопления присоединяется к тепловой сети через поверхностный подогреватель. При

этом местная система отопления работает под давлением собственного расширительного бака. Циркуляция воды в системе отопления может осуществляться центробежным насосом или за счет гравитационного напора.

Применение независимых схем присоединения ограничивается повышенной стоимостью сооружения по сравнению с зависимыми схемами присоединения. Независимые схемы присоединения находят применение при теплоснабжении зданий с количеством этажей более 12. Кроме того, независимая схема присоединения отопительной нагрузки применяется для подключения абонентов к тепловой сети с высоким давлением теплоносителя (выше предела прочности отопительных приборов).

Выбор схем присоединения горячего водоснабжения (ГВС) прежде всего определяется принятой системой теплоснабжения. При закрытой системе теплоснабжения установки горячего водоснабжения присоединяются через поверхностные подогреватели, при открытой — через смесители.

Большое значение для надежного обеспечения потребителей горячей водой необходимой температуры имеет циркуляция воды. Отсутствие надежной циркуляции через все стояки системы ведет к остыванию воды в них и, следовательно, к бесполезным потерям охлажденной воды. Циркуляция в системах при индивидуальном присоединении зданий к распределительным сетям может осуществляться насосом.

Нормальная работа установок горячего водоснабжения невозможна без их автоматизации, так как во времени изменяются расход горячей воды и температура подаваемой сетевой воды. Авторегулирование можно выполнить с помощью двух авторегуляторов: один, установленный на линии подачи водопроводной воды, поддерживает заданный ее расход, второй, установленный на линии подачи сетевой воды — поддерживает заданную температуру в системе горячего водоснабжения.

В открытых системах теплоснабжения получение необходимой температуры горячей воды достигается установкой подогревателя смешивающего типа (смесителя). Требуемая температура горячей воды достигается смешением воды из подающей и обратной линий тепловой сети. Требуемый расход горячей воды достигается установкой регулятора расхода.

Паровые централизованные системы теплоснабжения применяются, как правило, в промышленных районах. В городах их целесообразно применять при неблагоприятном рельефе местности (большая разность

геодезических отметок, наличие оврагов и т. п.), а также в районах с небольшой продолжительностью отопительного периода.

Паровые системы могут быть с возвратом и без возврата конденсата.

Современные жилые здания, здания промышленных предприятий оборудованы как системами отопления, так и системами горячего водоснабжения и вентиляции. Присоединение разнородных тепловых нагрузок к тепловой сети осуществляется через тепловые пункты.

Схемы тепловых пунктов различаются по способу присоединения к тепловой сети подогревателей горячего водоснабжения. Они могут быть одно- и двухступенчатыми. Схема присоединения водоподогревателей может быть параллельной, последовательной и комбинированной.

Совместное присоединение нагрузок на отопление и горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения осуществляется по принципам несвязанного или связанного регулирования.

При несвязанном регулировании установки горячего водоснабжения и отопления работают независимо друг от друга. При связанном регулировании регулятор расхода устанавливается на общей подающей линии и поддерживает общий постоянный расход сетевой воды на обе установки.

ЗАДАНИЕ

Согласно полученному варианту вычертить в тетрадь три теплотехнические схемы. Схемы подписать, используя список наименований, приведенных в конце занятия. Все элементы, имеющиеся на схемах поименовать, сделав на чертежах выноски 1, 2, 3 и т.д. Дать наименование всем элементам схем, а также описание работы всей схемы.

Пример выполнения задания

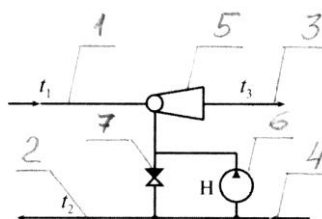


Схема смесительного устройства с элеватором и центробежным насосом.

На схеме обозначены: 1 - подающий трубопровод тепловой сети. 2 - обратный трубопровод тепловой сети. 3 - подающий трубопровод системы отопления. 4 - обратный трубопровод системы отопления. 5 - элеватор. 6 - центробежный насос. 7 - обратный клапан.

Смесительное устройство предназначено для смешивания сетевой воды, поступающей по подающему трубопроводу тепловой сети, с охлажденной водой из обратного трубопровода системы отопления с целью снижения температуры воды в приборах отопления.

Вода, поступающая по подающему трубопроводу 1 тепловой сети, поступает в элеватор 5. Разряжение, создающееся в сопле элеватора, подсасывает воду из обратного трубопровода 4 по перемычке. Охлажденная вода из элеватора поступает в подающий трубопровод системы отопления 3. Для более интенсивного охлаждения воды в приборах отопления в теплую погоду к элеватору последовательно подключают центробежный насос 6. Для предотвращения циркуляции потока в обратном трубопроводе при включенном центробежном насосе предусмотрен обратный клапан 7.

Варианты заданий:

Вариант	Номер схемы	Вариант	Номер схемы
1	2, 6, 15	11	3, 11, 18
2	1, 5, 16	12	4, 6, 17
3	3, 7, 14	13	6, 12, 15
4	4, 11, 17	14	5, 11, 14
5	5, 8, 16	15	1, 8, 15
6	6, 12, 18	16	2, 9, 16
7	3, 6, 14	17	3, 12, 17
8	4, 13, 16,	18	4, 13, 14
9	1, 7, 17	19	5, 13, 18
10	2, 8, 14	20	6, 11, 17

Схема 1:

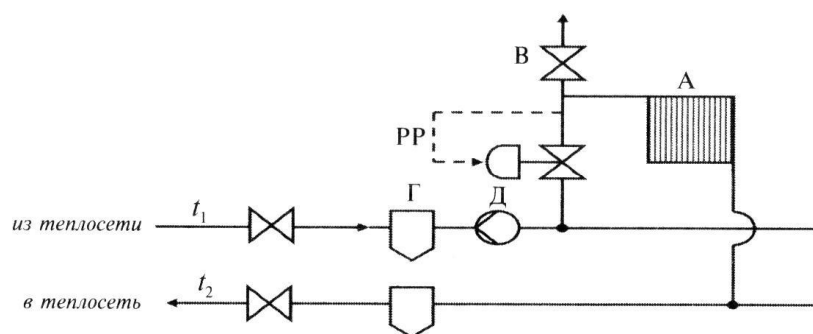


Схема 2:

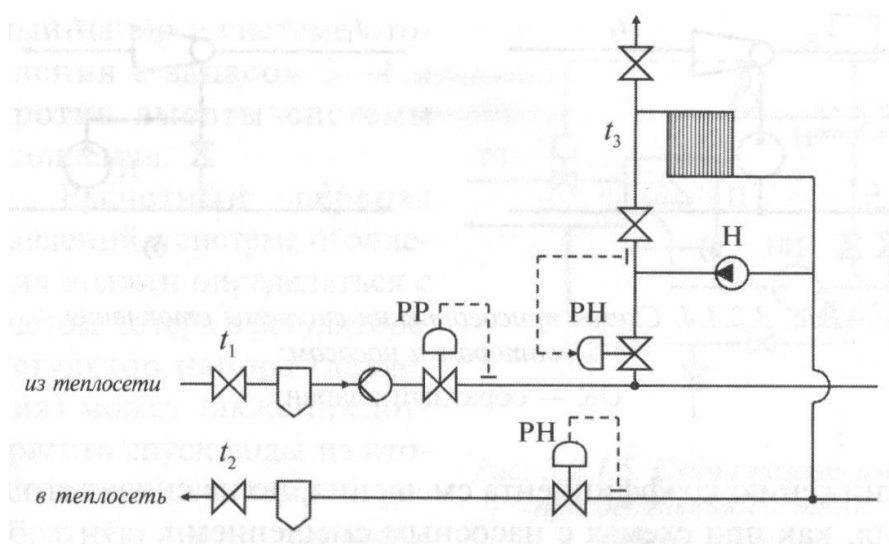


Схема 3:

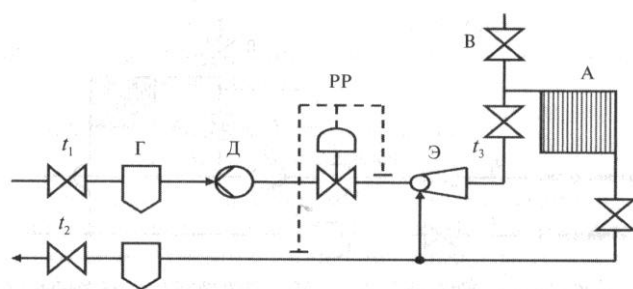


Схема 4:

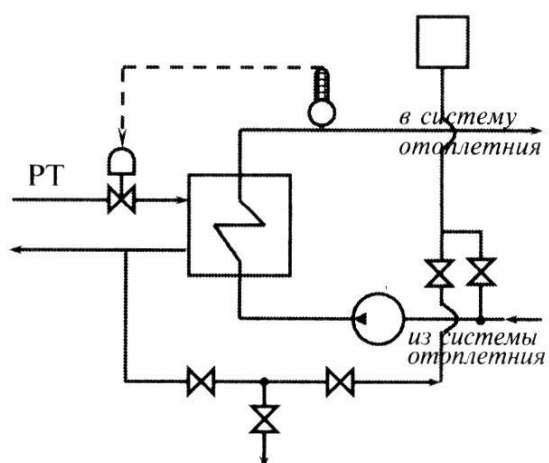


Схема 5:

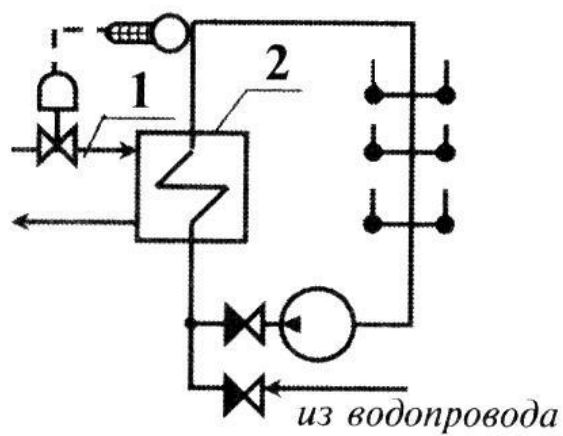


Схема 6:

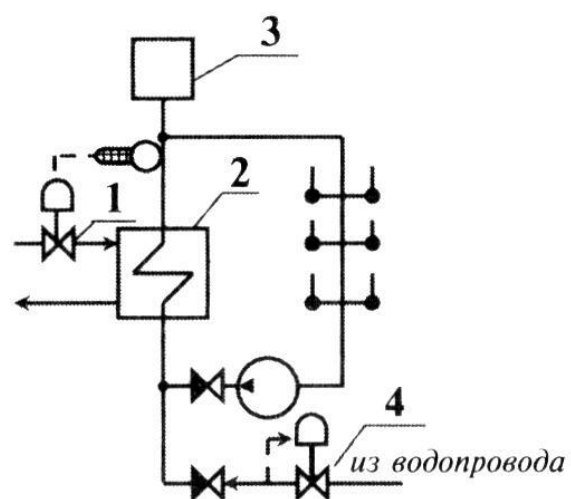


Схема 7

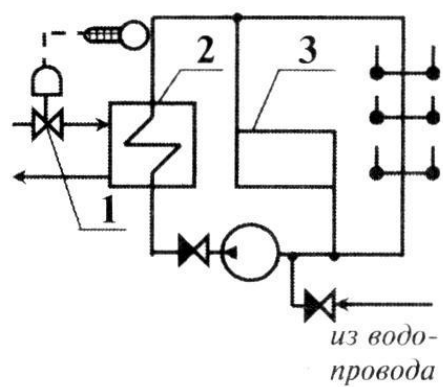


Схема 8

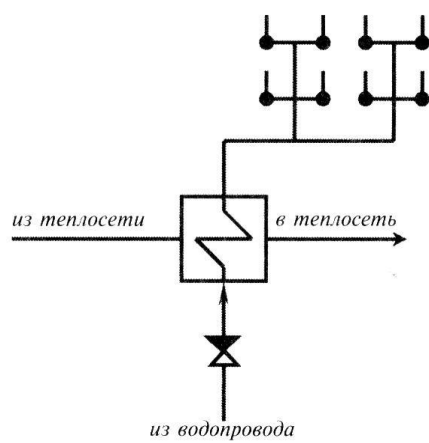


Схема 9

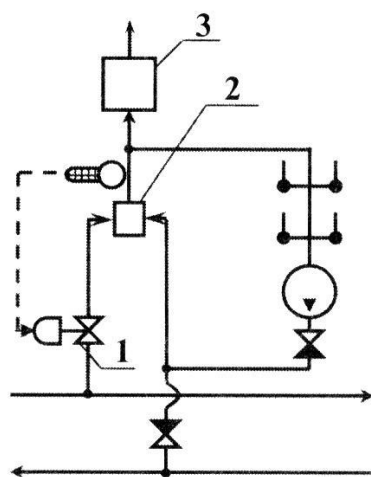


Схема 10

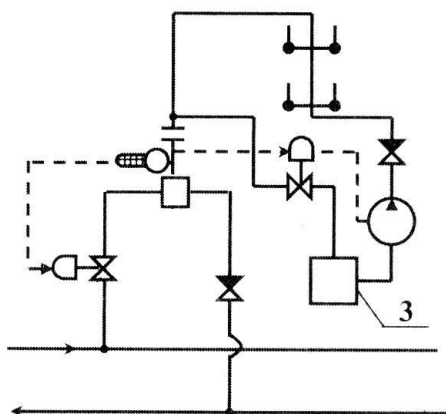


Схема 11

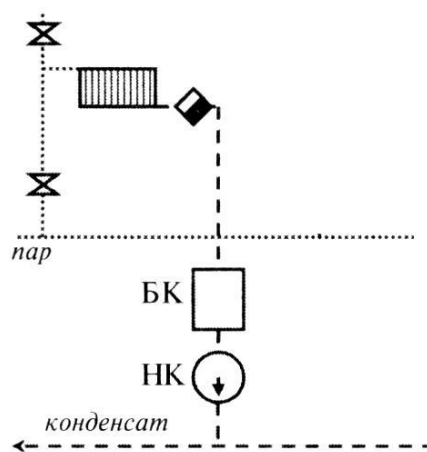


Схема 12

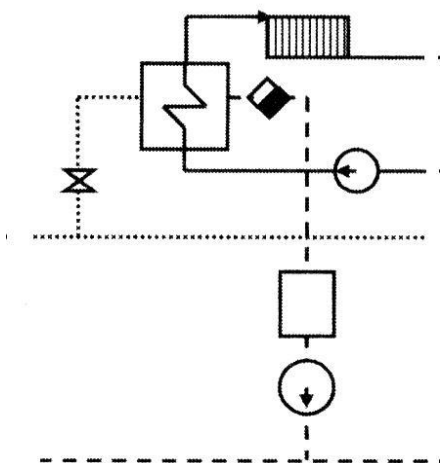


Схема 13

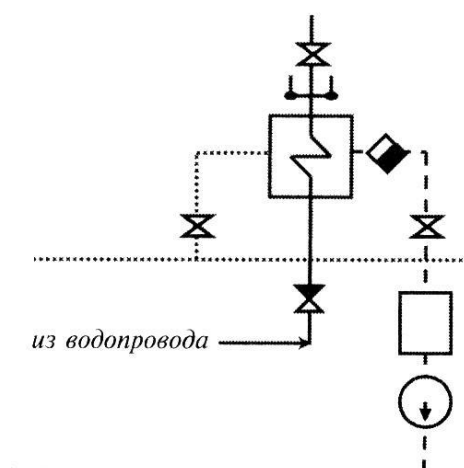


Схема 14

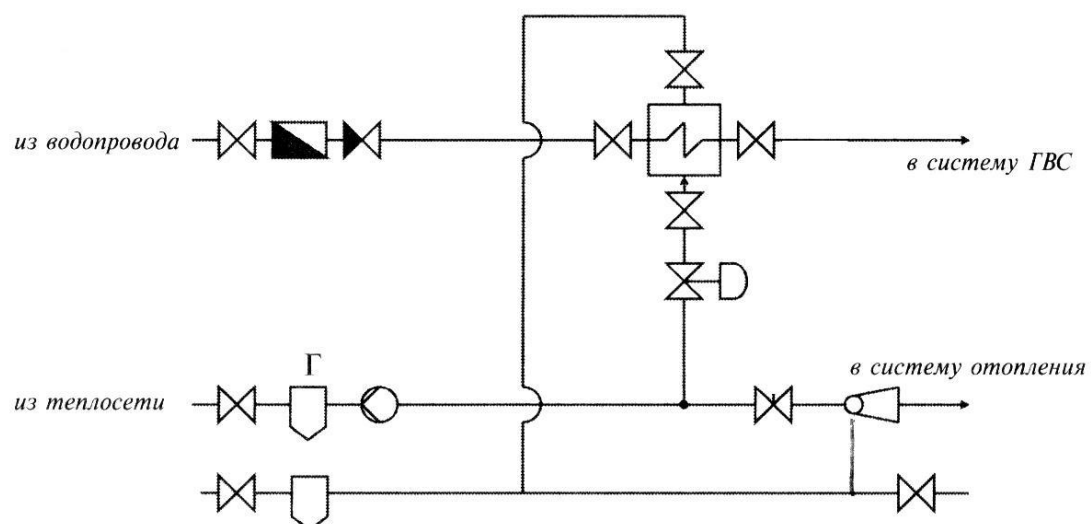


Схема 15

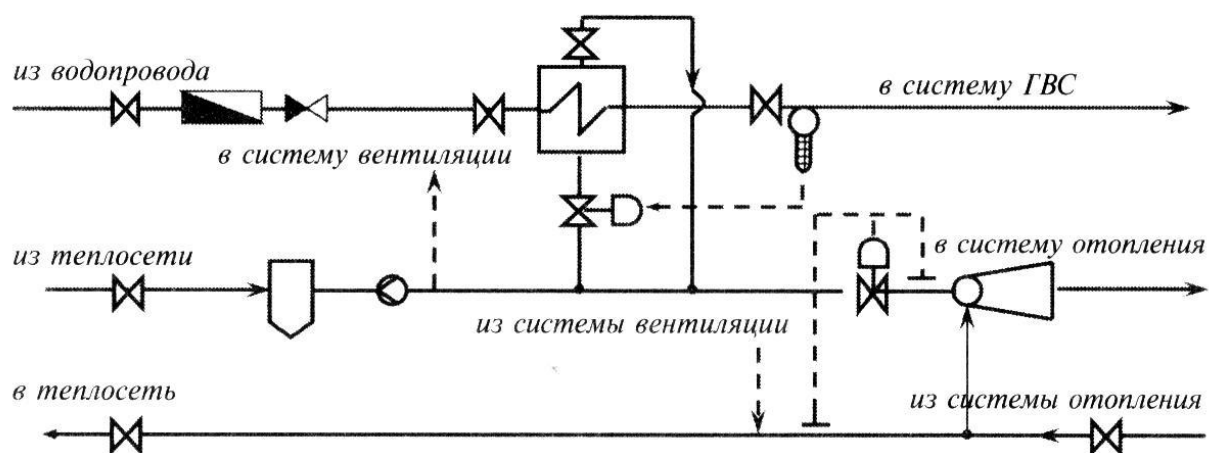


Схема 16

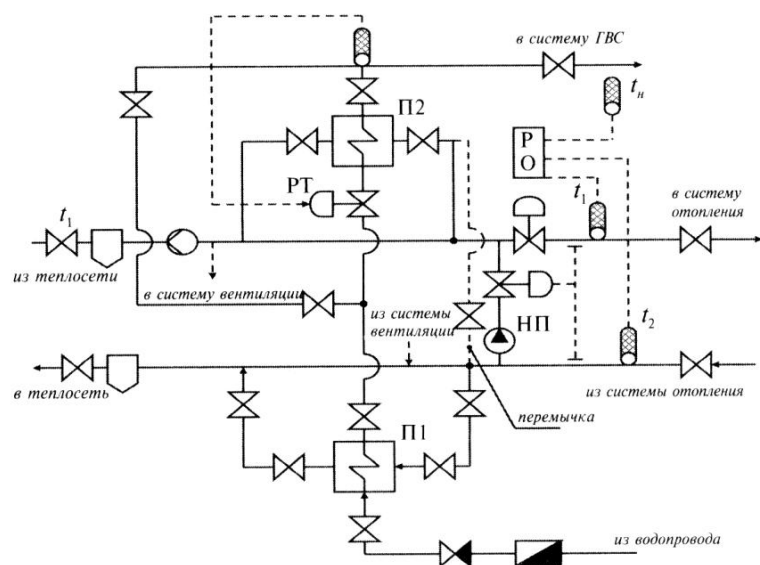


Схема 17

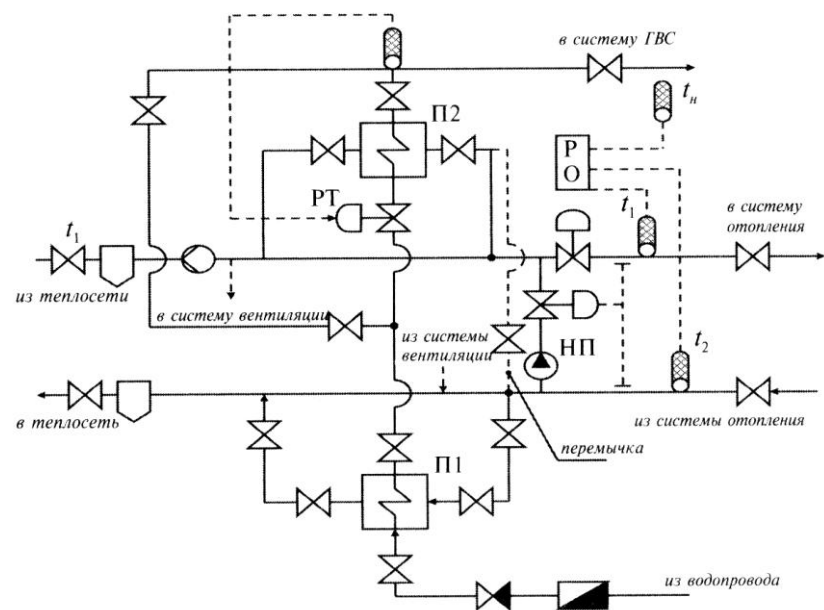
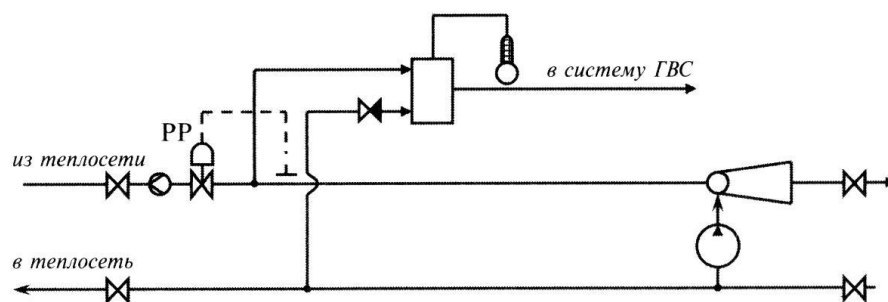


Схема 18



Наименования схем:

- a) Схема присоединения системы ГВС в закрытой системе теплоснабжения с без аккумулятора и рециркуляцией.
- b) Схема присоединения системы ГВС в открытой системе теплоснабжения с нижним аккумулятором и рециркуляцией.
- c) Независимая схема присоединения системы отопления к тепловым сетям с регулированием по температуре.
- d) Зависимая схема присоединения системы отопления к тепловым сетям с элеваторным смешением.
- e) Схема теплового пункта с двухступенчатым последовательным подключением системы ГВС в закрытой тепловой сети.
- f) Схема присоединения системы отопления к паровой тепловой сети.
- g) Схема тупикового присоединения системы ГВС в закрытой системе теплоснабжения без рециркуляции.
- h) Схема присоединения системы ГВС в закрытой системе теплоснабжения с верхним аккумулятором и рециркуляцией.
- i) Схема теплового пункта с подключением системы ГВС в открытой тепловой сети.
- j) Схема присоединения системы ГВС в открытой системе теплоснабжения с верхним аккумулятором и рециркуляцией.
- k) Схема присоединения системы ГВС в закрытой системе теплоснабжения с нижним аккумулятором и рециркуляцией.
- l) Схема теплового пункта с одноступенчатым параллельным подключением системы ГВС в закрытой тепловой сети.
- m) Зависимая схема присоединения системы отопления к тепловым сетям с насосным смешением.
- n) Схема теплового пункта с одноступенчатым последовательным подключением системы ГВС в закрытой тепловой сети.
- o) Зависимая схема присоединения системы отопления к паровой тепловой сети.
- p) Схема присоединения системы ГВС к паровой тепловой сети.
- q) Зависимая схема присоединения системы отопления к тепловым сетям без смешения.
- r) Схема теплового пункта с двухступенчатым комбинированным подключением системы ГВС в закрытой тепловой сети.

Контрольные вопросы.

1. Чем отличается зависимая схема присоединения потребителей тепла от независимой?
2. Чем отличается насосное смешение от элеваторного?
3. Для чего осуществляют смешение теплоносителя?
4. Чем отличается открытая схема присоединения ГВС от закрытой?
5. Для чего применяют циркуляцию воды в системе ГВС?
6. Чем отличается аккумулятор воды от нижнего?
7. Для чего применяются гидроаккумуляторы?
8. Для чего применяются водоводяные подогреватели?
9. Чем отличается параллельное подключение водонагревателей от последовательного?
10. Сколько трубопроводов должна содержать паровая тепловая сеть?
11. В каких сетях и зачем применяют конденсатоотводчики?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В любой системе централизованного теплоснабжения применяется регулирование отпуска теплоты в зависимости от изменяющейся потребности в теплоте (внешних условий).

Регулирование производится по двухступенчатой схеме. Первой ступенью является регулирование отпуска теплоты от источника теплоснабжения в тепловые сети. Такое регулирование называется центральным, им определяется график изменения температуры теплоносителя в тепловых сетях. Наряду с центральным применяется регулирование отпуска теплоты из тепловых сетей в различные системы теплоснабжения зданий. Такое регулирование является второй ступенью и называется местным регулированием.

Кроме центрального и местного регулирования может применяться и индивидуальное регулирование, которое является третьей ступенью. Оно осуществляется непосредственно на теплопотребляющих приборах.

Основными потребителями теплоты являются системы отопления. В них потребность в теплоте определяется погодными условиями, т.е. температурой наружного воздуха t_n .

Основным методом регулирования отпуска теплоты в водяных системах отопления является качественное регулирование путем изменения в зависимости от температуры наружного воздуха температуры воды в подающем трубопроводе при постоянном расходе воды. **Качественное** регулирование обеспечивает постоянство гидравлического режима (расхода и давления) в системе отопления при переменных тепловых нагрузках. **Количественное** регулирование отпуска теплоты за счет изменения расхода теплоносителя в водяных системах теплоснабжения не применяется, или же применяется очень ограничено.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ПРИ ОДНОРОДНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ

Температура греющего теплоносителя при качественном регулировании отпуска теплоты в водяных системах отопления зависит от температуры наружного воздуха t_n . Зависимость необходимых температур в

тепловой сети от температуры наружного воздуха выражают **температурные графики регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке**. Графики строятся из предположения постоянного расхода воды в течение всего отопительного сезона. Регулирование отпуска теплоты осуществляется путем изменения температуры воды в подающей (прямой) магистрали. Конечной задачей регулирования является поддержание постоянной заданной температуры в помещениях за счет теплоотдачи нагревательных приборов. Теплоотдача нагревательных приборов должна соответствовать тепловым потерям через ограждающие конструкции зданий.

Построение графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке основано на определении зависимости температуры сетевой воды в подающей и обратной магистралях от температуры окружающего воздуха $t_1 = f(t_n)$, $t_2 = f(t_n)$ и $t_3 = f(t_n)$. Здесь t_1, t_2 и t_3 - температура теплоносителя в прямом трубопроводе, обратном трубопроводе, и в местной отопительной сети после смешения, и t_n - температура наружного воздуха.

Для зависимых схем присоединения отопительных установок к тепловым сетям (т.е. схем, при которых в отопительные приборы подается сетевая вода) температуру в трубопроводах тепловой сети в течение отопительного периода, т.е. в интервале температур от $+8^{\circ}\text{C}$ до $t_{n.p.o.}$ рассчитывают по формулам:

$$t_3 = t_{BH}^p + 0,5(t_3' - t_2') \frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} + 0,5(t_3' + t_2' - 2t_{BH}^p) \left(\frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} \right)^{0,758}, ^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = t_3 - (t_3' - t_2') \frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}}, ^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = (1 + u)t_3 - u \cdot t_2, ^{\circ}\text{C}$$

Здесь в формулах:

t_1, t_2, t_3 — температура воды, соответственно, в напорном трубопроводе, обратном трубопроводе и после смесительного устройства при текущей температуре наружного воздуха t_n ;

t_1^p, t_2^p, t_3^p — температура воды, соответственно, в напорном трубопроводе, обратном трубопроводе и после смесительного устройства при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$ принимаются равными соответственно 150°C , 70°C , 95°C ;

$t_{\text{вн}}^{\text{p}}$ – расчетная температура внутри отапливаемого помещения;

$t_{\text{н}}$ – текущая температура наружного воздуха;

$t_{\text{o.p.}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления;

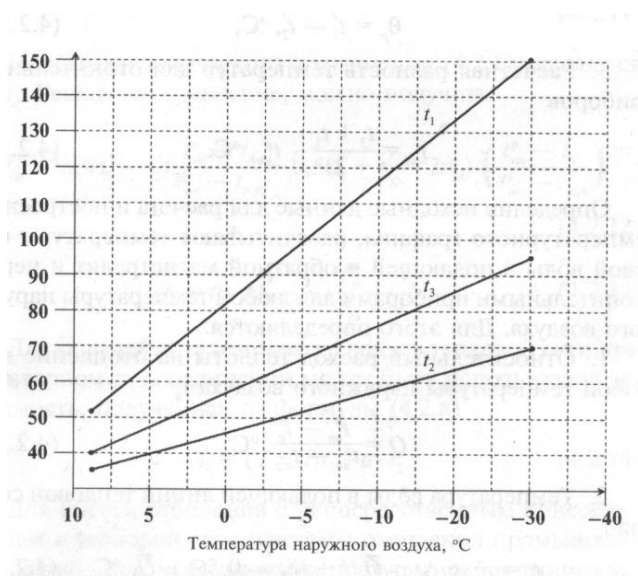
u – коэффициент смешения смесительного устройства (элеватора), при расчетах обычно принимается:

$$u = \frac{t_1^{\text{p}} - t_3^{\text{p}}}{t_3^{\text{p}} - t_2^{\text{p}}} = \frac{150 - 95}{95 - 70} = 2,2.$$

Графики центрального качественного регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке стоят по четырем точкам:

- $+8^{\circ}\text{C}$ (температура начала отопительного сезона),
- 0°C ,
- t_{o}^{cp} (средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца)
- $t_{\text{o.p.}}$ (расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления).

Температура сетевой воды, $^{\circ}\text{C}$	Температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$, $^{\circ}\text{C}$.			
	$+8^{\circ}\text{C}$	0°C	t_{o}^{cp}	$t_{\text{o.p.}}$
t_1				
t_2				
t_3				



По результатам расчетов строится график температур теплоносителя при качественном регулировании отпуска тепла для однородной нагрузки:

Рис. 1

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ПРИ СМЕШЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ

Возможности качественного регулирования отпуска теплоты значительно ограничиваются при необходимости присоединения к единым сетям, помимо системы отопления, системы горячего водоснабжения, поскольку для неё характерно очень слабое влияние метеорологических факторов на тепловую нагрузку.

В этом случае сохранение в совмещенной системе отопления и ГВС качественного регулирования в течение всего отопительного периода не представляется возможным, так как температура в подающем трубопроводе не может опускаться ниже температуры, необходимой для горячего водоснабжения $60 - 75^{\circ}\text{C}$. В начале и конце отопительного сезона (при температуре окружающего воздуха $8-10^{\circ}\text{C}$) необходимо поддержание в подающем трубопроводе температуры $60-70^{\circ}\text{C}$, т.е. выше, чем предусмотрено температурным графиком качественного регулирования отпуска теплоты.

Способ регулирования отпуска теплоты в этом случае зависит от отношения средней тепловой нагрузки на горячее водоснабжение $Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}}$ к расчетной тепловой нагрузке на отопление $Q_0^{\text{р}}$.

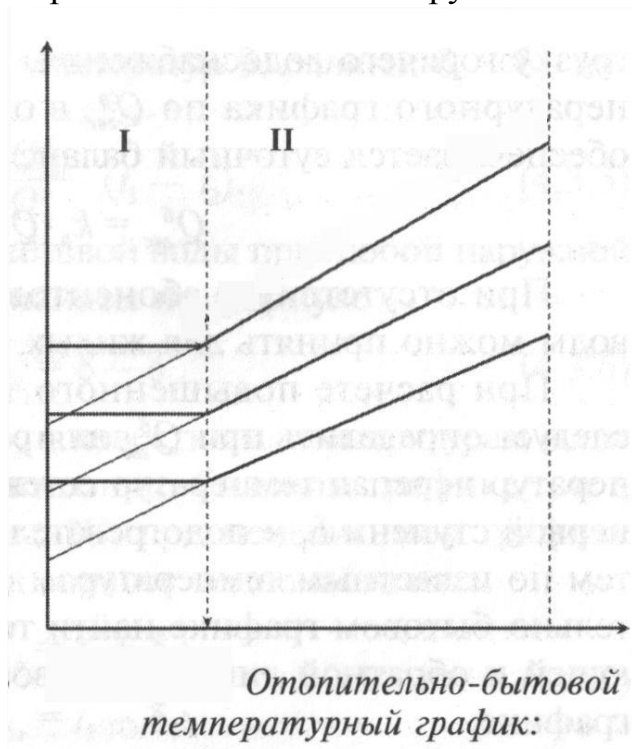


Рис. 2

При соотношении $\frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}}}{Q_0^{\text{р}}} \leq 0,15$ применяется центральное качественное **регулирование отпуска теплоты по совмещенной нагрузке**. График зависимости температуры воды в тепловой сети от температуры наружного воздуха, называется **отопительно-бытовым**. На графике $t_1 = f(t_n)$ температура наружного воздуха $t_n = t_{\text{н.и.}}$, при которой температура воды в подающей магистрали составляет 70°C , называется **температурой точки излома** отопительного

графика (см. рисунок). От этой температуры графики $t_1 = f(t_n)$, $t_2 = f(t_n)$ и $t_3 = f(t_n)$ продолжают до оси ординат в виде линий, параллельных оси абсцисс. Температура во всех магистралях при этом будет сохраняться постоянной вне зависимости от температуры наружного воздуха, ради обеспечения подачи в магистрали ГВС воды с температурой не менее 70°C .

При регулировании параметров теплоносителя по температурно-бытовому графику и сохранении обычной схемы присоединения систем отопления к тепловым сетям посредством смесительных устройств будет происходить **существенный перерасход теплоты за счет «перетопа» помещений**, в зоне температур воздуха, выше чем температура излома $t_n = t_{н.и.}$, однако для систем теплоснабжения с соотношением $\frac{Q_{гвс}^{cp}}{Q_o^p} \leq 0,15$ этот недостаток приемлем.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ПО ПОВЫШЕННОМУ ТЕМПЕРАТУРНОМУ ГРАФИКУ

Для систем теплоснабжения с $\frac{Q_{гвс}^{cp}}{Q_o^p} > 0,15$ в тепловой сети применяется двухступенчатая система подогрева горячей воды с параллельным или комбинированным присоединением водонагревателей к тепловой сети. Нижняя ступень подогревателя присоединена при этом к обратному трубопроводу тепловой сети, верхняя ступень - к прямой магистрали тепловой сети. **Регулирование отпуска теплоты в тепловую сеть производится по повышенному температурному графику.**

Расчет повышенного температурного графика заключается в определении перепада температур в нижней и верхней ступенях подогревателя горячего водоснабжения при различных температурах наружного воздуха и балансовой тепловой нагрузке горячего водоснабжения $Q_{гвс}^b = \chi Q_{гвс}^{cp}$, где χ - балансовый коэффициент, учитывающий неравномерность расхода теплоты на горячее водоснабжение в течение суток.

Повышенный график строится на основе отопительно-бытового графика. Для построения повышенного температурного графика необходимо определить перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней ступени σ_n и нижней ступени σ_b при балансовой нагрузке горячего водоснабжения

$$Q_{ГВС}^6 = 1,2 Q_{ГВС}^{cp}.$$

В дальнейшем для температуры точки излома температурного графика $t_{н.и.}$, средней температуры наружного воздуха наиболее холодного месяца t_o^{cp} и расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$ рассчитывают перепады температур сетевой и горячей воды в нижней ступени подогревателя $\delta_{ниж}$, суммарный перепад температур в подогревателе δ и перепады температур в верхней ступени подогревателя $\delta_{верх}$. Для удобства расчетов температуры и перепады температур в точке $t_{н.и.}$ будут обозначаться штрихом', в точке t_o^{cp} - двумя штрихами'', в точке $t_{o.p.}$ - тремя штрихами'''.

По отопительно-бытовому графику устанавливается температура наружного воздуха в точке перелома $t_{н.и.}$, температура сетевой воды в прямой линии тепловой сети t_1' , температура в обратной линии тепловой сети t_2' .

Для расчета принимают недогрев воды в подогревателе нижней ступени при температуре воздуха $t_{н.и.}$:

$$\Delta t_{Г.В.ниж}' = 10^\circ\text{C}.$$

Температура горячей воды после нижней ступени подогревателя при температуре воздуха $t_{н.и.}$:

$$t_{Г.В.ниж}' = t_2' - \Delta t_{Г.В.н.}', = t_2' - 10, ^\circ\text{C};$$

1. Определяются перепады температуры в нижней ступени подогревателя:

- при температуре точки излома графика $t_{н.и.}$:

$$\delta_{ниж}' = \chi \cdot \frac{Q_{ГВС}^{cp}}{Q_o^p} \cdot \frac{t_{Г.В.ниж}' - t_{х.в.}}{t_{Г.В.} - t_{х.В.}} \cdot (t_1^p - t_2^p), ^\circ\text{C};$$

обычно в расчетах принимается: $\chi = 1,2$; $\frac{Q_{ГВС}^{cp}}{Q_o^p} = 0,25$; $t_{х.в.} = 5^\circ\text{C}$; $t_{Г.В.} = 55^\circ\text{C}$, тогда:

$$\delta_{н}' = 1,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{t_{Г.В.ниж}' - 5}{55 - 5} \cdot (t_1' - t_2'), ^\circ\text{C};$$

- при средней температуре наружного воздуха наиболее холодного месяца t_o^{cp} :

$$\delta_{н}'' = \delta_{н}' \frac{t_2'' - t_{х.В.}}{t_2' - t_{х.В.}}, ^\circ\text{C};$$

- при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$:

$$\delta_H''' = \delta_H' \frac{t_2''' - t_{x.B}}{t_2' - t_{x.B}}, ^\circ\text{C}.$$

2. Определяются температуры сетевой воды в обратной магистрали при регулировании по повышенному графику:

- при температуре точки излома графика $t_{н.и.}$:

$$t_{2\text{ пов}}' = t_2' - \delta_{\text{ниж}}', ^\circ\text{C};$$

- при средней температуре наружного воздуха наиболее холодного месяца t_o^{cp} :

$$t_{2\text{ пов}}'' = t_2'' - \delta_{\text{ниж}}'', ^\circ\text{C};$$

- при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$:

$$t_{2\text{ пов}}''' = t_2''' - \delta_{\text{ниж}}''', ^\circ\text{C}.$$

3. Суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней степени равен:

$$\delta = \delta_{\text{ниж}} + \delta_{\text{верх}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{cp}}}{Q_o^p} \cdot (t_1^p - t_2^p) = 1,2 \cdot 0,25(t_1^p - t_2^p), ^\circ\text{C};$$

4. Определяются перепады температур сетевой воды в верхней ступени подогревателя:

- при температуре точки излома графика $t_{н.и.}$:

$$\delta_{\text{верх}}' = \delta - \delta_{\text{ниж}}', ^\circ\text{C};$$

- при средней температуре наружного воздуха наиболее холодного месяца t_o^{cp} :

$$\delta_{\text{верх}}'' = \delta - \delta_{\text{ниж}}'', ^\circ\text{C};$$

- при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$:

$$\delta_{\text{верх}}''' = \delta - \delta_{\text{ниж}}''', ^\circ\text{C}.$$

5. Определяются температуры сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети при регулировании по повышенному графику:

- при температуре точки излома графика $t_{н.и.}$:

$$t'_{1\text{ пов}} = t'_1 + \delta'_{\text{верх}}, ^\circ\text{C};$$

- при средней температуре наружного воздуха наиболее холодного месяца t_o^{cp} :

$$t''_{1\text{ пов}} = t''_1 + \delta''_{\text{верх}}, ^\circ\text{C};$$

- при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$:

$$t'''_{1\text{ пов}} = t'''_1 + \delta'''_{\text{в}}, ^\circ\text{C}.$$

Далее производится построение повышенного температурного графика.

ЗАДАНИЕ

Произвести расчет и построение графиков качественного регулирования отпуска теплоты в городе с климатическими условиями, принятыми из выполненного ранее практического задания №1.

Порядок выполнения практической работы:

1. Ознакомится с теоретической частью.
2. Выписать исходные данные, перечисленные на стр. 29,30 методических указаний. Значения t'_1, t'_2, t'_3 принять равными соответственно 150°C , 70°C , 95°C ; значение температур $t_{o.p.}$ и t_o^{cp} принять из приложения 1 к практическому занятию №1 согласно своего варианта.
3. Выполнить расчеты и построить графики согласно примера.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ.

Исходные данные:

График строится для системы теплоснабжения зданий в г. Москве.

Принимаются:

$t'_1 = 150^\circ\text{C}$, $t'_2 = 70^\circ\text{C}$, $t'_3 = 95^\circ\text{C}$ — температуры воды, соответственно, в напорном трубопроводе, обратном трубопроводе и после смесительного устройства при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_{o.p.}$;

$t_{\text{вн}}^p = 20^\circ\text{C}$ — расчетная температура внутри отапливаемого помещения;

t_n – текущая температура наружного воздуха, для расчетов принимаем четыре значения: $+8^\circ\text{C}$; 0°C ; $t_o^{cp} = -10,2^\circ\text{C}$; $t_{o.p.} = -26^\circ\text{C}$.

$t_{o.p.} = -26^\circ\text{C}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления;

$u = \frac{t'_1 - t'_3}{t'_3 - t_2} = \frac{150 - 95}{95 - 70} = 2,2$ – коэффициент смешения смесительного устройства (элеватора).

1 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ТЕМПЕРАТУР ПРИ КАЧЕСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ОТПУСКА ТЕПЛА ДЛЯ ОДНОРОДНОЙ НАГРУЗКИ

При $t_n = +8^\circ\text{C}$:

Температура воды после смешения:

$$\begin{aligned} t_3 &= t_{BH}^p + 0,5(t'_3 - t'_2) \frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} + 0,5(t'_3 + t'_2 - 2t_{BH}^p) \left(\frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5(95 - 70) \frac{20 - 8}{20 + 26} + 0,5(95 + 70 - 2 \cdot 20) \left(\frac{20 - 8}{20 + 26} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5 \cdot 20 \frac{12}{46} + 0,5 \cdot 125 \left(\frac{12}{46} \right)^{0,758} = 20 + 3,25 + 22,5 = 45,4^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

Температура воды в обратном трубопроводе:

$$t_2 = t_3 - (t'_3 - t'_2) \frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} = 45,4 - (95 - 70) \frac{20 - 8}{20 + 26} = 39,3^\circ\text{C};$$

Температура воды в прямом трубопроводе:

$$t_1 = (1 + u)t_3 - u \cdot t_2 = (1 + 2,2)45,4 - 2,2 \cdot 39,3 = 60,1^\circ\text{C}.$$

При $t_n = 0^\circ\text{C}$:

Температура воды после смешения:

$$\begin{aligned} t_3 &= t_{BH}^p + 0,5(t'_3 - t'_2) \frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} + 0,5(t'_3 + t'_2 - 2t_{BH}^p) \left(\frac{t_{BH}^p - t_n}{t_{BH}^p - t_{o.p.}} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5(95 - 70) \frac{20 - 0}{20 + 26} + 0,5(95 + 70 - 2 \cdot 20) \left(\frac{20 - 0}{20 + 26} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5 \cdot 20 \frac{20}{46} + 0,5 \cdot 125 \left(\frac{20}{46} \right)^{0,758} = 20 + 5,3 + 33,2 = 58,3^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

Температура воды в обратном трубопроводе:

$$t_2 = t_3 - (t'_3 - t'_2) \frac{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{H}}}{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{o.p.}}} = 58,3 - (95 - 70) \frac{20 - 0}{20 + 26} = 46,4^\circ\text{C};$$

Температура воды в прямом трубопроводе:

$$t_1 = (1 + u)t_3 - u \cdot t_2, = (1 + 2,2)58,3 - 2,2 \cdot 46,4 = 82,4^\circ\text{C}.$$

При $t_{\text{H}} = -10,2^\circ\text{C}$:

Температура воды после смешения:

$$\begin{aligned} t_3 &= t_{\text{BH}}^p + 0,5(t'_3 - t'_2) \frac{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{H}}}{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{o.p.}}} + 0,5(t'_3 + t'_2 - 2t_{\text{BH}}^p) \left(\frac{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{H}}}{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{o.p.}}} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5(95 - 70) \frac{20 + 10,2}{20 + 26} + 0,5(95 + 70 - 2 \cdot 20) \left(\frac{20 + 10,2}{20 + 26} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5 \cdot 20 \frac{30,2}{46} + 0,5 \cdot 125 \left(\frac{30,2}{46} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 8,1 + 45 = 73,1^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

Температура воды в обратном трубопроводе:

$$t_2 = t_3 - (t'_3 - t'_2) \frac{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{H}}}{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{o.p.}}} = 73,1 - (95 - 70) \frac{20 + 10,2}{20 + 26} = 56,2^\circ\text{C};$$

Температура воды в прямом трубопроводе:

$$t_1 = (1 + u)t_3 - u \cdot t_2, = (1 + 2,2)73,1 - 2,2 \cdot 56,2 = 109,2^\circ\text{C}.$$

При $t_{\text{H}} = -26^\circ\text{C}$:

Температура воды после смешения:

$$\begin{aligned} t_3 &= t_{\text{BH}}^p + 0,5(t'_3 - t'_2) \frac{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{H}}}{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{o.p.}}} + 0,5(t'_3 + t'_2 - 2t_{\text{BH}}^p) \left(\frac{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{H}}}{t_{\text{BH}}^p - t_{\text{o.p.}}} \right)^{0,758} = \\ &= 20 + 0,5(95 - 70) \frac{20 + 26}{20 + 26} + 0,5(95 + 70 - 2 \cdot 20) \left(\frac{20 + 26}{20 + 26} \right)^{0,758} = \end{aligned}$$

$$= 20 + 0,5 \cdot 20 \frac{46}{46} + 0,5 \cdot 125 \left(\frac{46}{46} \right)^{0,758} = 20 + 12,5 + 62,5 = 95^\circ\text{C};$$

Температура воды в обратном трубопроводе:

$$t_2 = t_3 - (t'_3 - t'_2) \frac{t_{\text{вн}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{вн}}^{\text{p}} - t_{\text{o.p.}}} = 95 - (95 - 70) \frac{20 + 26}{20 + 26} = 70^\circ\text{C};$$

Температура воды в прямом трубопроводе:

$$t_1 = (1 + u)t_3 - u \cdot t_2 = (1 + 2,2)95 - 2,2 \cdot 70 = 150^\circ\text{C}.$$

Полученные данные занесем в таблицу 1:

Температура сетевой воды, $^\circ\text{C}$	Температура наружного воздуха $t_{\text{н}}$, $^\circ\text{C}$.			
	$+8^\circ\text{C}$	0°C	$t_{\text{o}}^{\text{cp}} = -10,2^\circ\text{C}$	$t_{\text{o.p.}} = -26^\circ\text{C}$
t_1	60	82	109	150
t_2	39	46	56	70
t_3	45	58	73	95

На тетрадном листе строим график.

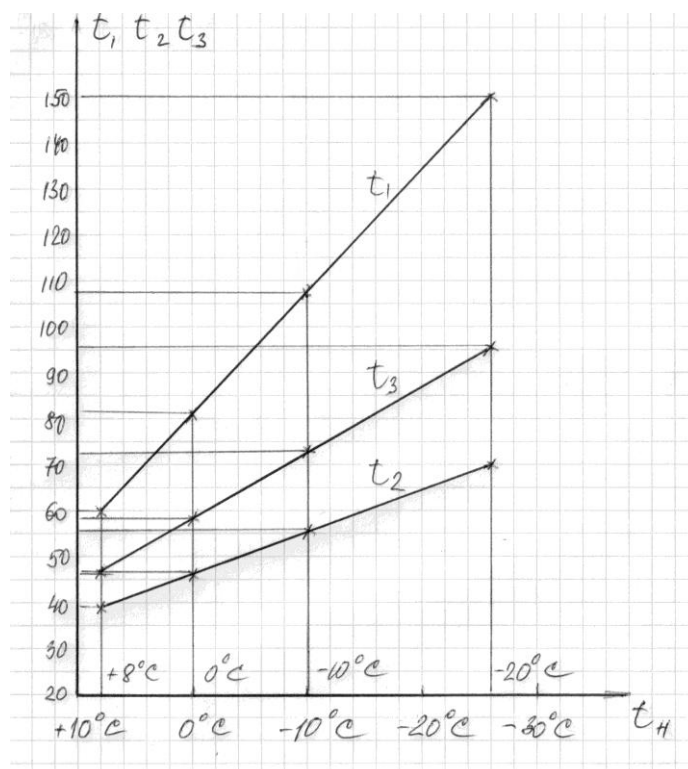


Рис. 3

Температурный график качественного регулирования для однородной нагрузки

2 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ТЕМПЕРАТУР ПРИ КАЧЕСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ОТПУСКА ТЕПЛА ДЛЯ СМЕШАННОЙ НАГРУЗКИ

На графике для однородной нагрузки находим точку излома, т.е. температуру окружающего воздуха, при которой температура сетевой воды в прямом трубопроводе t_1 достигает температуры 70°C . Точка излома графика $+5^{\circ}\text{C}$.

$$t = t_{\text{н.и.}} = +5^{\circ}\text{C}.$$

От этой температуры графики $t_1 = f(t_{\text{н}})$, $t_2 = f(t_{\text{н}})$ и $t_3 = f(t_{\text{н}})$ продолжают до оси ординат в виде линий, параллельных оси абсцисс (температура во всех магистралях при этом будет сохраняться постоянной вне зависимости от температуры наружного воздуха, ради обеспечения подачи в магистрали ГВС воды с температурой 70°C).

Полученный график, называемый отопительно-бытовым графиком качественного регулирования отопительной нагрузки, строим на тетрадном листе.

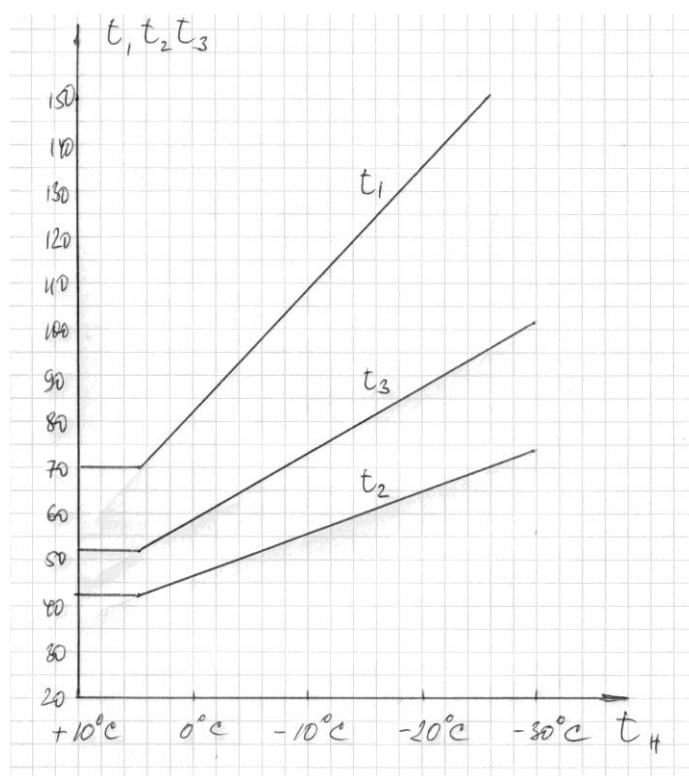


Рисунок 4
Отопительно-бытовой график

3 ПОСТРОЕНИЕ ПОВЫШЕННОГО ГРАФИКА ТЕМПЕРАТУР ПРИ КАЧЕСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ОТПУСКА ТЕПЛА ДЛЯ СМЕШАННОЙ НАГРУЗКИ

По отопительно-бытовому графику устанавливаем температуру наружного воздуха в точке перелома $t_{н.и.} = +5^{\circ}\text{C}$, температуру сетевой воды в прямой линии тепловой сети $t_1' = 70^{\circ}\text{C}$, температуру в обратной линии тепловой сети $t_2' = 42^{\circ}\text{C}$.

Расчет производим для температуры точки излома отопительно-бытового графика $t_{н.и.} = +5^{\circ}\text{C}$, средней температуры наружного воздуха наиболее холодного месяца для Москвы $t_o^{cp} = -10^{\circ}\text{C}$ и расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления для Москвы $t_{o.p.} = -26^{\circ}\text{C}$.

Обозначим температуры и перепады температур в точке $t_{н.и.}$ штрихом', в точке t_o^{cp} - двумя штрихами'', в точке $t_{o.p.}$ - тремя штрихами'''.

Принимаем недогрев воды в подогревателе нижней ступени при температуре воздуха $t_{н.и.}$:

$$\Delta t'_{г.в.ниж} = 10^{\circ}\text{C}.$$

Температура горячей воды после нижней ступени подогревателя при температуре воздуха $t_{н.и.}$:

$$t'_{г.в.ниж} = t_2' - \Delta t'_{г.в.н} = 42 - 10 = 32^{\circ}\text{C};$$

1. Определяют перепады температур в нижней ступени подогревателя:

- при $t_{н.и.} = +5^{\circ}\text{C}$:

$$\delta'_{ниж} = \chi \cdot \frac{Q_{гвс}^{cp}}{Q_o^p} \cdot \frac{t'_{г.в.ниж} - t_{х.в.}}{t_{г.в.} - t_{х.в.}} \cdot (t_1^p - t_2^p), ^{\circ}\text{C}$$

Принимаем

$$\chi = 1,2;$$

$$\frac{Q_{гвс}^{cp}}{Q_o^p} = 0,25;$$

$$t_{х.в.} = +5^{\circ}\text{C};$$

$$t_{г.в.} = +55^{\circ}\text{C},$$

Тогда:

$$\delta'_{ниж} = 1,2 \cdot 0,25 \cdot \frac{32 - 5}{55 - 5} \cdot (150 - 70) = 13^{\circ}\text{C};$$

- при $t_o^{cp} = -10^{\circ}\text{C}$:

$$\delta''_{ниж} = \delta'_{ниж} \frac{t_2'' - t_{х.в.}}{t_2' - t_{х.в.}} = 13 \cdot \frac{56 - 5}{42 - 5} = 18^{\circ}\text{C};$$

(значения температур воды в трубопроводах сети берем с отопительно-бытового графика или из ранее составленной таблицы 1).

- при $t_{o.p.} = -26^{\circ}\text{C}$:

$$\delta'''_{\text{ниж}} = \delta'_{\text{ниж}} \frac{t_2''' - t_{x.B}}{t_2' - t_{x.B}} = 13 \cdot \frac{70 - 5}{42 - 5} = 22^{\circ}\text{C}.$$

2. Определяем температуры сетевой воды в обратной магистрали при регулировании по повышенному графику:

- при $t_{н.и.} = +5^{\circ}\text{C}$:

$$t_{2 \text{ пов}}' = t_2' - \delta'_{\text{ниж}} = 42 - 13 = 29^{\circ}\text{C};$$

- при $t_o^{\text{cp}} = -10^{\circ}\text{C}$:

$$t_{2 \text{ пов}}'' = t_2'' - \delta''_{\text{ниж}} = 56 - 18 = 38^{\circ}\text{C};$$

- при $t_{o.p.} = -26^{\circ}\text{C}$:

$$t_{2 \text{ пов}}''' = t_2''' - \delta'''_{\text{ниж}} = 70 - 22 = 48^{\circ}\text{C}.$$

3. Суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней степени равен:

$$\delta = \delta_{\text{ниж}} + \delta_{\text{верх}} = \chi \cdot \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\text{cp}}}{Q_o^{\text{p}}} \cdot (t_1^{\text{p}} - t_2^{\text{p}}) = 1,2 \cdot 0,25(150 - 70) = 24^{\circ}\text{C};$$

4. Определяем перепады температур сетевой воды в верхней ступени подогревателя:

- при $t_{н.и.} = +5^{\circ}\text{C}$:

$$\delta'_{\text{верх}} = \delta - \delta'_{\text{ниж}} = 24 - 13 = 11^{\circ}\text{C};$$

- при $t_o^{\text{cp}} = -10^{\circ}\text{C}$:

$$\delta''_{\text{верх}} = \delta - \delta''_{\text{ниж}} = 24 - 18 = 6^{\circ}\text{C};$$

- при $t_{o.p.} = -26^{\circ}\text{C}$:

$$\delta'''_{\text{верх}} = \delta - \delta'''_{\text{ниж}} = 24 - 22 = 2^{\circ}\text{C}.$$

5. Определяем температуры сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети при регулировании по повышенному графику:

- при $t_{н.и.} = +5^{\circ}\text{C}$:

$$t'_{1\text{ пов}} = t'_1 + \delta'_{\text{верх}} = 70 + 11 = 81^{\circ}\text{C};$$

- при $t_o^{\text{cp}} = -10^{\circ}\text{C}$:

$$t''_{1\text{ пов}} = t''_1 + \delta''_{\text{верх}} = 110 + 6 = 116^{\circ}\text{C};$$

- при $t_{o.p.} = -26^{\circ}\text{C}$:

$$t'''_{1\text{ пов}} = t'''_1 + \delta'''_B = 150 + 2 = 152^{\circ}\text{C}.$$

Полученный график, называемый повышенным графиком центрального регулирования, строим на тетрадном листе.

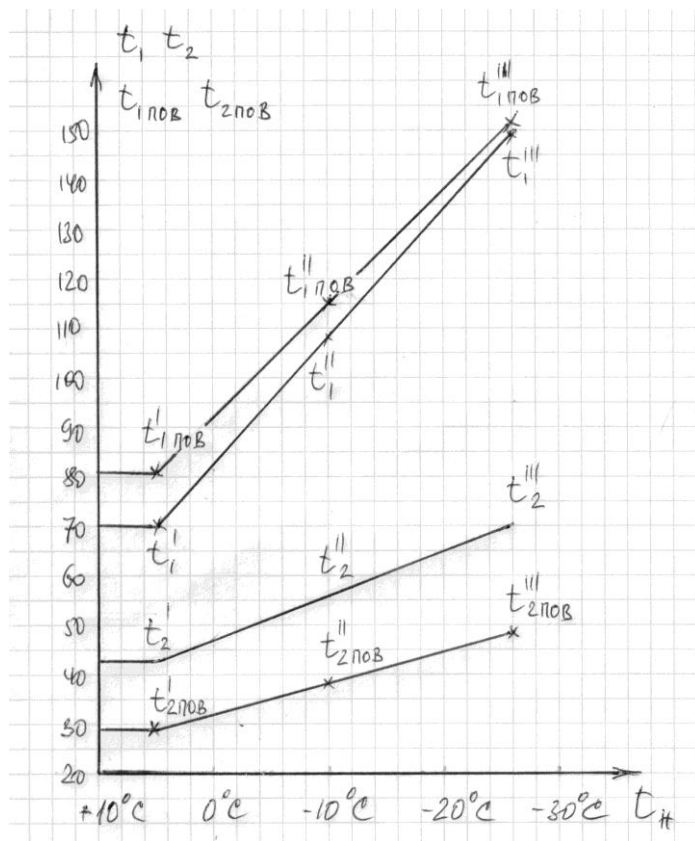


Рисунок 5

Повышенный график качественного регулирования отпуска теплоты при смешенной нагрузке

Контрольные вопросы:

1. Что такое количественное регулирование теплоты?
2. Что такое качественное регулирование теплоты?
3. Что такое центральное качественное регулирование теплоты?
4. Что такое местное качественное регулирование теплоты?
5. Что показывает график центрального качественного регулирования теплоты?
6. Что показывает отопительно-бытовой график качественного регулирования теплоты?
7. Что показывает повышенный график качественного регулирования теплоты?
8. Что такое однородная и смешанная нагрузка тепловой сети?
9. Какой график регулирования отпуска теплоты применяется при однородной нагрузке?
10. Какие графики регулирования отпуска теплоты применяются при смешанной нагрузке?
11. Что такое точка перелома отопительно-бытового графика регулирования теплоты?
12. Для чего применяется повышенный график отпуска теплоты?

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Гидравлический расчет является одним из важнейших разделов проектирования и эксплуатации тепловых сетей. При выполнении гидравлического расчета:

1. Определяют диаметры трубопроводов тепловой сети;
2. Определяют падения давлений (напоров) в тепловой сети;
3. Определяют давления (напоры) во всех точках тепловой сети;
4. Осуществляют проверку всех точек тепловой сети с целью обеспечения требуемых напоров и допустимых давлений в абонентских системах.

Гидравлический расчет выполняют в следующей последовательности:

Перед проведением гидравлического расчета тепловую сеть разбивают на расчетные участки, то есть на участки трубопровода между ответвлениями: на всем протяжении участка диаметр трубопровода и расход теплоносителя в нем не меняется.

Далее составляется схема тепловой сети и выбирается расчетная магистраль. За расчетную магистраль принимается часть сети от источника тепла до наиболее удаленного абонента. Расчетная магистраль может состоять из одного или нескольких участков.

Гидравлический расчет производится отдельно для магистрали и ответвлений. В первую очередь рассчитывают магистраль.

На всех расчетных участках магистрали определяются расходы теплоносителя. Расходы сетевой воды определяются по заданным тепловым нагрузкам участков тепловой сети (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение и технологическая нагрузка) по формуле:

$$G_{\text{уч}} = \frac{Q_p}{c_b(t_1 - t_2)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

где:

Q_p - расчетный расход теплоты, кВт;

$c_b = 4,19$ кДж/кг·К - теплоемкость воды;

t_1 - температура воды в подающем трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 - температура воды в обратном трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$.

Для паровых тепловых сетей расход пара определяется по формуле:

$$G_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{р}}}{h' - h''}, \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$Q_{\text{р}}$ - расчетный расход теплоты, кВт;

h' - энтальпия конденсата, кДж/кг;

h'' - энтальпия сухого насыщенного пара, кДж/кг.

Для всех расчетных участков определяются суммы местных сопротивлений:

$$\Sigma \xi = n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2 + n_3 \cdot \xi_3 + \dots$$

где:

n — количество местных сопротивлений;

ξ — коэффициент местного сопротивления.

Величины коэффициентов местных сопротивлений приведены в приложении 1.

Гидравлический расчет производят в два этапа.

1. На первом, предварительном, этапе определяются расчетные диаметры трубопроводов расчетной магистрали тепловой сети.

Для этого:

1.1 Определяется падение напора в расчетной магистрали.

$$\Delta H = \frac{\Delta h \cdot l_{\text{маг}}}{10000}, \text{ м.}$$

где:

$l_{\text{маг}}$ — длина магистрали трубопровода, м;

Δh — удельное линейное падение напора, Па/м.

Удельное линейное падение напора Δh принимают для водяных тепловых сетей равным $\Delta h = 80 - 100 \text{ Па/м}$, для паровых тепловых сетей $\Delta h = 100 - 150 \text{ Па/м}$.

1.2. Определяется падение давления в магистрали:

$$\Delta P_{\text{маг}} = \Delta H_{\text{маг}} \cdot \rho \cdot g, \text{ Па};$$

где:

$\rho = 975 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды при 75°C ;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

1.3. По формуле Шифринсона определяется коэффициент местного падения давления на каждом участке магистрали:

$$\alpha_{\text{уч}} = Z \sqrt{G_{\text{уч}}};$$

где:

$G_{\text{уч}}$ — расход теплоносителя по участку магистрали;

$Z = 0,19$ - для воды, $Z = 0,95 - 1,9$ - для пара.

1.4. Определяется удельное падение давления на каждом участке магистрали:

$$R_{\text{уч}} = \frac{\Delta P_{\text{маг}}}{l_{\text{маг}}(1 + \alpha_{\text{уч}})}, \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

1.5. Диаметры трубопроводов на участках магистрали определяются по формуле:

$$d_{\text{уч}} = A_d^B \frac{G_{\text{уч}}^{0,38}}{R_{\text{уч}}^{0,19}}, \text{ м};$$

где:

A_d^B — коэффициент для гидравлического расчета трубопроводов, принимается по приложению 2 при заданном значении абсолютной эквивалентной шероховатости k_s ;

$G_{\text{уч}}$ — расход сетевой воды на участке тепловой сети, кг/с ;

$R_{\text{уч}}$ — удельное падение давления в участке магистрали.

2. На втором, проверочном, этапе выбирают выбираются ближайшие стандартные диаметры труб по сортаменту (приложение 3) и определяется действительное падение давления и напора для выбранной по сортаменту трубы.

2.1. Определяется действительное удельное линейное падение давления в трубопроводах стандартных диаметров, составляющих участки магистрали:

$$R'_{\text{лин уч}} = A_R^B \frac{G_{\text{уч}}^2}{d_{\text{уч}}^{5,25}}, \text{ Па/м};$$

где:

A_R^B — коэффициент для гидравлического расчета трубопроводов, принимается по приложению 2 при заданном значении абсолютной эквивалентной шероховатости;

$G_{\text{уч}}$ — расход теплоносителя на участке магистрали, кг/с;

$d_{\text{уч}}$ — диаметр трубы участка магистрали, выбранной по сортаменту.

2.2. Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений участков магистрали:

$$l_{\text{э уч}} = A_l \cdot \Sigma \xi \cdot d_{\text{вн уч}}^{1,25}, \text{ м};$$

где:

$A_l = 60,7$ — коэффициент для гидравлического расчета трубопроводов, принимается по приложению 2 при заданном значении абсолютной эквивалентной шероховатости;

$\Sigma \xi$ — сумма местных сопротивлений на участке магистрали;

$d_{\text{вн уч}}$ — внутренний диаметр трубопровода на участке магистрали, м.

2.3. Определяется действительное падение давления на участках магистрали (сумма длины участка и эквивалентной длины местных сопротивлений удваивается, т.к. участок сети включает в себя прямой и обратный трубопровод равной длины):

$$\Delta P_{\text{уч}} = R'_{\text{лин уч}} \cdot 2 \cdot (l_{\text{уч}} + l_{\text{э уч}}), \text{ Па}.$$

2.4. Определяется действительное падение напора на участках магистрали:

$$\Delta H_{\text{уч}} = \frac{\Delta P_{\text{уч}}}{\rho \cdot g}, \text{ м.}$$

2.5. Определяются действительные располагаемые напоры на концах каждого участка магистрали. Концом последнего участка магистрали является наиболее удаленный абонент.

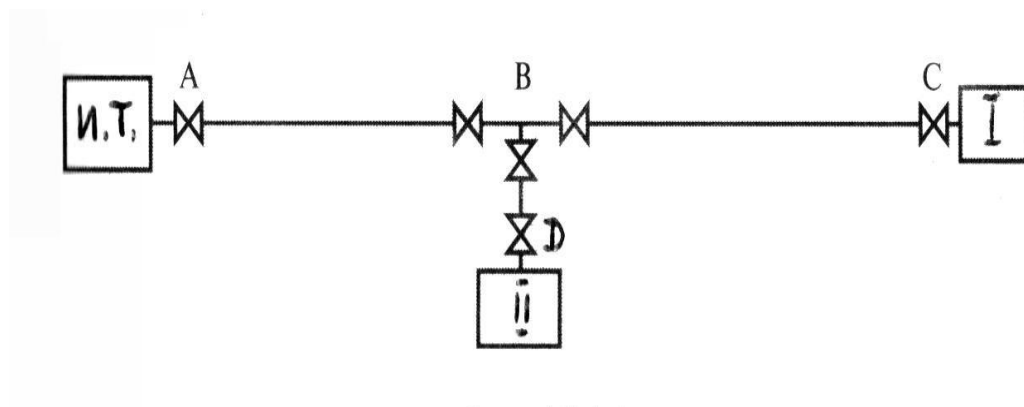
После расчета магистрали производится расчет ответвлений тепловой сети. Исходными данными для расчета служат тепловая нагрузка потребителей и напор в точках ответвлений, определенный при расчете магистрали. Расчет ответвлений производится в той же последовательности, что и расчет магистрали.

В завершение расчета ответвлений проводится проверка соответствия расчетного напора в конце ответвления необходимому располагаемому напору абонентов $\Delta H_{\text{аб}}$. Располагаемый напор - это разность напоров в прямой и обратной магистралях конечной точке тепловой сети, необходимый для нормальной циркуляции сетевой воды в системах теплоснабжения абонента. Располагаемый напор абонентов должен быть в пределах $\Delta H_{\text{аб}} = 10\text{-}15$ м для зданий высотой менее 18 метров с элеваторным подключением, для более высоких зданий с двухступенчатым подключением ГВС $\Delta H_{\text{аб}} = 20\text{-}25$ м. В случае недостатка или превышения расчетного напора следует провести повторный расчет, принимая к установке трубопровод с большим или меньшим диаметром.

ЗАДАНИЕ

Произвести гидравлический расчет двухтрубной водяной тепловой сети. Длины участков тепловой сети: $AB=1300$ м, $BC=1350$ м, $BD=500$ м. На каждом участке для компенсации тепловых удлинений через каждые 50 м установлены П-образные компенсаторы. Количество компенсаторов $n_{AB} = 1300/50 = 26$; $n_{BC} = 1350/50 = 27$; $n_{BD} = 500/50 = 10$. Располагаемый напор у всех абонентов $\Delta H_{\text{абон}} \geq 25$ м.

СХЕМА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ



Тепловые нагрузки принять из выполненного ранее практического задания №1 согласно своему варианту. Участок I - это столовая и столярный цех (здания №№ 2,4); участок II - это жилые дома (здания №№ 1,3).

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Исходные данные для гидравлического расчета:

Выпишем тепловые нагрузки зданий из выполненного ранее практического задания №1 для города Москвы (в кВт):

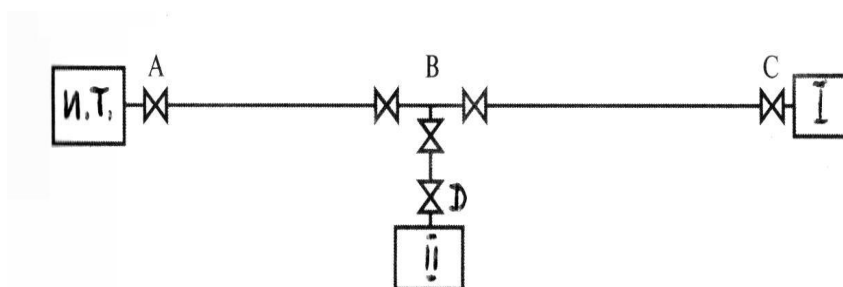
Здание №1: $Q_o^1 = 370,12$; $Q_B^1 = 0$; $Q_{ГВС}^1 = 322,2$;

Здание № 2: $Q_o^2 = 31,05$; $Q_B^2 = 57,15$; $Q_{ГВС}^2 = 390,23$;

Здание № 3: $Q_o^3 = 358,74$; $Q_B^3 = 0$; $Q_{ГВС}^3 = 116,1$;

Здание № 4: $Q_o^4 = 84,6$; $Q_B^4 = 56,85$; $Q_{ГВС}^4 = 219,28$.

Схема тепловой сети:



Расходы теплоты у абонентов I и II складываются из расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение во всех зданиях участка:

$$Q_p^I = Q_o^2 + Q_B^2 + Q_{ГВС}^2 + Q_o^4 + Q_B^4 + Q_{ГВС}^4 =$$

$$= 31,05 + 57,15 + 390,23 + 84,6 + 56,85 + 219,28 = 839,23 \text{ кВт.}$$

$$Q_p^{II} = Q_o^1 + Q_B^1 + Q_{ГВС}^1 + Q_o^3 + Q_B^3 + Q_{ГВС}^3 =$$

$$= 370,12 + 0 + 322,2 + 358,74 + 0 + 116,1 = 1167,16 \text{ кВт.}$$

1. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНОЙ МАГИСТРАЛИ.

1.1. За расчетную магистраль принимаем АС. Магистраль складывается из двух участков АВ и ВС. Длина расчетной магистральной АС=1300+1350=2650 м.

1.2. Определяем расходы теплоносителя по формуле:

$$G = \frac{Q_p}{c_B(t_1 - t_2)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Q_p - расчетный расход теплоты, кВт;

$c_B = 4,19$ кДж/кг·К - теплоемкость воды;

$t_1 = 150^\circ\text{C}$ - температура воды в подающем трубопроводе;

$t_2 = 70^\circ\text{C}$ - температура воды в обратном трубопроводе.

Расход теплоносителя абоненту I:

$$G_I = \frac{839,23}{4,19(150 - 70)} = 2,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Расход теплоносителя абоненту II:

$$G_{II} = \frac{1167,16}{4,19(150 - 70)} = 3,48 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Тогда расход теплоносителя в магистрали:

на участке АВ - $G_{AB} = 3,48 + 2,5 = 5,98$ кг/с,

на участке ВС - $G_{BC} = 2,5$ кг/с.

1.3. Определим суммы местных сопротивлений на участках магистрали:

$$\Sigma \xi = n_1 \cdot \xi_1 + n_2 \cdot \xi_2 + n_3 \cdot \xi_3 + \dots$$

где:

n — количество местных сопротивлений;

ξ — коэффициент местного сопротивления.

На участке АВ имеется 26 компенсаторов и 2 задвижки.

На участке ВС имеется 27 компенсаторов, 2 задвижки и одно разветвление.

По приложению 1 находим:

$$\xi_{\text{комп}} = 4, \quad \xi_{\text{завд}} = 0,5, \quad \xi_{\text{раз}} = 1.$$

Тогда:

$$\Sigma \xi_{AB} = 26 \cdot 4 + 2 \cdot 0,5 = 105.$$

$$\Sigma \xi_{BC} = 27 \cdot 4 + 2 \cdot 0,5 + 1 \cdot 1 = 110.$$

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ МАГИСТРАЛИ.

2.1. Падение напора в магистрали определяем по формуле:

$$\Delta H = \frac{\Delta h \cdot l}{10000}, \text{ м.}$$

При отсутствии прочих данных принимаем величину удельного падения напора для водяных сетей $\Delta h = 90$ Па/м. Тогда падение напора в магистрали:

$$\Delta H_{AC} = \frac{90 \cdot 2650}{10000} = 23,85 \text{ м.}$$

2.2. Падение давления в магистрали:

$$\Delta P_{AC} = \Delta H_{AC} \cdot \rho \cdot g = 23,85 \cdot 975 \cdot 9,81 = 228119 \text{ Па.}$$

(Здесь $\rho = 975 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.)

2.3. Коэффициенты местного падения давления в участках магистрали определяем по формуле Шифринсона:

$$\alpha = Z\sqrt{G_{AC}}.$$

$$\alpha_{AB} = 0,19\sqrt{G_{AB}} = 0,19\sqrt{5,98} = 0,46;$$

$$\alpha_{BC} = 0,19\sqrt{G_{BC}} = 0,19\sqrt{2,5} = 0,3.$$

2.4. Определяем удельное падение давления в участках магистрали:

$$R = \frac{\Delta P_{AC}}{l_{yч}(1 + \alpha_{yч})}, \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

$$R_{AB} = \frac{\Delta P_{AC}}{l_{AB}(1 + \alpha_{AB})} = \frac{228119}{1300(1 + 0,46)} = 120,19 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

$$R_{BC} = \frac{\Delta P_{AC}}{l_{BC}(1 + \alpha_{BC})} = \frac{228119}{1350(1 + 0,3)} = 129,98 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

2.5. Диаметры трубопроводов на участках магистрали определяем по формуле:

$$d_{\text{уч}} = A_d^B \frac{G_{\text{уч}}^{0,38}}{R_{\text{уч}}^{0,19}}, \text{ м};$$

где:

$A_d^B = 117 \cdot 10^{-3} = 0,117$ – коэффициент для гидравлического расчета трубопроводов, принимается по приложению 2 при значении абсолютной эквивалентной шероховатости $k_s = 0,0005$ м;

$G_{\text{уч}}$ – расход сетевой воды на участке тепловой сети;

$R_{\text{уч}}$ – удельное падение давления на участке магистрали.

Для участков АВ и ВС магистрали:

$$d_{\text{AB}} = A_d^B \frac{G_{\text{AB}}^{0,38}}{R_{\text{AB}}^{0,19}} = 0,117 \frac{8,26^{0,38}}{120,19^{0,19}} = 0,117 \frac{2,2}{2,48} = 0,104 \text{ м} = 104 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{BC}} = A_d^B \frac{G_{\text{BC}}^{0,38}}{R_{\text{BC}}^{0,19}} = 0,117 \frac{4,78^{0,38}}{129,98^{0,19}} = 0,117 \frac{1,8}{2,5} = 0,083 \text{ м} = 83 \text{ мм}.$$

3. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ МАГИСТРАЛИ:

3.1. По приложению 3 выбираем стандартные диаметры труб (берется ближайшее большее значение d_{BH}):

- на участке АВ:

$$d_{\text{H}} = 133 \text{ мм};$$

$$d_{\text{BH}} = 125 \text{ мм};$$

- на участке ВС:

$$d_{\text{H}} = 108 \text{ мм};$$

$$d_{\text{BH}} = 100 \text{ мм}.$$

3.2. Определяем действительное удельное линейное падение давления в трубопроводах стандартных диаметров:

$$R'_{\text{лин уч}} = A_R^B \frac{G_{\text{уч}}^2}{d_{\text{вн уч}}^{5,25}}, \text{ Па/м};$$

где:

$A_R^B = 13,62 \cdot 10^{-6}$ — коэффициент для гидравлического расчета трубопроводов, принимается по приложению 2 при значении абсолютной эквивалентной шероховатости $k_9 = 0,0005$ м;

$d_{\text{вн уч}}$ — внутренний диаметр стандартной трубы на участке, м.

На участке АВ:

$$R'_{\text{лин АВ}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{5,98^2}{0,125^{5,25}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{37,76}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 28,57 \frac{\text{Па}}{\text{м}};$$

на участке ВС:

$$R'_{\text{лин ВС}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{2,5^2}{0,1^{5,25}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{6,25}{5,62 \cdot 10^{-6}} = 15,15 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

3.3. Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений:

$$l_{\text{э уч}} = A_l \cdot \Sigma \xi_{\text{уч}} \cdot d_{\text{вн уч}}^{1,25}, \text{ м};$$

где:

$A_l = 60,7$ — коэффициент для гидравлического расчета трубопроводов, принимается по приложению 2 при значении абсолютной эквивалентной шероховатости $k_9 = 0,0005$ м.

$\Sigma \xi_{\text{уч}}$ — сумма местных сопротивлений на участке магистрали;

$d_{\text{вн уч}}$ — внутренний диаметр трубы на участке, м.

На участке АВ:

$$l_{\text{э АВ}} = 60,7 \cdot 105 \cdot 0,125^{1,25} = 474 \text{ м};$$

на участке ВС:

$$l_{\text{э ВС}} = 60,7 \cdot 110 \cdot 0,1^{1,25} = 375 \text{ м}.$$

3.4. Определяем действительное падение давления:

$$\Delta P_{\text{уч}} = R'_{\text{лин уч}} \cdot 2 \cdot (l_{\text{уч}} + l_{\text{э уч}}), \text{ Па}.$$

На участке АВ:

$$\Delta P_{AB} = 28,57 \cdot 2(1300 + 474) = 101366 \text{ Па};$$

На участке ВС:

$$\Delta P_{BC} = 15,15 \cdot 2(1350 + 375) = 52267 \text{ Па}.$$

3.5. Определяем действительное падение напора на участках сети:

$$\Delta H_{уч} = \frac{\Delta P_{уч}}{\rho \cdot g}, \text{ м}.$$

На участке АВ:

$$\Delta H_{AB} = \frac{101366}{975 \cdot 9,81} = 10,6 \text{ м};$$

На участке ВС:

$$\Delta H_{BC} = \frac{52267}{975 \cdot 9,81} = 5,4 \text{ м}.$$

3.6. Определяем действительные располагаемые напоры в точках А и В.

Для точки В напор складывается из заданного располагаемого напора у абонента $\Delta H_{абон} = 25$ м и падения давления на участке ВС:

$$H_B = \Delta H_{абон} + \Delta H_{BC} = 25 + 5,4 = 30,4 \text{ м};$$

Для точки А:

$$H_A = H_B + \Delta H_{AB} = 30,4 + 10,6 = 41 \text{ м}.$$

4. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОТВЕТВЛЕНИЯ

Ответвлением в нашем примере является участок ВD.

Исходными данными для расчета ответвления являются расход воды у абонента Q , располагаемый напор в ответвлении В, и заданный располагаемый напор у абонента $\Delta H_{абон}$:

$$G_{BD} = 3,48 \text{ кг/с};$$

$$H_B = 45 \text{ м};$$

$$\Delta H_{абон} = 25 \text{ м}.$$

Определяем сумму коэффициентов местных сопротивлений в ответвлении.

На ответвлении установлено: задвижек - 2, разветвлений - 1, компенсаторов - 10.

$$\xi_{\text{комп}} = 4, \xi_{\text{зав}} = 0,5, \xi_{\text{раз}} = 1,5.$$

$$\Sigma \xi_{\text{BD}} = 10 \cdot 4 + 2 \cdot 0,5 + 1 \cdot 1,5 = 42,5.$$

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ОТВЕТВЛЕНИЯ.

5.1. Определяем падение напора в ответвлении **как разность напора в точке В и принимаемого значения напора у абонента.**

$$\Delta H_{\text{BD}} = H_{\text{В}} - \Delta H_{\text{абон}} = 30,4 - 25 = 5,4 \text{ м.}$$

5.2. Определяем падение давления в ответвлении:

$$\Delta P_{\text{BD}} = \Delta H_{\text{BD}} \cdot \rho \cdot g = 5,4 \cdot 975 \cdot 9,81 = 51650 \text{ Па.}$$

5.3. Определяем коэффициент местного падения давления в ответвлении.

$$\alpha_{\text{BD}} = 0,19 \sqrt{G_{\text{BD}}} = 0,19 \sqrt{3,48} = 0,35.$$

5.4. Определяем удельное падение давления в ответвлении.

$$R_{\text{BD}} = \frac{\Delta P_{\text{BD}}}{l_{\text{BD}} (1 + \alpha_{\text{BD}})} = \frac{51650}{500(1 + 0,35)} = 76,5 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

5.5. Определяем диаметр трубопровода в ответвлении:

$$d_{\text{BD}} = A_d^B \frac{G_{\text{BD}}^{0,38}}{R^{0,19}} = 0,117 \frac{3,48^{0,38}}{76,5^{0,19}} = 0,117 \frac{1,6}{2,3} = 0,081 \text{ м} = 81 \text{ мм.}$$

6. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ОТВЕТВЛЕНИЯ.

6.1 По приложению 3 выбираем стандартные диаметры труб (берется ближайшее большее значение d_{BH}):

$$d_{\text{H}} = 89 \text{ мм;}$$

$$d_{\text{BH}} = 82 \text{ мм.}$$

6.2. Определяем действительное удельное линейное падение давления в трубопроводе стандартного диаметра:

$$R'_{\text{лин уч}} = A_R^B \frac{G_{\text{уч}}^2}{d^{5,25}}, \text{ Па/м};$$

$$R'_{\text{лин BD}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{3,48^2}{0,082^{5,25}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{12,11}{1,98 \cdot 10^{-6}} = 83,3 \frac{\text{Па}}{\text{м}};$$

6.3. Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений:

$$l_э = A_l \cdot \Sigma \xi \cdot d_{\text{BH}}^{1,25}, \text{ м};$$

$$l_{э \text{ BD}} = 60,7 \cdot 42,5 \cdot 0,082^{1,25} = 113,2 \text{ м};$$

6.4. Определяем действительное падение давления:

$$\Delta P = R'_{\text{лин}} \cdot 2 \cdot (l + l_э), \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{BD}} = 83,3 \cdot 2(500 + 113,2) = 102159 \text{ Па.}$$

6.5. Определяем действительное падение напора:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}.$$

$$\Delta H_{\text{BD}} = \frac{102159}{975 \cdot 9,81} = 10,7 \text{ м.}$$

6.6. Определяем действительный располагаемый напор у абонента.

Для точки D:

$$H_D = H_B - \Delta H_{\text{BD}} = 30,4 - 10,7 = 19,7 \text{ м};$$

Располагаемый напор в точке D меньше, чем необходимый располагаемый напор $\Delta H_{\text{абон}} \geq 25$ метров - проверочный расчет не сходится, выбранная стандартная труба не обеспечивает нужного напора у абонента. Необходимо увеличить диаметр трубы.

7. ПОВТОРНЫЙ ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ

7.1. По приложению 7 выбираем следующее большее значение стандартного диаметра трубы и снова проводим проверочный расчет с увеличенным диаметром трубы:

$$d_H = 108 \text{ мм};$$

$$d_{BH} = 100 \text{ мм.}$$

7.2. Определяем действительное удельное линейное падение давления

$$R'_{\text{лин BD}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{3,48^2}{0,1^{5,25}} = 13,62 \cdot 10^{-6} \frac{12,11}{5,62 \cdot 10^{-6}} = 29,34 \frac{\text{Па}}{\text{м}} ;$$

7.3. Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений:

$$l_{э BD} = 60,7 \cdot 42,5 \cdot 0,1^{1,25} = 145 \text{ м};$$

7.4. Определяем действительное падение давления:

$$\Delta P_{BD} = 29,34 \cdot 2(500 + 145) = 38848 \text{ Па.}$$

7.5. Определяем действительное падение напора:

$$\Delta H_{BD} = \frac{38848}{975 \cdot 9,81} = 4 \text{ м.}$$

7.6. Определяем действительный располагаемый напор у абонента.

$$H_D = H_B - \Delta H_{BD} = 30,4 - 4 = 26,4 \text{ м};$$

Располагаемый напор в точке D больше, чем необходимый располагаемый напор у абонента $\Delta H_{\text{абон}} \geq 25$ метров - проверочный расчет сходится.

8. Результаты расчетов оформляем в виде таблицы.

(здесь приведенная длина участка - это удвоенная сумма длины и эквивалентной длины участка)

Обозначение участка	Расход сетевой воды, кг/с	Характеристика участка			Потери напора на участке ΔH , м	Потери напора от источника тепла до абонента ΔH , м	Располагаемые напоры в точках сети, м
		Длина участка, м	Приведенная длина участка, м	Внутренний диаметр трубопровода, мм			
AB	5,98	1300	3548	125	10,6	-	$\Delta H_A = 41,0$
BC	2,50	1350	3450	100	5,4	16,0	$\Delta H_B = 30,4$
BD	3,48	500	1226	100	4,0	14,6	$\Delta H_C = 25,0$
							$\Delta H_D = 26,4$

Контрольные вопросы:

1. С какими целями проводится гидравлический расчет тепловой сети?
2. Где начинается и где заканчивается тепловая сеть?
3. Что такое расчетная магистраль тепловой сети?
4. Что такое участок тепловой сети?
5. Что такое ответвление тепловой сети?
6. Как определяется действительный располагаемый напор у абонентов:
 - при расчете магистрали?
 - при расчете ответвлений?
7. Как определяется напор в источнике тепла?
8. Чем отличается напор от давления?
9. Как выбирается диаметр трубопроводов тепловой сети?
10. Как проверяется выбранный диаметр трубопровода?

Приложение 4.1

Коэффициенты местных сопротивлений трубопроводов

Наименование	Коэффициент ξ
Вентили проходные, $d = 50...400$ мм	4—8
Задвижки нормальные	0,5
Тройники при разделении потоков: для прямого хода	1,0
для ответвления	1,5
Компенсатор сальниковый	0,2
Компенсатор П-образный	4,0
Угольник 90°	1,0—2,0
Колена 90° гнутые, гладкие, $R = 1,0 d$	1,0
То же $R = 2 d$	0,7
То же $R = 4 d$	0,3
То же $R > 4 d$	0,05—0,2
Тройник (встречный ток)	3,0

Значения коэффициентов A в формулах для проведения гидравлического расчета тепловых сетей

Коэффициент	Значение при абсолютной эквивалентной шероховатости k_s , м		
	0,0002	0,0005	0,001
$A_R, \text{м}^{0,25}$	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$13,3 \cdot 10^{-2}$	$15,92 \cdot 10^{-3}$
$A_R^B, \text{м}^{3,25}/\text{кг}$	$10,92 \cdot 10^{-6}$	$13,62 \cdot 10^{-6}$	$16,3 \cdot 10^{-6}$
$A_d, \text{м}^{0,0475}$	0,414	0,435	0,448
$A_d^B, \text{м}^{0,62}/\text{кг}^{0,19}$	$111,5 \cdot 10^{-3}$	$117 \cdot 10^{-3}$	$121 \cdot 10^{-3}$
$A_G, \text{м}^{-0,125}$	9,65	8,62	7,89
$A_G^B, \text{кг}^{0,5}/\text{м}^{1,625}$	302	269	246
$A_\alpha, \text{м}^{0,19}$	25,2	21,4	18,6
$A_\alpha^B, \text{м}^{0,53}/\text{кг}^{0,24}$	4,54	3,82	3,34
$A_l, \text{м}^{-0,25}$	76,4	60,7	51,1

Трубы стальные для теплопроводов

Условный проход, d_y , мм	Наружный диаметр, d_n , мм	Толщина стенок, $\delta_{ст}$, мм	Внутренний диаметр, $d_{вн}$, мм	Масса 1 п.м., кг	Момент инерции, I , см ³	Экваториаль- ный момент сопротивле- ния, W , см ³
1	2	3	4	5	6	7
ГОСТ 10704—91						
32	38	2,5	33	2,15	4,41	2,32
40	45	2,5	40	2,62	7,56	3,36
50	57	3,5	50	4,62	21,1	7,42
70	75	3,5	69	6,26	52,5	13,8
80	89	4,0	82	7,38	86,1	19,3
100	108	4,0	100	10,26	177,0	32,8
125	133	4,5	125	12,73	388,0	50,8
150	159	5,0	150	17,15	652,0	82,0
175	194	6,0	184	23,31	1327,0	137,0
200	219	7,0	207	31,52	2279,0	208,0
250	273	8,0	259	45,92	5177,0	379,0
300	325	9,0	309	62,54	10014	616,0
350	377	9,0	359	81,68	17624	935,0
400	426		408	92,56	25640	1204
400	426	6	414	62,15	17450	820
500	530	7	515	90,28	39160	1509
600	630	8	614	122,7	75662	2400
700	720	9	702	157,7	127052	3529
800	820	10	800	200,0	205000	5091
900	920	11	898	246,0	365000	7054
1000	1020	12	996	298,3	450000	9465

ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО ГРАФИКА НАПОРОВ В ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

К водяным тепловым сетям присоединяются абоненты, которые могут быть расположены на различных геодезических отметках и иметь разную высоту. Для безаварийной работы необходимо заранее рассчитать давления и напоры в любой точке сети. Для этого строится пьезометрический график или график напоров тепловой сети, в котором в определенном масштабе нанесены рельеф местности, высота присоединяемых зданий, напор в тепловой сети и теплоподготовительном оборудовании. По нему легко определить напор (давление) и располагаемый напор (перепад давлений в подающей и обратной ветках сети) в любой точке сети и абонентских системах, проверить соответствие предельных давлений в тепловой сети условиям прочности трубопроводов и арматуры, невосприимчивости воды, условиям заполняемости водой верхних этажей зданий и отсутствия подсосов воздуха.

По графику напоров выбирают схемы присоединения абонентов к тепловой сети, выбираются сетевые и подпиточные насосы, автоматические регуляторы давления и пр.

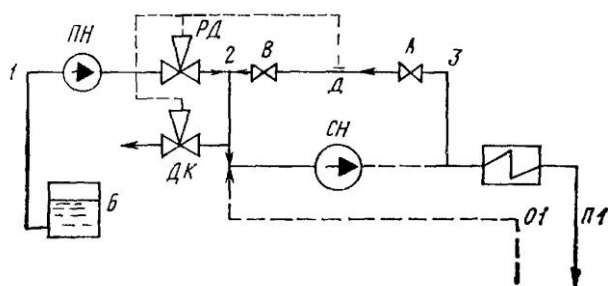


Рис.1 Линии циркуляции и подпитки тепловой сети. На рисунке ПН - подающий трубопровод, О1 - обратный трубопровод, СН - сетевой насос, ПН - подкачивающий насос, РД - регулятор давления, ДК - дренажный клапан.

На рис. 1 представлена принципиальная схема двухтрубной системы теплоснабжения. Тепловая сеть может работать в статическом и динамическом режимах.

Динамический режим возникает при работающем сетевом насосе СН. Охлажденная до 70°C в приборах отопления абонентов вода возвращается по обратной линии тепловой сети О1. Сетевым насосом СН повышается давление воды и направляет в теплоподготовительную установку, где вода нагревается

до 150°C и далее в напорную линию тепловой сети. Динамический режим характеризуется напорами, возникающими в тепловой сети при работе сетевых насосов, необходимыми для циркуляции воды в системе. Располагаемый напор в любой точке сети, а также у потребителей, равен разности напоров в подающей и обратной линиях сети.

Статический режим возникает в сети при неработающем сетевом, но включенном подпитывающем насосе ПН. Циркуляция воды в сети при этом отсутствует. Подпиточный насос должен восполнять утечки сетевой воды (например, через открытые системы ГВС) и обеспечивать напор в линии О1, обеспечивающий заполняемость зданий водой. Подпитывающий насос забирает воду из емкости химически подготовленной деаэрированной воды 6. Напор, развиваемый подпиточным насосом, равен $H_{\text{подп}}$. Начальный напор насоса сбрасывается до давления $H_{\text{ст}}$, обеспечивающего заполняемость системы водой, с помощью регулятора давления РД, подключенному к байпасному устройству Д. Необходимая величина давления $H_{\text{ст}}$ устанавливается настройкой дросселей А и В.

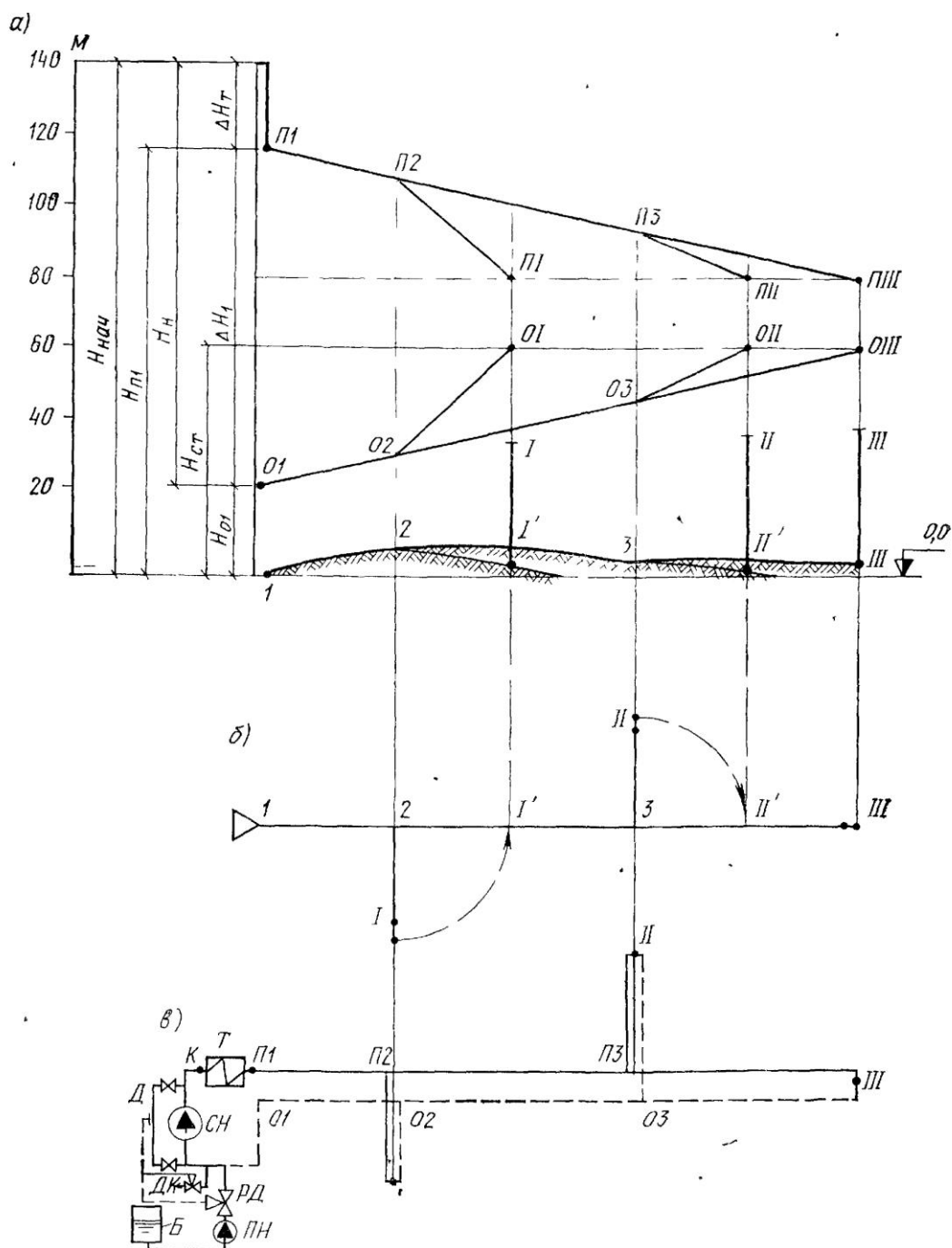
При превышении давления в обратной линии сети (вызванного, например, ростом температуры воды) излишек напора сбрасывается дренажным клапаном ДК.

Рассмотрим график напоров в теплотрассе, проложенной под землей (рис. 2).

По оси абсцисс на графике отложена длина теплотрассы от источника тепла до наиболее удаленного потребителя. Ответвления теплотрассы условно повернуты на 90° и совмещены с профилем основной магистрали.

По оси ординат на графике отложены напоры в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, а также высоты геодезического профиля местности и высоты расположенных на местности зданий.

В населенных пунктах тепловые сети заглубляют примерно на 1 м. Ввиду малого заглубления при вычерчивании профиля трассы-теплопровода его ось условно совмещают с поверхностью земли. За горизонтальную плоскость отсчета принята плоскость 00, проходящая через нулевую отметку. Все геодезические отметки профиля трассы, а также высоты зданий, соответствуют масштабу, указанному на оси ординат. Таким образом, величина z показывает геодезическую высоту оси трубопровода в любой точке над плоскостью отсчета.



Пьезометрический график (а), однолинейная схема трубопроводов (б) и схема двухтрубной тепловой сети (в)
 I—III — абоненты; 1, 2, 3 — узлы; П — подающая линия; О — обратная линия; Н — напоры; Т — теплоподготовительная установка; СН — сетевой насос; РД — регулятор давления; Д — точка отбора импульса для РД; ПН — подпиточный насос, Б — бак подпиточной воды; ДК — дренажный клапан

Рис. 2

Рассмотрим работу двухтрубной системы теплоснабжения, принципиальная схема которой показана на рис. 2, в.

Из теплоподготовительной установки Т вода с температурой $t=150^{\circ}\text{C}$

поступает в подающий теплопровод в точке *П1* с полным напором в подающем коллекторе источника тепла

$$H_{П1} = H_{нач} - \Delta H_T$$

(здесь $H_{нач}$ - начальный полный напор после сетевых насосов (точка *K*); ΔH_T - потери напора сетевой воды в теплоподготовительной установке). Так как геодезическая отметка установки сетевых насосов $z = 0$, полный напор в начале сети равен пьезометрическому напору и соответствует избыточному давлению в коллекторе источника теплоснабжения. Горячая вода по подающей магистрали 1-2-3-III и ответвлениям 2-I и 3-II поступает в местные системы потребителей тепла I, II, III. Полные напоры в подающей магистрали и ответвлениях изображены графиками напоров П1—ПIII, П2—ПII, П3—ПIII. Охлажденная вода по обратным трубопроводам направляется к источнику теплоснабжения. Графики полных давлений в обратных теплопроводах изображены линиями ОIII-01, ОII-03, ОI -02.

Разность напоров ΔH в подающей и обратной линиях для любой точки сети называется *располагаемым напором*. Так как подающий и обратный трубопроводы в любой точке имеют одну и ту же геодезическую отметку, располагаемый напор равен разности полных или пьезометрических напоров:

$$\Delta H_i = H_{Пi} - H_{Оi}.$$

У абонентов располагаемые напоры равны:

$$\Delta H_I = H_{ПI} - H_{ОI};$$

$$\Delta H_{II} = H_{ПII} - H_{ОII};$$

$$\Delta H_{III} = H_{ПIII} - H_{ОIII}.$$

Полный напор в конце обратной линии перед сетевым насосом на обратном коллекторе источника теплоснабжения равен $H_{О1}$. Следовательно, располагаемый напор в коллекторах теплоподготовительной установки:

$$\Delta H_1 = H_{П1} - H_{О1}.$$

Сетевой насос повышает давление воды, поступающей из обратной линии, и направляет ее в теплоподготовительную установку, где она нагревается до $t=150^\circ\text{C}$. Насос развивает давление $H_{нас}$.

Потери напора в подающей и обратной линиях равны разности напоров в начале и конце трубопровода. Для подающей магистрали они равны $\Delta H_{\Pi} = H_{\Pi 1} - H_{\Pi III}$, а для обратной $\Delta H_0 = H_{0 III} - H_{0 1}$.

Как указывалась выше, динамический режим наблюдается в тепловой сети при работающих сетевых насосах. Давление в напорном трубопроводе в точке П1 поддерживается работой сетевого насоса СН, давление в обратном трубопроводе в точке О1 поддерживается работой подпиточного насоса ПН и регулятора давления РД.

При остановке сетевых насосов сеть переходит в статический режим. При этом во всех точках теплотрассы устанавливается напор, развиваемый подпиточным насосом. Этот напор должен обеспечить заполнение водой самых высоких зданий, подключенных к теплосети и а также невоскипаемость воды при температуре статического режима.

Во избежание вскипания воды во всех точках тепловой сети ее давление должно быть выше давления насыщенных паров при температуре воды в системе. При температуре 150°C минимальный пьезометрический напор для невоскипания должен составлять 40 м. С учетом местного перегрева воды в водогрейном котле ее температура в нем достигает 180°C. Этой температуре соответствует напор 92 м. Поскольку невоскипаемость должна быть обеспечена во всех, в том числе на самых верхних, точках тепловой сети, а высота котла достигает 15 метров, нижний предел напора в теплоподготовительной установке составляет 107 м. С учетом потерь напора в теплоподготовительной установке 30 м сетевой напор должен обеспечивать напор 137 м.

С другой стороны, давление тепловой сети не должно превышать максимального значения из условия прочности трубопроводов, теплообменников и арматуры. Допустимое давление для водогрейных котлов составляет 2,5 МПа, для трубопроводов тепловой сети - 1,6 МПа, для водоводяных подогревателей системы ГВС абонентов - 1,0 МПа. Этим давлениям соответствуют напоры, не превышающие, соответственно, 250, 160 и 100 метров.

Во всех точках обратной линии должно обеспечиваться некоторое избыточное давление для предотвращения кавитации в насосах и подсоса воздуха в систему. В качестве минимального принимают избыточное давление 0,05 МПа, что соответствует минимальному напору 5 метров.

Чтобы во всех точках местных систем имелось избыточное давление, пьезометрический напор в обратном трубопроводе должен быть больше, чем высота самой верхней точки самого высокого здания не менее, чем на пять метров.

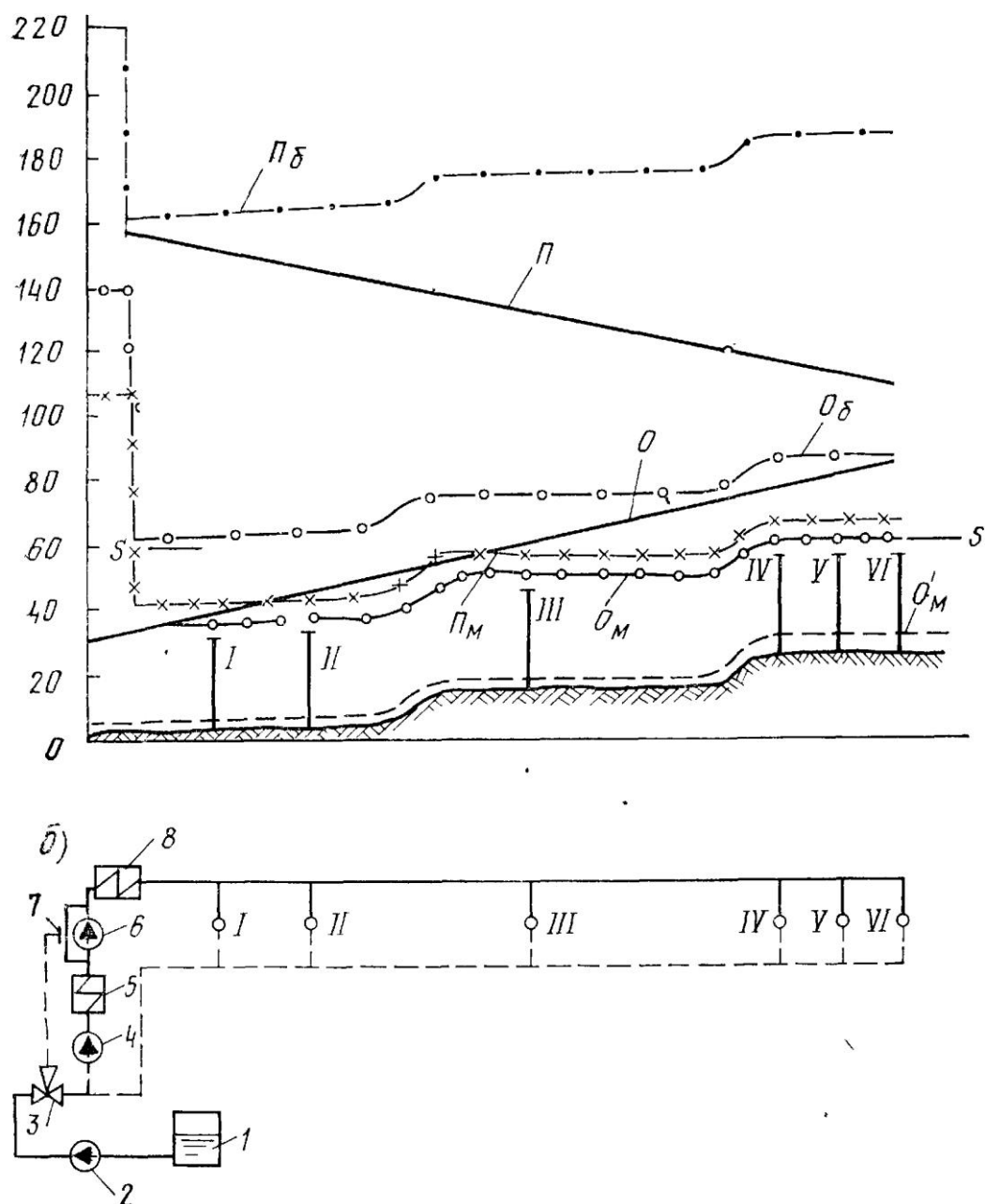


Рис. 3

При этом давление в обратном трубопроводе не должно превышать предельного давления, установленного для приборов отопления. Для чугунных радиаторов предельное давление составляет 0,6 МПа, что

соответствует напору 60 метров.

На рис. 3 обозначена тепловая сеть, состоящая из бака подпиточной воды 1, подпиточного насоса 2, регулятора подпитки 3, сетевых насосов 4 и 6, пароводяного подогревателя 5, пикового пароводяного подогревателя 8 и зданий-абонентов I - VI. Также на рис. 3, на графике, в масштабе, указанном на оси ординат, изображен геодезический профиль теплосети с расположенными на нем зданиями, нанесены напоры в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети П и О, а также линии предельных напоров P_6 , P_m и O_6 , O_m , отсчитываемых от геометрической высоты верха зданий:

- P_6 - линия наибольшего напора в подающей линии сети, ограниченная сверху предельной прочностью трубопроводов теплоподготовительной установки, трубопроводов и арматуры тепловой сети $[\sigma] = 25, 16, 10$ МПа, что соответствует 250, 160 и 100 м. вод. ст.);
- P_m - линия наименьшего напора в подающей линии сети, ограниченная снизу возможностью вскипания воды при данной температуре (92 м. при температуре 130°C, 40 м. - при 150°C);
- O_6 - линия наибольшего напора в обратной линии сети, ограниченная сверху прочностью приборов отопления у абонентов (для чугунных радиаторов - $[\sigma] = 6$ МПа, что соответствует 60 м. вод. ст.),
- O_m - линия наименьшего напора в обратной линии сети, ограниченная снизу возможностью кавитации и подсоса воздуха (5 м).

Как видно из графика, пьезометрический график напора в подающем трубопроводе П располагается в промежутке между предельными линиями P_6 и P_m , а пьезометрический график напора в обратном трубопроводе О располагается в промежутке между предельными линиями O_6 и O_m .

Напор на выходе из теплоподготовительной установки составляет 160м, минимальный напор в обратной линии - 30 м. Потери напора в подающей и обратной линиях теплосети составляют 110 м. Располагаемый напор у последнего абонента VI составляет 20 м, что необходимо для присоединения элеваторного присоединения абонента. Для обеспечения принятого напора 160 м в выходном коллекторе источника теплоснабжения с учетом потерь напора в пиковом котле 30 м сетевой насос должен создавать напор 190 м, что превышает допустимый напор в теплофикационных теплообменниках. В связи с этим в системе последовательно установлены

два насоса. Предвключенный насос 4 развивает напор, обеспечивающий напор не вскипания воды, но не более 140 м по характеристикам насоса, включенный последовательно основной насос 6 повышает напор до 190 м, необходимых для преодоления гидравлического сопротивления теплоподготовительной установки.

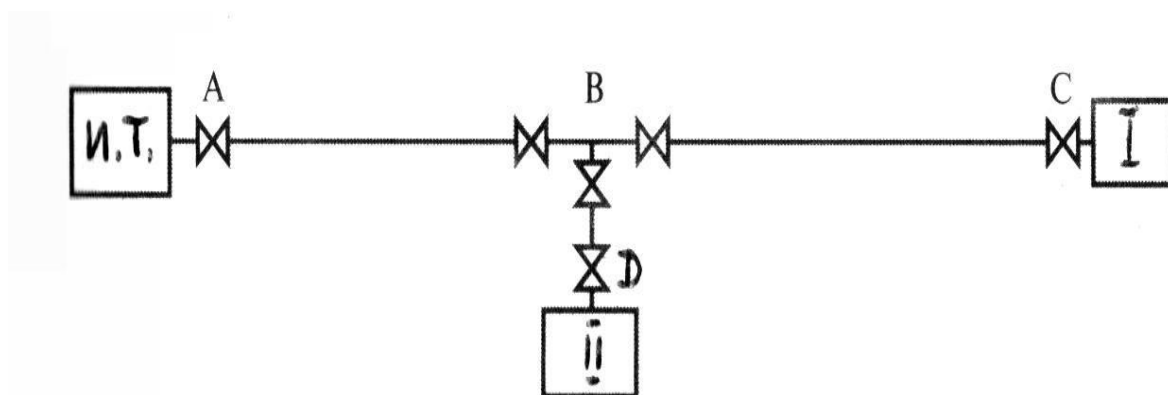
ЗАДАНИЕ:

Построить пьезометрический график напоров в тепловой сети. Геодезические высоты точек теплотрассы принять согласно своему варианту, прочие исходные данные принять из выполненных ранее заданий.

Вариант	Геодезические высоты (м)				Вариант	Геодезические высоты (м)				Вариант	Геодезические высоты (м)			
	z_A	z_B	z_C	z_D		z_A	z_B	z_C	z_D		z_A	z_B	z_C	z_D
1	0	10	15	20	11	0	5	10	15	21	0	15	20	5
2	0	15	20	25	12	0	10	15	20	22	0	20	25	10
3	0	20	25	30	13	0	15	20	25	23	0	25	30	15
4	0	25	30	35	14	0	20	25	30	24	0	30	35	20
5	0	30	35	35	15	0	25	30	35	25	0	35	30	5
6	0	35	30	30	15	0	30	35	30	26	0	30	20	10
7	0	30	25	20	17	0	30	30	25	27	0	25	25	15
8	0	25	20	15	18	0	20	25	20	28	0	20	30	20
9	0	20	15	10	19	0	15	20	15	29	0	15	35	5
10	0	15	10	5	20	0	10	15	10	30	0	10	30	10

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Схема тепловой сети:



Исходные данные для расчета:

1. Температурный режим сети 150-70°C (задан на занятии № 1).

2. Длины участков теплотрассы (заданы на занятии № 1):
 - $AB = 1300$ м.;
 - $AC = 1350$ м.;
 - $CD = 500$ м.
3. Максимальная высота зданий (заданы на занятии № 1):
 - в квартале I - 6 м.;
 - в квартале II - 27 м.
4. Геодезические высоты на местности:
 - на источнике теплоснабжения: $z_A = 0$;
 - на разветвлении теплотрассы: $z_B = 30$ м;
 - в квартале I: $z_C = 35$ м;
 - в квартале II: $z_D = 30$ м.
5. Потери напоров на участках теплотрассы (подсчитаны на занятии № 4):
 - $\Delta H_{AB} = 10,6$ м.;
 - $\Delta H_{BC} = 5,4$ м.;
 - $\Delta H_{BD} = 10,6$ м.
6. Располагаемые напоры в токах теплотрассы (подсчитаны на занятии № 4):
 - в точке C: $\Delta H = 25$ м.;
 - в точке D: $\Delta H = 26,4$ м.;
 - в точке B: $\Delta H = 30,4$ м.;
 - в точке A: $\Delta H = 41$ м.

Построение графика.

1. График вычерчиваем на тетрадном листе.
2. На расчетной схеме положение участка D условно повернем на 90 градусов и расположим на линии магистрали AC. Получим точку D'.
3. На оси абсцисс в масштабе отложим длины участков AB, BC и BD' (1300, 1350 и 500 м.).
4. На оси ординат отложим шкалу напоров от 0 до 250 м.
5. Построим на графике геодезическую линию земли. Высоту участков принимаем согласно заданию.
6. Нанесем на график высоты наиболее высоких зданий на участках (на участке C - девятиэтажное жилое здание (27 м.), на участке D - столовая высотой 6 м.).
7. Проведем нижнюю предельную линию напоров в обратной линии теплосети:
предельная линия проводится вдоль теплосети исходя из условия

теплосети: предельная линия проводится исходя из условия невоскипания воды. Напоры для этого составляют 92 метра в начале сети, в месте расположения теплоподготовительной установки, 40 метров выше нулевой геодезической отметки в местах пролегания теплотрассы; в местах расположения зданий - 40 метров выше самой высокой отметки здания.

10. Проведем верхнюю предельную линию напоров в подающей линии теплосети: предельная линия проводится исходя из прочности трубопроводов теплоподготовительной установки, трубопроводов и арматуры тепловой сети ($[\sigma] = 25,16,10 \text{ МПа}$). Напоры для этого составляют 250 метров в месте расположения теплоподготовительной установки, 16 метров выше геодезического уровня грунта в местах пролегания теплотрассы; 10 метров выше самой высокой отметки здания в местах расположения зданий.
11. Проведем линию напора в обратном трубопроводе теплосети:
12. Для этого найдем самую высоко расположенную точку нижней предельной линии напоров в обратной линии теплосети. В нашем случае эта точка $30\text{м.} + 27\text{м.} + 5\text{м.} = 62 \text{ м.}$ - минимальный напор 5 м. в обратном трубопроводе девятиэтажного дома высотой 27 м., построенного на участке D теплосети на геодезической отметке 30 м.
13. Принимаем точку D за исходную. Зная потери напора на участках теплосети AB, BC и BD
$$\Delta H_{AB} = 10,6 \text{ м.},$$
$$\Delta H_{BC} = 5,4 \text{ м.},$$
$$\Delta H_{BD} = 10,6 \text{ м.},$$
а также располагаемые напоры в точках A, B, C и D
$$\Delta H_C = 25 \text{ м.},$$
$$\Delta H_D = 26,4 \text{ м.};$$
$$\Delta H_B = 30,4 \text{ м.};$$
$$\Delta H_A = 41 \text{ м.},$$
- нанесем на график необходимые точки и построим линии П и О напоров в подающей и обратной линиях теплосети.

Полученные на графике линии пьезометрического графика напоров в прямой и обратной линии сети не должны выходить за линии предельных линий. В случае несоблюдения этого условия возникает необходимость усложнения конструкции сети и введения в нее гидравлических схем и элементов, устраняющие недостатки графика.

Контрольные вопросы.

1. Что такое геодезическая отметка на местности?
2. Как влияет геодезический профиль местности на работу тепловой сети?
3. Чем напор в трубопроводе отличается от давления?
4. Как определяется максимальный напор
5. на источнике тепла?
6. в подающем трубопроводе теплосети?
7. у потребителя тепла?
8. Как определяется минимальный напор
9. на источнике тепла?
10. в подающем трубопроводе теплосети?
11. у потребителя тепла?
12. Чем ограничен максимальный напор в подающей линии теплосети?
13. Чем ограничен максимальный напор в подающей линии теплосети?
14. Чем создается напор в подающей линии теплосети?
15. Чем создается напор в обратной линии теплосети?

ВЫБОР СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛА К ВНЕШНИМ СЕТЯМ ПО ГРАФИКУ НАПОРОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Схема подключения каждого потребителя тепловой сети должна обеспечить:

- заполняемость приборов отопления абонентов водой в динамическом режиме (при работающем сетевом насосе) и статическом режиме (при отключенном сетевом, но включенном подпиточном насосе);
- циркуляцию теплоносителя в системе отопления потребителя
- нормальную работу смесительного устройства;
- установку заданного уровня давлений в приборах отопления

Рассмотрим наиболее простые варианты подключения потребителей. На рис. 1 показан график напоров в теплосети, проложенный на участке со сложным геодезическим рельефом для обеспечения теплом потребителей разной этажности.

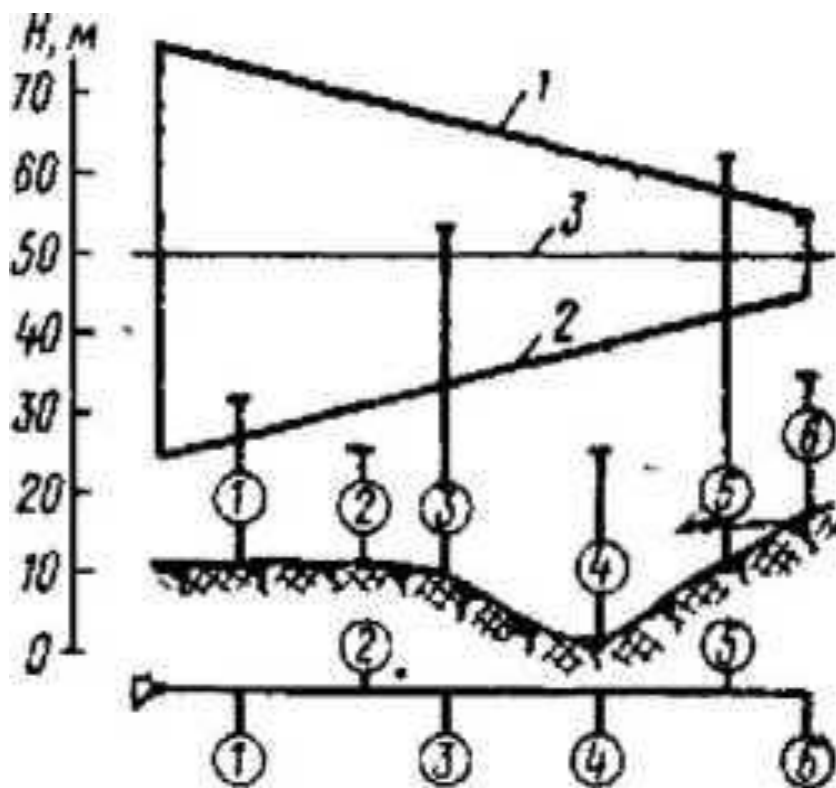
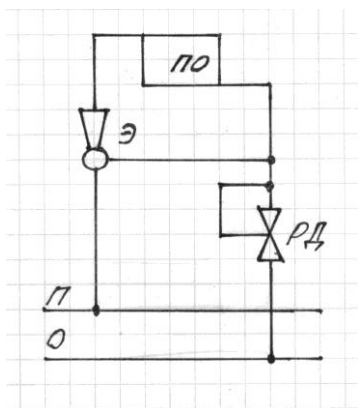


Рис. 1. Выбор схемы присоединения потребителей
1 - давление в подающей линии; 2- давление в обратной линии;
3 - статическое давление в системе.

ПОТРЕБИТЕЛЬ 1

Располагаемый напор у потребителя 1 составляет более 15 м., но при этом высота здания превышает линию напора в обратной магистральной, что не обеспечивает заполнение теплоносителем верхних этажей - вода из системы отопления в них уйдет в обратную линию теплосети.

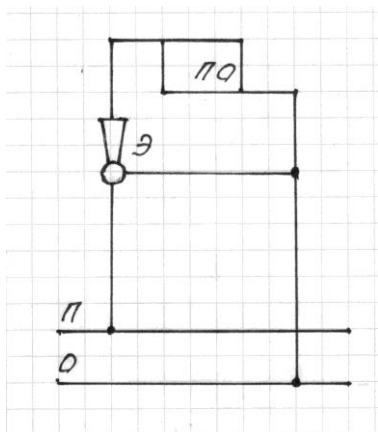
Потребитель должен присоединяться по схеме с элеваторным смешением, но требует установки регулятора давления РД на обратной трубе. Установка обратного клапана не требуется: потребитель имеет верхнюю отметку ниже линии статического напора в системе теплоснабжения. Регулятор давления представляет собой регулируемое гидравлическое сопротивление, превышающее по своей величине недостающий напор на обратной линии. Перепад, создаваемый РД, должен быть равен или больше разности между высотой отопительной установки и пьезометрическим напором в обратной линии:



$$\Delta H = H_{\text{ст}} - H_{\text{обр}} .$$

ПОТРЕБИТЕЛЬ 2

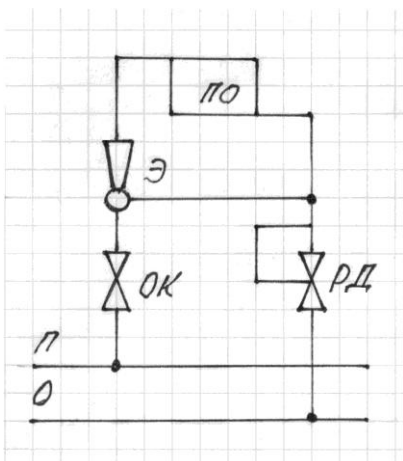
Потребитель 2 имеет располагаемый напор на вводе, достаточный для присоединения его по элеваторной схеме. Установка дополнительного оборудования - регулятора давления и обратного клапана не требуется, так как высота здания менее напора в обратной магистральной и статического напора в системе теплоснабжения.



ПОТРЕБИТЕЛЬ 3

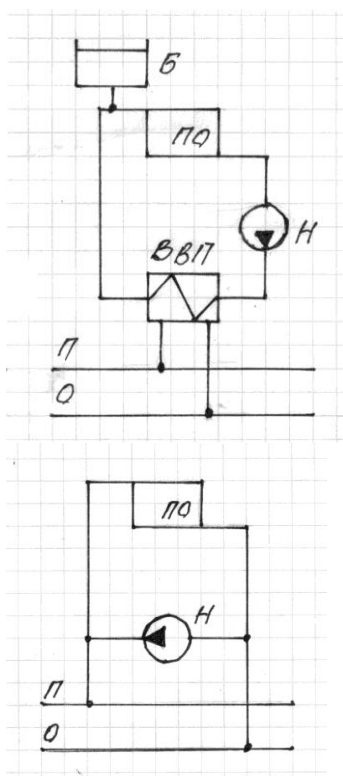
Потребитель 3 выходит за линию обратного и статического давления.

Располагаемый напор на вводе достаточен для получения расчетного коэффициента смешения, система отопления присоединяется к внешним сетям через элеватор. На обратной линии устанавливается регулятор давления, а на



подающей - обратный клапан. Регулятор давления обеспечивает заполнение системы отопления в динамическом режиме, при работающем сетевом насосе, обратный клапан устанавливается для предотвращения опорожнения системы в статическом режиме, при остановке сетевого насоса.

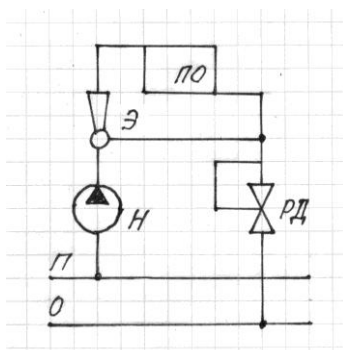
ПОТРЕБИТЕЛЬ 4



Потребитель 4 испытывает давление со стороны магистрали, недопустимое для местной системы отопления. Потребитель присоединяется по независимой схеме с насосом и подогревателем. При этом внешние сети и система отопления гидравлически между собой не связаны. В этом случае устанавливается расширительный бак.

Присоединение потребителя по независимой схеме (через подогреватель) также осуществляется, если в местной системе статическое давление слишком велико, вследствие чего недопустимо повышается общий уровень давления в тепловой сети. Последний случай встречается обычно при присоединении к тепловым сетям многоэтажных домов.

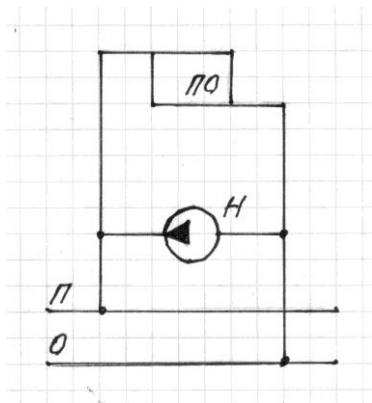
ПОТРЕБИТЕЛЬ 5



Верхние точки здания 5 на графике выходят за линию давления подающей магистрали. Это указывает, что давление подающей магистрали недостаточное. В этом случае следует устанавливать подкачивающий насос на подающей трубе и регулятор давления на обратной. Другим способом является присоединение потребителя по независимой схеме через подогреватель, но при этом повышается стоимость оборудования теплового пункта.

ПОТРЕБИТЕЛЬ 6

У конечного потребителя 6 недостаточный располагаемый напор (перепад давлений в прямом и обратном трубопроводе). Это часто бывает у потребителей, расположенных в конце тепловой сети. При этом также велико давление в обратной магистрали тепловой сети (при горизонтальном профиле трассы и особенно если она расположена с уклоном от источника

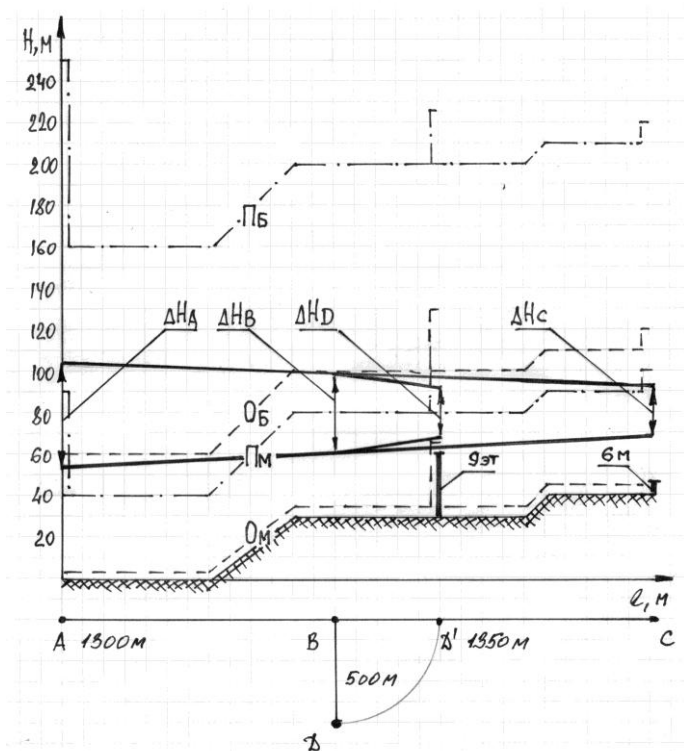


тепла). В этом случае предпочтительно применение схемы присоединения насоса на обратном трубопроводе. При расположении трассы с подъемом от источника тепла и нормальном давлении в обратной магистрали недостаточный напор может быть повышен путем установки насоса на перемычке.

ЗАДАНИЕ

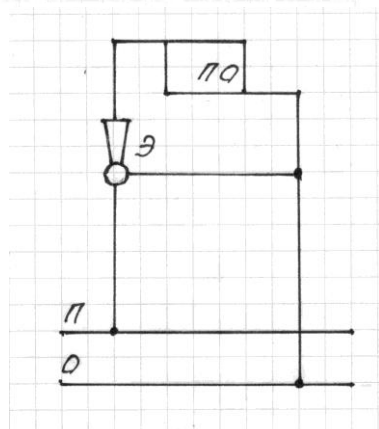
Выбрать схему присоединения абонентов тепловой сети. Исходные данные принять согласно выполненным ранее заданиям.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ



Согласно построенному ранее пьезометрическому графику:

- напоры в подающей и обратной линиях тепловой сети не выходят за пределы предельно разрешенных значений (располагаются в диапазоне между наибольшими и наименьшими значениями напоров)
- располагаемый напор у абонентов превышает 25 м.



На основании этого принимаем для всех абонентов наиболее простую, дешевую и распространенную **ЗАВИСИМУЮ СХЕМУ ПРИСОЕДИНЕНИЯ С ЭЛЕВАТОРНЫМ СМЕШЕНИЕМ.**

Контрольные вопросы:

Что следует предпринимать, если:

1. Напор в подающей линии теплосети перед абонентом превышает 100 м.?
2. Располагаемый напор у абонента составляет 6 м.?
3. Верхняя отметка здания располагается выше линии напоров обратной линии теплосети на графике?
4. Верхняя отметка здания располагается выше линии напоров подающей линии теплосети на графике?
5. Здание имеет высоту более 100 метров?
6. Здание располагается на местности с геодезической отметкой 121 м?
7. Потери напора в теплосети превышают 100 м в подающей линии?
8. Избыточное давление в подающей линии теплосети составит 3,5 МПа?

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В системах централизованного теплоснабжения при транспортировке теплоносителя возможны потери тепла в окружающую среду. Чтобы их снизить, важно при проектировании тепловых сетей правильно подобрать теплоизолирующий материал с требуемой толщиной изолирующего слоя. Расчетные характеристики теплоизоляционных материалов следует принимать по приложению 1.

Расчет теплоизоляции может производиться по различным методикам. В данном занятии изучается методика расчета по нормированной плотности теплового потока.

Толщина теплоизоляционного слоя равна:

$$\delta = \frac{d_{\text{вн}}}{2} (B - 1), \text{ м};$$

где:

$d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр трубопровода;

B — отношение наружного диаметра теплоизоляционного слоя к наружному диаметру изолируемого трубопровода;

$$B = e^{\ln B};$$

$$\ln B = 2 \cdot \pi \cdot \lambda \left[r_{\text{tot}} - r_{\text{м}} - \frac{1}{\alpha \cdot \pi (d_{\text{вн}} + 0,1)} \right];$$

здесь:

e — основание натурального логарифма;

α — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$, принимается по приложению 2.

λ — теплопроводность теплоизоляционного слоя, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$, принимается по приложению 1;

r_m — термическое сопротивление стенки трубопровода;

для металлических труб принимают $r_m = 0$,

для неметаллических труб вычисляют по формуле:

$$r_m = \frac{\ln \frac{d_n}{d_{вн}}}{2\pi\lambda_m};$$

где:

d_n — наружный диаметр трубы, м;

$d_{вн}$ — наружный диаметр трубы, м;

λ_m — теплопроводность материала трубы, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

для определения λ_m потребно значение средней температуры слоя теплоизоляции t_m :

- на открытом воздухе зимой (при наземной прокладке):

$$t_m = \frac{t_w}{2}, ^\circ\text{C};$$

- в каналах, тоннелях, подвалах, чердаках:

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2}, ^\circ\text{C};$$

где:

t_w — среднегодовая температура теплоносителя, принимается по приложению 3.

r_{tot} — сопротивление теплопередачи на один метр теплоизоляционной конструкции на участках тепловой сети,

$$r_{\text{tot}} = \frac{t_w - t_e}{q_e \cdot k_1}, \frac{\text{м} \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

где:

t_w — среднегодовая температура теплоносителя;

t_e – расчетная температура окружающей среды. Для наружной прокладки трубопроводов t_e принимается равной средней температуре воздуха за отопительный период (из приложения 1 к практическому занятию 1), для прокладки в туннелях $t_e = +40^\circ\text{C}$, для канальной или бесканальной прокладке – среднегодовой температуре грунта на глубине заложения трубопровода (обычно $+5^\circ\text{C}$).

q_e – нормированная линейная плотность теплового потока с одного метра длины трубопровода, принимается по приложению 4 в зависимости от продолжительности работы теплотрассы в год;

k_1 – коэффициент района строительства, принимается по приложению 5.

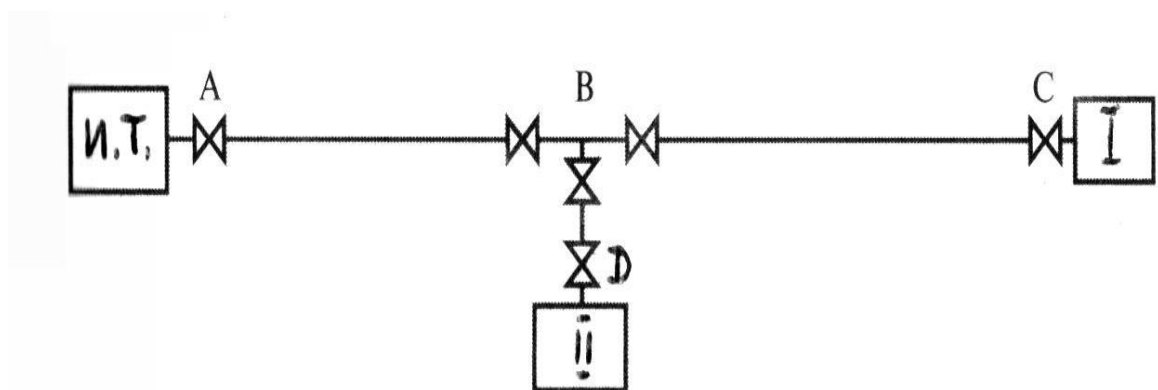
После выполнения расчета по приложению 6 выбирается стандартное значение толщины слоя теплоизоляции (ближайшее большее).

ЗАДАНИЕ

Выбрать материал тепловой изоляции и определить толщину слоя тепловой изоляции для тепловой сети. Исходные данные сети принять из выполненных ранее занятий согласно своему варианту.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Схема тепловой сети:



Исходные данные для расчета:

1. Тепловая сеть расположена в г. Москве.
2. По трубопроводам транспортируется сетевая вода на нужды отопления и горячего водоснабжения по температурному графику $150 - 70^\circ\text{C}$;

3. Трубопроводы выполнены из стальных труб и имеют следующие размеры:

Участок	Диаметр трубопровода, мм		
	наружный d_n	внутренний $d_{вн}$	условный проход d_y
AB	133	125	125
BC	108	100	100
CD	108	100	100

4. Прокладка трубопроводов - наземная.

5. Заданный материал изоляции с характеристиками принимаем по приложению 2:

Изделие, ГОСТ	Средняя плотность в конструкции, кг/м^3 $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Тепло- проводность тепло- изоляционного материала в конструкции $\lambda_k, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$	Температура применения, $t, ^\circ\text{C}$	Группа горючести
Вата минераловатная прошивная ГОСТ 21880-86 марки 125	132-162	$0,049 + 0,0002 t_m$	-180 до +450	Негорючее

Выполнение расчета:

1. По приложению 3 выбираем температуру теплоносителя для расчета теплоизоляции:

в подающем трубопроводе:

$$t_w^{\text{под}} = 90^\circ\text{C};$$

в обратном трубопроводе:

$$t_w^{\text{обр}} = 50^\circ\text{C}.$$

2. Температура окружающей среды для расчета теплоизоляции принимается равной средней температуре наружного воздуха за отопительный период, для г. Москвы:

$$t_e = -3,1^{\circ}\text{C}.$$

3. Подсчитываем среднюю температуру слоя теплоизоляции:

$$t_m = \frac{t_w}{2};$$

в подающем трубопроводе:

$$t_m^{\text{под}} = \frac{90}{2} = 45^{\circ}\text{C};$$

в обратном трубопроводе:

$$t_m^{\text{обр}} = \frac{50}{2} = 25^{\circ}\text{C};$$

4. Продолжительность отопительного периода в г. Москве:

$$n_o = 214 \text{ дней};$$

число часов отопительного периода в г. Москве:

$$n_{\text{год}} = n_o \cdot 24 = 214 \cdot 24 = 5136 \text{ час.}$$

5. По приложению 4 выбираем при $n_{\text{год}} > 5000$ час. значение нормы плотности теплового потока:

На участке АВ, при $d_y=125$ мм:

$$q_e^{\text{AB}} = 53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}};$$

на участках ВС, ВD, при $d_y=100$ мм:

$$q_e^{\text{BC}} = q_e^{\text{BD}} = 47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}.$$

5. По приложению 5 выбираем значение коэффициента района строительства:

$$k_1=1.$$

6. Подсчитываем сопротивление теплопередачи на один метр теплоизоляционной конструкции на участках тепловой сети:

$$r_{\text{tot}} = \frac{t_w - t_e}{q_e \cdot k_1}.$$

на участке АВ:

в подающем трубопроводе -

$$r_{\text{tot}}^{\text{под АВ}} = \frac{90 - 3,1}{53 \cdot 1} = 1,64 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} ;$$

в обратном трубопроводе -

$$r_{\text{tot}}^{\text{обп АВ}} = \frac{50 - 3,1}{53 \cdot 1} = 0,88 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} ;$$

на участках ВС, ВD:

в подающем трубопроводе -

$$r_{\text{tot}}^{\text{под ВС}} = r_{\text{tot}}^{\text{под ВD}} = \frac{90 - 3,1}{47 \cdot 1} = 1,85 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} ;$$

в подающем трубопроводе -

$$r_{\text{tot}}^{\text{обп ВС}} = r_{\text{tot}}^{\text{обп ВD}} = \frac{50 - 3,1}{47 \cdot 1} = 1 \frac{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} .$$

7. Определяем теплопроводность теплоизоляционного слоя:

$$\lambda = 0,042 + 0,0002 \cdot t_m, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} ;$$

в подающем трубопроводе -

$$\lambda^{\text{под}} = 0,042 + 0,0002 \cdot 45 = 0,051 ;$$

в обратном трубопроводе -

$$\lambda^{\text{обп}} = 0,042 + 0,0002 \cdot 25 = 0,047 .$$

8. Значение коэффициента теплопередачи принимаем по приложению 2:

$$\alpha = 10 .$$

9. Для металлических труб принимается $r_m = 0$.

10. Определяем отношение наружного диаметра теплоизоляционного слоя к наружному диаметру трубопровода В:

$$\ln B = 2 \cdot \pi \cdot \lambda \left[r_{\text{tot}} - r_m - \frac{1}{\alpha \cdot \pi (d_{\text{вн}} + 0,1)} \right] ;$$

$$B = e^{\ln B}.$$

На участке АВ:

в подающем трубопроводе -

$$\begin{aligned} \ln B^{\text{под АВ}} &= 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{под}} \left[r_{\text{tot}}^{\text{под АВ}} - r_m - \frac{1}{\alpha \cdot \pi (d_{\text{вн}} + 0,1)} \right] = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,051 \left[1,64 - 0 - \frac{1}{10 \cdot 3,14 (0,125 + 0,1)} \right] = 0,48; \end{aligned}$$

$$B^{\text{под АВ}} = e^{0,48} = 1,61;$$

в обратном трубопроводе -

$$\begin{aligned} \ln B^{\text{обр АВ}} &= 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{обр}} \left[r_{\text{tot}}^{\text{обр АВ}} - r_m - \frac{1}{\alpha \cdot \pi (d_{\text{вн}} + 0,1)} \right] = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,048 \left[0,8 - 0 - \frac{1}{10 \cdot 3,14 (0,125 + 0,1)} \right] = 0,2; \end{aligned}$$

$$B^{\text{обр АВ}} = e^{0,2} = 1,22;$$

на участках ВС, ВD:

в подающем трубопроводе -

$$\begin{aligned} \ln B^{\text{под ВС}} &= \ln B^{\text{под ВD}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,051 \left[1,85 - 0 - \frac{1}{10 \cdot 3,14 (0,1 + 0,1)} \right] \\ &= 0,54; \end{aligned}$$

$$B^{\text{под ВС}} = B^{\text{под ВD}} = e^{0,54} = 1,71;$$

в обратном трубопроводе -

$$\begin{aligned} \ln B^{\text{обр ВС}} &= \ln B^{\text{обр ВD}} = \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,047 \left[1 - 0 - \frac{1}{10 \cdot 3,14 (0,1 + 0,1)} \right] = 0,25; \end{aligned}$$

$$B^{\text{обр ВС}} = B^{\text{обр ВD}} = e^{0,25} = 1,28;$$

11. Определяем толщину слоя теплоизоляции

$$\delta = \frac{d_{\text{вн}}}{2} (B - 1).$$

На участке АВ:

в подающем трубопроводе -

$$\delta_{\text{под АВ}} = \frac{0,133}{2} (1,61 - 1) = 0,041 \text{ м} = 41 \text{ мм} .$$

в обратном трубопроводе -

$$\delta_{\text{обр АВ}} = \frac{0,133}{2} (1,22 - 1) = 0,015 \text{ м} = 15 \text{ мм} .$$

на участках ВС, ВD:

в подающем трубопроводе -

$$\delta_{\text{под ВС}} = \delta_{\text{под ВD}} = \frac{0,108}{2} (1,78 - 1) = 0,042 \text{ м} = 42 \text{ мм} .$$

в обратном трубопроводе -

$$\delta_{\text{обр ВС}} = \delta_{\text{обр ВD}} = \frac{0,108}{2} (1,28 - 1) = 0,015 \text{ м} = 15 \text{ мм} .$$

12. По приложению 6 принимаем стандартную толщину слоя теплоизоляции в прямом и обратном трубопроводе на всех участках тепловой сети 40 мм.

Контрольные вопросы.

1. Для чего производится расчет теплоизоляции?
2. Из чего выполняется теплоизоляция тепловых сетей?
3. Что такое теплопроводность?
4. Что такое теплопередача?
5. На кого возложена оплата расходов на потери тепла в теплопроводах?

Приложение 1

Расчетные технические характеристики теплоизоляционных материалов и изделий (с. 9 СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов)

Материал, изделие, ГОСТ или ТУ	Средняя плотность в конструкции, кг/м ³	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции λ_k , Вт/(м·°C)		Температура применения, °C	Группа горючести
		для поверхностей с температурой, °C			
		20 и выше	19 и ниже		
Изделия из пенопласта ФПП-1 и резопена, ГОСТ 22546-77, группы: 75 100	65-85 86-110	0,041+0,00023 t_m 0,043+0,00019 t_m	0,051-0,045 0,057-0,051	от -180 до 130 от -180 до 150	Трудно- горючие
Изделия перлитцементные, ГОСТ 18109-80, марки: 250 300 350	250 300 350	0,07+0,00019 t_m 0,076+0,00019 t_m 0,081+0,00019 t_m	- - -	От 20 до 600	Негорючие
Изделия теплоизоляционные известково-кремнеземистые, ГОСТ 24748-81, марки: 200 225	200 225	0,069+0,00015 t_m 0,078+0,00015 t_m	- -	От 20 до 600	Негорючие
Изделия минераловатные с гофрированной структурой для промышленной тепловой изоляции, ТУ 36.16.22-8-86, марки: 75 100	В зависимости от диаметра изолируемой поверхности от 66 до 98 от 84 до 130	0,041+0,00034 t_m 0,042+0,0003 t_m	0,054-0,05	От -60 до 400	Негорючие
Изделия теплоизоляционные вулканитовые, ГОСТ 10179-74, марки: 300 350 400	300 350 400	0,074+0,00015 t_m 0,079+0,00015 t_m 0,084+0,00015 t_m	- - -	От 20 до 600	Негорючие
Маты звукопоглощающие базальтовые марки БЗМ, РСТ СССР 1977-87	до 80	0,04+0,0003 t_m	-	От -180 до 450 в оболочке из стеклянной ткани; до 700 - в оболоч- ке из кремнезем- ной ткани	Негорючие
Маты минераловатные прошивные, ГОСТ 21880-86, марки: 100 125	102-132 133-162	0,045+0,00021 t_m 0,049+0,0002 t_m	0,059-0,054	От -180 до 450 для матов на ткани, сетке, холсте из стекловолокна; до 700 - на метал- лической сетке	Негорючие
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем, ГОСТ 10499-78, марки: МС-35 МС-50	40-56 58-80	0,04+0,0003 t_m 0,042+0,00028 t_m	0,048 0,047	От -60 до 180	Негорючие
Маты и вата из супертонкого стеклянного волокна без связующего, ТУ 21 РСФСР 224-87	60-80	0,033+0,00014 t_m	0,044-0,037	От -180 до 400	Негорючие
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем, ГОСТ 9573-82, марки: 50 75 125 175	55-75 75-115 90-150 150-210	0,04+0,00029 t_m 0,043+0,00022 t_m 0,044+0,00021 t_m 0,052+0,0002 t_m	0,054-0,05 0,054-0,05 0,057-0,051 0,06-0,054	От -60 до 400 От -180 до 400	Негорючие

Продолжение приложения 1

Материал, изделие, ГОСТ или ТУ	Средняя плотность в конструкции, кг/м ³	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции λ_k , Вт/(м·°С)		Температура применения, °С	Группа горючести
		для поверхностей с температурой, °С			
		20 и выше	19 и ниже		
Плиты из стеклянного штапельного волокна полужесткие, технические, ГОСТ 10499-78, марки: ППТ-50 ППТ-75	42-58 59-86	0,042+0,00035 t_m 0,044+0,00023 t_m	0,053	От -60 до 180	Трудно- горючие
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на битумном связующем, ГОСТ 10140-80, марки: 75 100 150 200	75-115 90-120 121-180 151-200	— — — —	0,054-0,057 0,054-0,057 0,058-0,062 0,061-0,066	От -100 до 60	Марки 75 — горючие; остальные — негорючие
Плиты теплоизоляционные из пенопласта на основе резоль- ных фенолформальдегидных смол, ГОСТ 20916-87, марки: 50 80 90	Не более 50 Св. 70 до 80 Св. 80 до 100	0,040+0,00022 t_m 0,042+0,00023 t_m 0,043+0,00019 t_m	0,049-0,042 0,051-0,045 0,057-0,051	От -180 до 130	Трудно- горючие
Полотна холстопрощивные стекловолокнистые, ТУ 6-48-0209777-1-88, марки: ХПС-Т-5 ХПС-Т-2,5	180-320 130-230	0,047+0,00023 t_m	0,053-0,0047	От -200 до 550	Негорючие
Песок перлитовый вспученный мелкий ГОСТ 10832-83, марки: 75 100 150	110 150 225	0,052+0,00012 t_m 0,055+0,00012 t_m 0,058+0,00012 t_m	0,05-0,042 0,054-0,047 —	От -200 до 875	Негорючий
Полуцилиндры и цилиндры минераловатные на синтетическом связующем, ГОСТ 23208-83, марки: 100 150 200	75-125 126-175 176-225	0,049+0,00021 t_m 0,051+0,0002 t_m 0,053+0,00019 t_m	0,047-0,053 0,054-0,059 0,062-0,057	От -180 до 400	Негорючие
Плиты пенополистирольные ГОСТ 15588-86, марка: 20 25 30, 40	20 25 30, 40	— — —	0,048-0,04 0,044-0,035 0,042-0,032	От -180 до 70	Горючие
Пенопласт плиточный, ТУ 6-05-1178-87, марки: ПС-4-40 ПС-4-60 ПС-4-65	40 60 65	— — —	0,041-0,032 0,048-0,039 0,048-0,039	От -180 до 60	Горючий
Пенопласт плиточный ПХВ, ТУ 6-05-1179-83, марки: ПХВ-1-85 ПХВ-1-115 ПХВ-2-150	85 115 150	— — —	0,04-0,03 0,043-0,032 0,047-0,036	От -180 до 60	Горючий
Пенопласт плиточный марки ПВ-1, ТУ 6-05-1158-87	65, 95	—	0,043-0,032	От -180 до 60	Горючий
Пенопласт поливинилхлорид- ный эластичный ПВХ-Э, ТУ 6-05-1269-75	150	—	0,05-0,04	От -180 до 60	Горючий

Продолжение приложения 1

Материал, изделие, ГОСТ или ТУ	Средняя плотность в конструк- ции кг/м ³	Теплопроводность тепло- изоляционного материала в конструкции λ_k , Вт/(м·°C) для поверхностей с температурой, °C		Температура применения, °C	Группа горючести
		20 и выше	19 и ниже		
Пенопласт термореактивный ФК-20 и ФФ, жесткий, ТУ 6-05-1303-76, марки: ФК-20 ФФ	170, 200 170, 200	— —	0,055-0,052 0,055-0,052	От 0 до 120 От -60 до 150	Горючий Трудногорючий
Пенополиуретан ППУ-331/3 (заливочный)	40-60 60-80	— —	0,036-0,031 0,037-0,032	От -180 до 120	Горючий
Пенопласт полиуретановый эластичный ППУ-ЭТ, ТУ 6-05-1734-75	40-50	—	0,043-0,038	От -60 до 100	Горючий
Полотно теплопробивное стеклянное теплоизоляцион- ное марки ИПС-Т-1000, ТУ 6-11-570-83	140	0,047+0,00023 t_m	0,053-0,047	От -200 до 550	Негорючее
Ровинг (жгут) из стеклянных комплексных нитей, ГОСТ 17139-79	200-250	—	0,065-0,062	От -180 до 450	Негорючий
Шнур асбестовый, ГОСТ 1779-83, марки: ШАП ШАОН	100-160 750-600	0,093+0,0002 t_m 0,13+0,00026 t_m	— —	От 20 до 220 От 20 до 400	Трудногорючий Негорючий
Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты, ТУ 36-1695-79, марки: 200 250	200 250	0,056+0,00019 t_m 0,058+0,00019 t_m	0,069-0,068 —	От -180 до 600 в зависимости от материала сетчатой трубки	В сетчатых трубках из металлической проволоки и нити стеклянной — негорючий; остальной — трудногорючий
Холсты из микро-ультра- супертонкого стекломикро- кристаллического штапель- ного волокна из горных пород, РСТ УССР 1970-86, марка БСТВ-ст	До 80	0,041+0,00029 t_m	0,04	От -269 до 600	Негорючие

Приложение 2

Расчетные коэффициенты теплоотдачи α_e

Температура изолируемой поверхности, °С	Изолируемая поверхность	Вид расчета изоляции	Коэффициент теплоотдачи α_e , Вт/(м ² ·°С), при расположении изолируемых поверхностей			
			в помещениях, туннелях		на открытом воздухе	
			для покровных слоев с коэффициентом излучения C		для покровных слоев с коэффициентом излучения C	
			малым	высоким	малым	высоким
Выше 20	Плоская поверхность, оборудование, вертикальные трубопроводы	По заданной температуре на поверхности покровного слоя	6	11	6	11
		Остальные виды расчетов	7	12	35	35
	Горизонтальные трубопроводы	По заданной температуре на поверхности покровного слоя	6	10	6	10
		Остальные виды расчетов	6	11	29	29
19 и ниже	Все виды изолируемых объектов	Предотвращение конденсации влаги из окружающего воздуха на поверхности покровного слоя	5	7	—	—
		Остальные виды расчетов	6	11	29	29

Примечания. 1. Для трубопроводов, прокладываемых в каналах, коэффициент теплоотдачи $\alpha_e = 8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$.

2. К покровным слоям с малым коэффициентом излучения C относятся покрытия с $C \leq 2,33 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ и менее, в том числе из тонколистовой оцинкованной стали, листов из алюминия и алюминиевых сплавов, а также других материалов, окрашенных алюминиевой краской. К покрытиям с высоким коэффициентом излучения относятся покрытия с $C > 2,33 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$, в том числе стеклопластики и прочие материалы на основе синтетических и природных полимеров, асбестоцементные листы, штукатурки, покровные слои, окрашенные различными красками, кроме алюминиевой.

3. Коэффициент теплоотдачи от воздуха в канале к стенке канала допускается принимать равным $8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$.

Приложение 3

Выбор температуры вещества (теплоносителя) t_w

Температура для расчета толщины слоя изоляции t_w принимается в зависимости от вида теплоносителя из следующих условий:

1. Для водяных тепловых сетей – средняя за год или средняя за отопительный период, если сеть работает только в течение отопительного периода.

Для графика температур в расчетном режиме 95/70 °С среднегодовые температуры воды будут равны:

- в подающей линии 65 °С;
- в обратной линии 50 °С.

Для графика температур в расчетном режиме 150/70 °С среднегодовые температуры воды будут равны:

- в подающей линии 90 °С;
- в обратной линии 50 °С.

Для графика температур в расчетном режиме 180/70 °С среднегодовые температуры воды будут равны:

- в подающей линии 110 °С;
- в обратной линии 50 °С.

2. Для паровых тепловых сетей – средняя по длине паропровода максимальная температура пара.

3. Для конденсатных сетей – максимальная температура конденсата в сети.

4. Для сетей горячего водоснабжения – максимальная температура воды в сети.

Нормы плотности теплового потока для трубопроводов двухтрубных тепловых сетей при подземной канальной прокладке и продолжительности работы в год более 5000 ч

Условный проход трубопровода, мм	Среднегодовая температура теплоносителя (подающий/обратный), °C		
	65/50	90/50 ✓	110/50
Суммарная линейная плотность теплового потока, Вт/м			
25	19	24	28
32	21	26	30
40	22	28	32
50	25	30	35
65	29	35	40
80	31	37	43
100	34	40	46
125	39	46	52
150	42	50	57
200	52	61	70
250	60	71	80
300	67	79	90
350	75	88	99
400	81	96	108
450	89	104	117
500	96	113	127
600	111	129	145
700	123	144	160
800	137	160	177
900	151	176	197
1000	166	192	212
1200	195	225	250
1400	221	256	283

Нормы плотности теплового потока для трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной канальной прокладке и продолжительности работы в год 5000 ч и менее

Условный проход трубопровода, мм	Среднегодовая температура теплоносителя (подающий/обратный), °C		
	65/50 ✓	90/50	110/50
Суммарная линейная плотность теплового потока, Вт/м			
25	21	26	31
32	24	29	33
40	25	31	35
50	29	34	39
65	32	39	45
80	35	42	48
100	39	47	53
125	44	53	60
150	49	59	66
200	60	71	81
250	71	83	94
300	81	94	105
350	89	105	118
400	98	115	128
450	107	125	140
500	118	137	152
600	134	156	174
700	151	175	194
800	168	195	216
900	186	216	239
1000	203	234	261
1200	239	277	305
1400	273	316	349

Приложение 5

Коэффициент k_1 , учитывающий изменение стоимости теплоты и теплоизоляционной конструкции в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования)

Район строительства	Способ прокладки трубопровода и месторасположение оборудования				Район строительства	Способ прокладки трубопровода и месторасположение оборудования			
	на открытом воздухе	в помещении, туннеле	в непроходном канале	бесканальный		на открытом воздухе	в помещении, туннеле	в непроходном канале	бесканальный
Европейская часть России	1,0	1,0	1,0	1,0	Западная Сибирь	1,03	1,05	1,03	1,02
Урал	1,02	1,03	1,03	1,0	Восточная Сибирь	1,07	1,09	1,07	1,03
Казахстан	1,04	1,06	1,04	1,02	Дальний Восток	0,88	0,9	0,8	0,96
Средняя Азия	1,04	1,04	1,02	1,02	Районы Крайнего Севера и приравненные к ним	0,9	0,93	0,85	—

Приложение 6

Толщины промышленных (полнооборных и комплектных) теплоизоляционных конструкций

Толщина основного слоя, мм				Толщина основного слоя, мм			
расчетная по условию п. 6.1 [5]	принимаемая	расчетная по условиям пп. 6.2–6.8 [5]	принимаемая	расчетная по условию п. 6.1 [5]	принимаемая	расчетная по условиям пп. 6.2–6.8 [5]	принимаемая
40–45	40	до 40	40	106–125	120	101–120	120
46–65	60	41–60	60	126–150	140	121–140	140
66–85	80	61–80	80	151–175	160	141–160	160
86–105	100	81–100	100	176–200	180	161–180	180