МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тульский государственный университет»

Кафедра «Санитарно-технические системы»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ
по дисциплине
Теплоснабжение

«Теплоснабжение района города»

Направление подготовки: *270800 – "Строительство"*

Профиль подготовки: " *Теплогазоснабжение и вентиляция* "
Квалификация выпускника: *бакалавр*

Тула –2012 г

Содержание

1. Цели и задачи курсового проекта 3
2. Основные требования к курсовому проекту 3
   2.1. Тематика курсового проекта 3
   2.2. Исходные данные к курсовому проекту 3
   2.3. Объем курсового проекта 3
   2.4. Защита курсового проекта 4
3. Методические указания по выполнению курсового проекта 4
   3.1.Определение расчетных расходов теплоты 4
   3.2.Построение графика продолжительности тепловой нагрузки 7
   3.3. Расчет и построение графиков регулирования отпуска теплоты 8
      3.3.1. Центральное регулирование разнородной нагрузки закрытых систем по отопительной нагрузке 9
      3.3.2. Центральное регулирование разнородной нагрузки закрытых систем по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения .. 15
      3.3.3.Центральное регулирование открытых систем по отопительной нагрузке 17
      3.3.4 Центральное регулирование открытых систем по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения 19
   3.4.Построение графиков суммарного расхода воды в тепловыхсетях 20
   3.5. Определение расходов сетевой воды 21
   3.6. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей 23
   3.7. Гидравлические режимы водяных тепловых сетей 24
   3.8. Подбор сетевых и подпиточных насосов 26
   3.9. Конструирование тепловой сети 28
      3.9.1. Разработка монтажнойсхемы теплопроводов 28
      3.9.2. Выбор способа прокладки 29
      3.9.3. Выбор способа компенсации температурных деформаций 30
      3.9.4. Механический расчет теплопроводов 30
      3.9.5. Тепловой расчет теплопроводов 30
      3.9.6. Компоновка элементов оборудования 33
4. Литература 34
5. Приложения 35

1. Цели и задачи курсового проекта

Курсовой проект выполняется с целью закрепления знаний по дисциплине «Теплоснабжение» и развития навыков самостоятельного проектирования системы теплоснабжения района города.

Задачами курсового проекта являются:

- практическое овладение методикой проектирования систем теплоснабжения населенных пунктов;
- анализ вариантов схематических решений прокладки тепловых сетей и выбор оптимального решения;
- получение элементарных навыков конструкторского проектирования систем теплоснабжения;
- освоение методов расчета различных видов теплового потребления;
- изучение способов регулирования отпуска теплоты;
- выполнение гидравлических расчетов трубопроводов тепловых сетей, теплового и механического расчетов теплопроводов;
- приобретение практических навыков оформления и выпуска конструкторской документации в соответствии с ГОСТ.

Для решения перечисленных задач необходимо знание не только курса «Теплоснабжение», но и ряда смежных дисциплин, изучаемых в 1-7 семестрах, а также умение пользоваться действующими нормативными документами и справочной литературой [1-16]

2. Основные требования к курсовому проекту

2.1. Тематика курсового проекта

В соответствии с вариантом задания необходимо запроектировать систему теплоснабжения района города. Основное внимание должно быть уделено выбору оптимального варианта схемы тепловой сети, обоснованному способу регулирования отпуска теплоты потребителю, технологии выполнения гидравлических расчетов трубопроводов тепловых сетей, методике теплового и механического расчетов теплопроводов, изложенной в действующих нормативных документах.

2.2. Исходные данные к курсовому проекту

Исходные данные для выполнения курсового проекта содержатся в задании на курсовое проектирование.

2.3. Объем курсового проекта

Проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Графическая часть работы выполняется на одном листе формата А1 и должна содержать:

1) генплан и принципиальную схему системы теплоснабжения;
2) монтажную схему теплопроводов;
3) пьезометрический график при расчетном режиме;
4) компоновку сечения канала или бесканальной прокладки;
5) компоновку тепловой камеры;
6) компоновку компенсаторной ниши;
7) конструкцию изоляции;

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

1) определение расчетных расходов теплоты;
2) построение графика продолжительности тепловой нагрузки;
3) расчет и построение графиков регулирования отпуска тепла;
4) построение графика суммарного расхода воды в тепловых сетях;
5) определение расходов сетевой воды;
6) гидравлический расчет водяных тепловых сетей;
7) подбор сетевых и подпиточных насосов;
8) конструирование тепловой сети (выбор трассы, размещение основного оборудования, обоснование способа прокладки, компоновка элементов оборудования);
9) механический расчет теплопроводов;
10) тепловой расчет теплопроводов.

2.4. Защита курсового проекта

Курсовой проект подписывается руководителем к защите, если его объем и содержание соответствуют настоящим указаниям. После этого проект отдается на рецензирование одному из преподавателей кафедры.

Защита курсового проекта студентом производится в назначенные сроки перед комиссией. В процессе защиты студент должен кратко доложить результаты каждого из этапов выполненного им проекта и ответить на вопросы членов комиссии. Оценка курсового проекта производится в соответствии с уровнем знаний, выявленным в процессе защиты и качеством выполненной работы.

В случае неудовлетворительной оценки студенту выдается новое задание на проектирование.

3. Методические указания по выполнению курсового проекта

3.1.Определение расчетных расходов теплоты

Тепловые нагрузки потребителей определяются по укрупненным показателям. Расчетные расходы тепла на отопление жилых и общественных зданий определяются по формулам:

$$Q'_{o(ж)} = q_o F\,; Q'_{o(o)} = kQ'_{o(ж)}\,, \qquad (1)$$

где $Q'_{o(ж)}, Q'_{o(o)}$ – расчетные расходы тепла на отопление соответственно жилых и общественных зданий, кВт;

q_o – удельный расчетный расход тепла на отопление, определяемый по рис.1 или по прил.4 в зависимости от температуры наружноговоздуха для проектирования отопления;

F–общая площадь в районе города, м;

k–коэффициент расхода тепла на отопление общественных зданий, принимаемый равным 0,25.

Жилая площадь в районе определяется по формуле

$$F = mf \qquad (2)$$

где m–число жителей;

f– норма общей площади на человека, принимаемый12...15 м^2/чел.

Расчетный расход тепла на отопление промышленных зданий определяется по данным проектной документации, а при их отсутствии – по укрупненным ведомственным нормам расхода тепла.

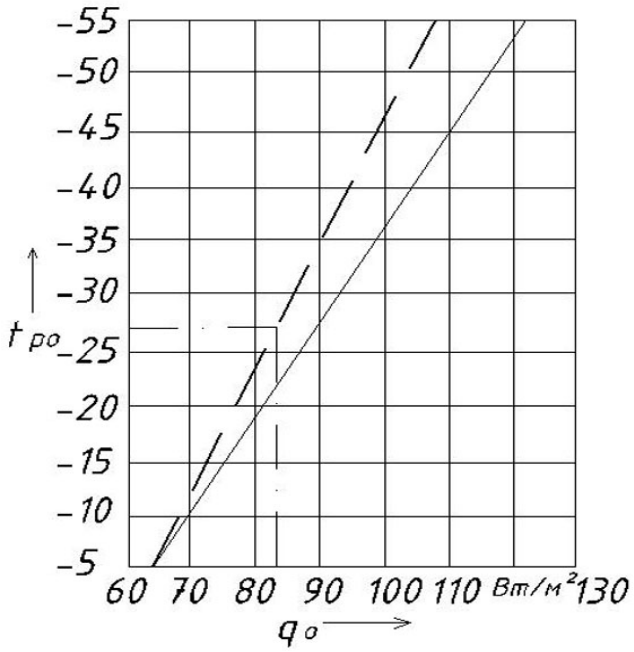


Рис. 1. Зависимость удельного расчётного расхода тепла от температуры наружного воздуха для проектирования отопления [4]:
---------- застройка до 1985 г;- - - - - застройка с 1985 г.

Расчетный расход тепла на вентиляцию общественных зданий определяется по формуле:

$$Q''_в = k_1 Q'_{o(o)}, \qquad (3)$$

где k_1– коэффициент расхода тепла на вентиляцию общественных зданий, при отсутствии данных принимается 0,4.

Расходы тепла на отопление и вентиляцию при различных температурах наружного воздуха, отличающихся от расчетных для проектирования

отопления и вентиляции, находятся пересчетом по формулам:

$$Q_o = Q'_o \frac{t_в - t_н}{t_в - t_{ро}} \; Q_в = Q''_в \frac{t_в - t_н}{t_в - t_{рв}} \qquad (4)$$

где $t_н$– текущая температура наружного воздуха, при которой определяется расход тепла, °С.

Среднечасовой расход тепла за отопительный период на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий определяется по формуле

$$Q_Г^{ср} = \frac{cm\left(q_{ит}^h + b\right)\left(t_Г - t_c\right)\rho 1{,}2}{3{,}6 \cdot 24 \cdot 10^6}, \qquad (5)$$

гдеC–теплоемкость воды, кДж/(кг °С);

$q_{ит}^h$– норма расхода горячей воды при температуре +55°С для жилых зданий на одного человека в сутки, л/сут;

b–норма расхода горячей воды для общественных зданий района города (при отсутствии данных принимается 25 л/сут на одного человека);

$t_г$– температура горячей воды, принимаемая равной 55°С;

t_c– температура холодной водопроводной воды в отопительный период (принимается равной 5 °С);

ρ–плотность воды при температуре 55 °С, кг/м^3;

1,2 –коэффициент, учитывающий теплоотдачу в помещения от трубопроводов горячего водоснабжения (для закрытых систем).

Норму расхода горячей воды в жилых домах можно приниматьравной [4]:

- в районах новой застройки $q_{ит}^h$ =110-130 л/сут;
- районах старого жилого фонда $q_{ит}^h$=(55f+45) л/сут, где

  f–коэффициент охвата ванными (принимается от 0,1 до 0,6)

Среднечасовой расход тепла на горячее водоснабжение в летний период пересчитывается по формуле

$$Q_Г^{ср(л)} = Q_Г^{ср} \frac{t_г - t_c^s}{t_г - t_c} \beta, \qquad (6)$$

$Q_Г^{ср}$ – среднечасовой расход тепла, определяемый по формуле (5),кВт;

t_c^s– температура холодной водопроводной воды в летний период (принимается равной 15°С);

β – коэффициент снижения расхода горячей воды в летний период (принимается равным 0,8, а для предприятий, курортов и южных городов – 1,0).

Максимальный расход тепла на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$Q_г^{макс} = k_ч Q_Г^{ср} \qquad (7)$$

$k_ч$–коэффициент часовой неравномерности водоразбора[8] (для жилых и общественных зданий принимается равным от 2 до 2,4).

По найденным расходам тепла составляется сводная табл.1.

Таблица 1. Сводная таблица расчетных расходов тепла в районе

Вид нагрузки	Потребители				
	Жилые здания	Общественные	Предприятия	Всего	
				зимой	летом
Отопление				$\sum Q_o$	–
Вентиляция	–			$\sum Q_в$	
Горячее водоснабжение				$\sum Q_Г^{ср}$	$\sum Q_Г^{ср(л)}$
Итого	$\sum Q_ж$	$\sum Q_o$	$\sum Q_п$	$\sum Q_I'$	$\sum Q_I'$

После определения тепловых нагрузок района необходимо распределить тепловую нагрузку по кварталам. Для этого определяется площади застройки кварталов и тепловая нагрузка распределяется пропорционально площадям застроек:

$$Q'_{o(к)} = Q'_o \frac{F_к}{\sum F}; Q''_{в(к)} = Q''_в \frac{F_к}{\sum F}; Q^{ср}_{Г(к)} = Q^{ср}_Г \frac{F_к}{\sum F}, \qquad (8)$$

где $Q'_{o(к)}$, $Q''_{в(к)}$, $Q^{ср}_{Г(к)}$ – расчетные расходы тепла на отопление, вентиляция и горячее водоснабжение одного квартала, кВт;

$F_к$–площадь застройки квартала, км^2;

$\sum F$ – общая площадь застройки района, км^2.

Найденное распределение расходов тепла но кварталам заносится в сводную табл.2.

Таблица 2. Распределение тепловой нагрузки в кварталах района

№ квартала	Площадь квартала, км^2	Расход тепла, кВт				
		На отопление $Q'_{o(к)}$	На вентиляцию $Q''_{в(к)}$	На горячее водоснабжение $Q^{ср}_{Г(к)}$	Сумммарный зимний $\sum Q_к$	Летний на горячее водоснабжение $Q^{ср(л)}_{Г(к)}$
1 2 … n						

3.2.Построение графика продолжительности тепловой нагрузки

Для построения графика продолжительности тепловой нагрузки района (рис.2) используются зависимости (1)-(6), по которым строятся отдельные графики изменения тепловых нагрузок всех видов потребителей. Затем ординаты этих графиков суммируются (левая часть графика на рис.2). При построении графика суммарного часового расхода тепла (ΣQ) необходимо учитывать потери тепла в сетях, которые составляют 4-8% отпущенного тепла со станции. Для этого необходимо расчетное тепловые нагрузки, определяемые по формулам (1)–(6), соответственно увеличить на долю теплопотерь в сетях.

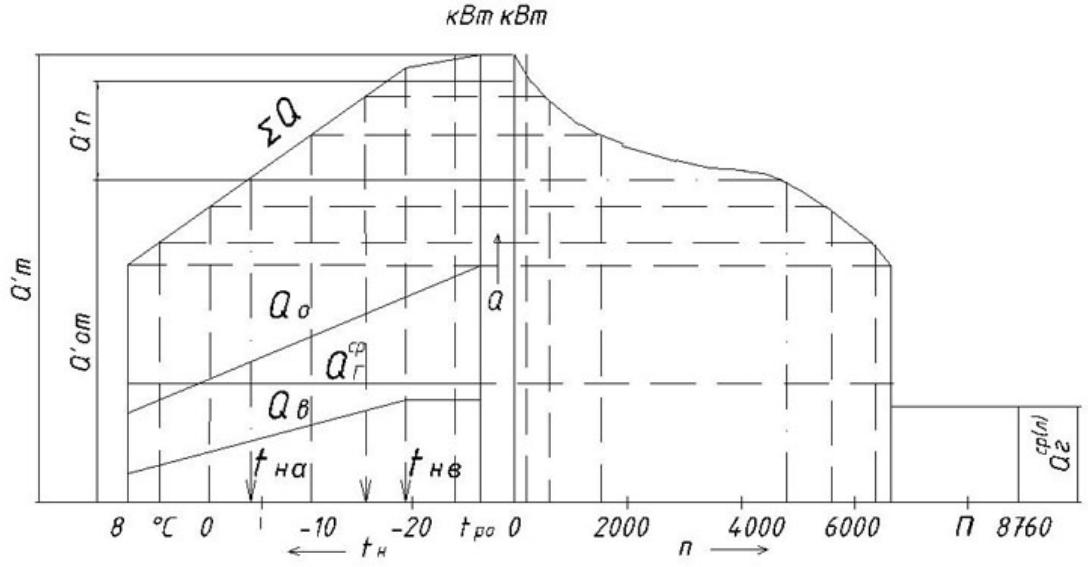


Рис.2. График продолжительности тепловой нагрузки

3.3. Расчет и построение графиков регулирования отпуска теплоты

Максимальная расчетная температура сетевой воды на выходе из источника теплоты, в тепловых сетях и приемниках теплоты устанавливается на основании технико-экономических расчетов.

Минимальная температура сетевой воды на выходе из источника теплоты и в тепловых сетях при наличии в закрытых системах теплоснабжения нагрузки горячего водоснабжения должна обеспечивать возможность подогрева воды, поступающей на горячее водоснабжение, до нормируемого уровня.

При расчете графиков температур сетевой воды в системах централизованного теплоснабжения температура наружного воздуха начала и конца отопительного периода согласно [1] принимается при среднесуточной температуре наружного воздуха:

+8 °С в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления до -30 °С и усредненной расчетной температурой внутреннего воздуха жилых и общественных отапливаемых зданий 18 °С;

+10 °С в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления ниже -30 °С и усредненной расчетной температурой внутреннего воздуха жилых и общественных отапливаемых зданий 20 °С.

При отсутствии у приемников теплоты в системах отопления и вентиляции автоматических индивидуальных устройств регулирования температуры внутри помещений в водяных тепловых сетях может применяетсяцентральное регулирование температуры теплоносителя.

Ввиду того, что индивидуальными заданиями на проектирование предусмотрены системы теплоснабжения с разнородными потребителями тепла, необходим выбор центрального регулирования разнородной нагрузки.

Выбор центрального регулирования отпуска теплапроизводится в зависимости от соотношения нагрузок на отопление и горячее водоснабжение, от схемы подключения абонентских узлов ввода и гидравлической устойчивости системы. После установления соотношений тепловых нагрузок Q_{Γ}^{cp} / Q_o' и принятия [7] по этому соотношению типовой схемы присоединения к тепловым сетям подогревателей горячего водоснабжения намечается способ регулирования нагрузки. Далее составляется принципиальная схема теплоснабжения и производится построение графиков температур и расхода сетевой воды для каждого вида нагрузки.

3.3.1. Центральное регулирование разнородной нагрузки закрытых систем по отопительной нагрузке

Центральное регулирование разнородной нагрузки по отопительной нагрузке применяется при среднечасовом расходе тепла на горячее водоснабжение не более 15% от расчетного расхода тепла на отопление в районе [7].

Графики температур, расходов тепла и сетевой воды *на отопление* приведены на рис. 3. Изменение расходов тепла в отопительный период находится по формулам (1)-(6).

При центральном регулировании тепловой нагрузки температура воды в подающем трубопроводе определяется по формуле

$$\tau_1 = t_в + \Delta t' \overline{Q}_o^{0.8} + (\delta\tau' - 0{,}5\theta')\overline{Q}_o, \qquad (9)$$

где $\Delta t'$ – расчетный температурный напор местной системы отопления, $\Delta t' = \frac{\tau_3' + \tau_{2o}'}{2} - t_в$;

$\delta\tau'$ – расчетный перепад температур сетевой воды, $\delta\tau' = \tau_1' - \tau_{2o}'$;

θ' – расчетный перепад температур сетевой воды в системе отопления, $\theta' = \tau_3' - \tau_{2o}'$;

τ_3' – расчетная температура сетевой воды после смесителя в системе отопления, °С;

τ_{2o}' –расчетная температура сетевой воды после системы отопления, °С.

Температура сетевой воды после отопления, при любой другой температуре наружного воздуха определяется по формуле

$$\tau_{2o} = t_в + \Delta t' \overline{Q}_o^{0,8} - 0{,}5\theta' \overline{Q}_o \qquad (10)$$

Относительная величина тепловой нагрузки на отопление для различных температур наружного воздуха находится по формуле

$$\overline{Q}_o = \frac{t_в - t_н}{t_в - t_{ро}} \qquad (11)$$

где $t_Н$– температура наружного воздуха, для которой находится относительная отопительная нагрузка.

Далее, принявхарактерные температуры наружного воздуха, указанные в табл.3, определяют для них по формуле (11) соответствующие значения $\overline{Q}_o$.

Затем для найденных значений $\overline{Q}_o$ по формулам (9) и (10) определяются температуры τ_1 и τ_{2o}. Данные расчетов сводятся в табл. 3 и по ним строятся графики, приведенные на рис. 3.

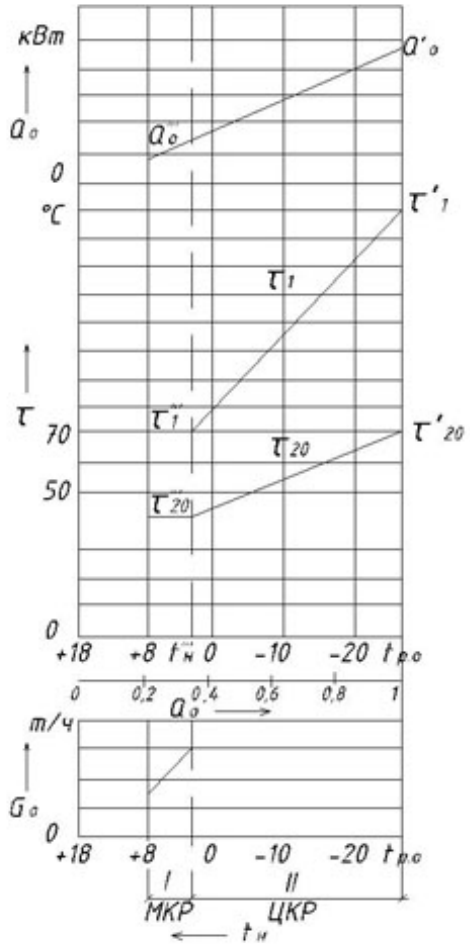


Рис. 3. Графики температур, расходов тепла и сетевой воды на отопление: МКР – местное количественное регулирование;ЦКР – центральное качественное регулирование

Таблица 3. Температуры сетевой воды при центральном регулировании по отопительной нагрузке

Температура наружного воздуха, $t_н$, °С	Относительная отопительная нагрузка, $\overline{Q}_o$		Температура воды, °С	
			В подающем трубопроводе, τ_1	В обратном трубопроводе, τ_{2o}
$t_{ро}$	1,0 0,8 0,6 0,4 0,2			

По минимально допустимой температуре воды в подающем трубопроводе 70°С находится температура наружного воздуха $t_н'''$ в точке излома темпе-

ратурного графика ($\tau_1''' = 70°C = const$).

Расходы сетевой воды на отопление определяют по формулам:

$$G_o = \frac{3600Q_o'}{c(\tau_1' - \tau_{2o}')}; \quad G_o^{мин} = G_o' \frac{t_в - t_н}{t_в - t_н'''} \tag{12}$$

где G_o' и $G_o^{мин}$ –расчетный и минимальный расходы сетевойводы, кг/ч;

$t_н$ – температура наружного воздуха, соответствующая минимальному расходу сетевой воды, 8 °С.

Графики температур, расходов сетевой воды *на вентиляцию* приведены на рис.4. Построение графика расхода теплоты производится аналогично представленному на рис.2 по зависимостям (1)-(6).

Графики температур сетевой воды после вентиляционных установок и расхода греющего теплоносителя зависят от способа регулирования.

При регулировании вентиляционной нагрузкигреющим теплоносителем температура сетевой воды после калорифера определяется поформулам; для I диапазона (от +8°С до $t_н'''$)

$$\left(\frac{Q_в}{Q_в'''}\right)^{0,85} = \left(\frac{\tau_1''' - \tau_{2в}'''}{\tau_1''' - \tau_{2в}}\right)^{0,15} \frac{\Delta t}{\Delta t'''}; \tag{13}$$

для II диапазона (от $t_н'''$ до $t_{рв}$)

$$\tau_{2в} = \tau_1 - (\tau_1'' - \tau_{2в}'')\frac{t_в - t_н}{t_в - t_{рв}}; \tag{14}$$

для III диапазона (от $t_{рв}$ до $t_{ро}$)

$$1 = \left(\frac{\tau_1'' - \tau_{2в}''}{\tau_1 - \tau_{2в}}\right)^{0,15} \frac{\Delta t}{\Delta t''}, \tag{15}$$

где $\tau_1''', \tau_1'', \tau_1$ – температура воды в подающем трубопроводе при $t_н''', t_{рв}$ и любой текущей температуре наружного воздуха;

$\tau_{2в}''', \tau_{2в}'', \tau_{2в}$ – температура сетевой воды после калориферов при $t_н''', t_{рв}$ и любой температуре наружного воздуха $t_н$;

$\Delta t = 0{,}5(\tau_1 + \tau_{2в}) - 0{,}5(t_н + t_в)$ – температурный напор сетевой воды и воздуха в калорифере при любой температуре наружного воздуха (двумя штрихами обозначен напор при температуре $t_{рв}$, тремя штрихами при $t_н'''$).

Значение температуры $\tau_{2в}''$ можно принимать по отопительному графику ($\tau_{2в}'' \approx \tau_{2o}''$)или равным 60°С. Неизвестные значения температур $\tau_{2в}$ в каждом диапазоне определяется решением равенств (13)-(15) методом последовательного приближения. Расход сетевой воды, поступающей в калорифер, в каждом диапазоне рассчитывается по формуле:

$$G_в = \frac{3600Q_в}{c(\tau_1 - \tau_{2в})} \tag{16}$$

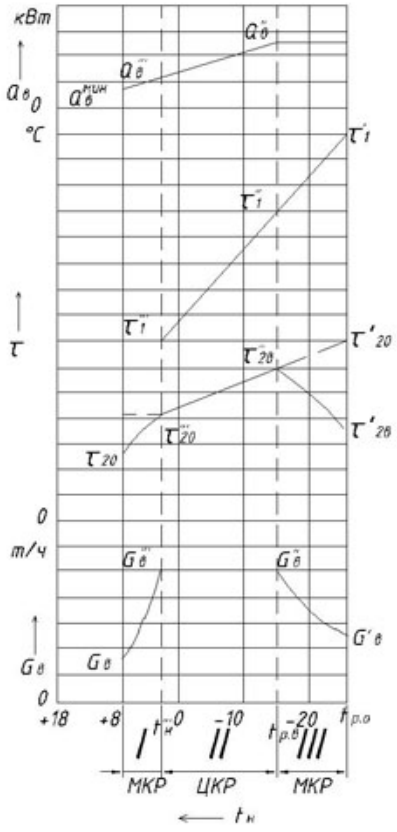


Рис. 4. Графики температур, расходов тепла и сетевой воды на вентиляцию(регулирование расходом сетевой воды)

Графики температур, расхода тепла и сетевой *воды на горячее водоснабжение* приведены на рис.5 и рис.6.

При центральном регулировании по отопительной нагрузке греющая вода поступает в подогреватели горячего водоснабжения с температурой, изменяющейся по отопительному графику. После подогревателей горячего водоснабжения температура сетевой воды $\tau_{2г}$ определяется в зависимости от схемы подключения подогревателей.

Подогреватели горячего водоснабжения подключаются к теплосетям по схемам: параллельной при $0{,}2 \prec Q_Г^{макс} \Big/ Q_o' \prec 1{,}0$; двухступенчатой смешанной, применяемой при $Q_Г^{макс} \Big/ Q_o' = 0{,}2 - 1{,}0$

При параллельной схеме включения (рис.5) в I диапазоне температура сетевой воды после подогревателя принимается $\tau_{2Г}''' = 30°C$.

Во II диапазоне температура $\tau_{2Г}$ определяется методом подбора из равенства

$$\frac{(\tau_1 - t_Г) - (\tau_{2Г} - t_x)}{2{,}3 \lg \dfrac{\tau_1 - t_Г}{\tau_{2Г} - t_x} \Delta t_Г'''} \sqrt{\frac{\tau_1''' - \tau_{2Г}'''}{\tau_1 - \tau_{2Г}}} = 1 \qquad (17)$$

где $\tau_{2Г}''', \tau_{2Г}$ – температура воды после подогревателя при $t_н'''$ и любой $t_н$ в ин-

тервале от t'''_H до $t_{ро}$;

$\Delta t'''_Г$ - температурный напор в подогревателе при $t'''_н$,

$$\Delta t'''_Г = \frac{(\tau'''_1 - t_Г) - (\tau'''_{2Г} - t_x)}{2{,}3 \lg \frac{\tau'''_1 - t_Г}{\tau'''_{2Г} - t_x}} \qquad (18)$$

Расход сетевой воды в каждом диапазоне определяется по формуле

$$G_Г = \frac{3600 Q^{ср}_Г}{c(\tau_1 - \tau_{2Г})}, \qquad (19)$$

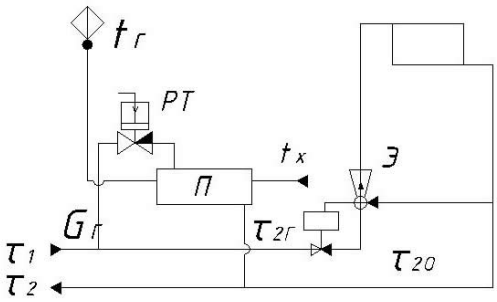
где $\tau_{2Г}$ – температура сетевой воды после подогревателя принимается из графика на рис.5 при любой наружной температуре $t_н$.

Расчет графиков регулирования сводится в табл. 4.

Таблица 4. Регулирование нагрузки горячего водоснабжения

Температура наружного воздуха, °С	Температура воды, °С		Расход сетевой воды на горячее водоснабжение, $G_Г$
	В подающем трубопроводе, τ_1	В обратном трубопроводе, $\tau_{2Г}$	
$t_{ро}$ … $t'''_н$ 8			

После окончания отопительного сезона расход тепла на горячее водоснабжение пересчитывается по формуле (6), а расход сетевой воды принимается равным $Q^{л}_Г \approx 0{,}8 G'''_Г$



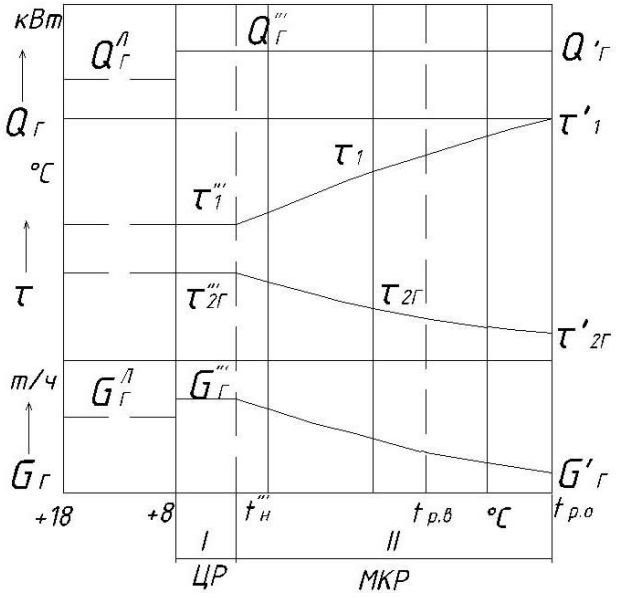


Рис. 5 Графики температур, расходов теплоты и сетевой воды при параллельной схеме включения подогревателей:ЦР – центральное регулирование; МКР – местное количественное регулирование

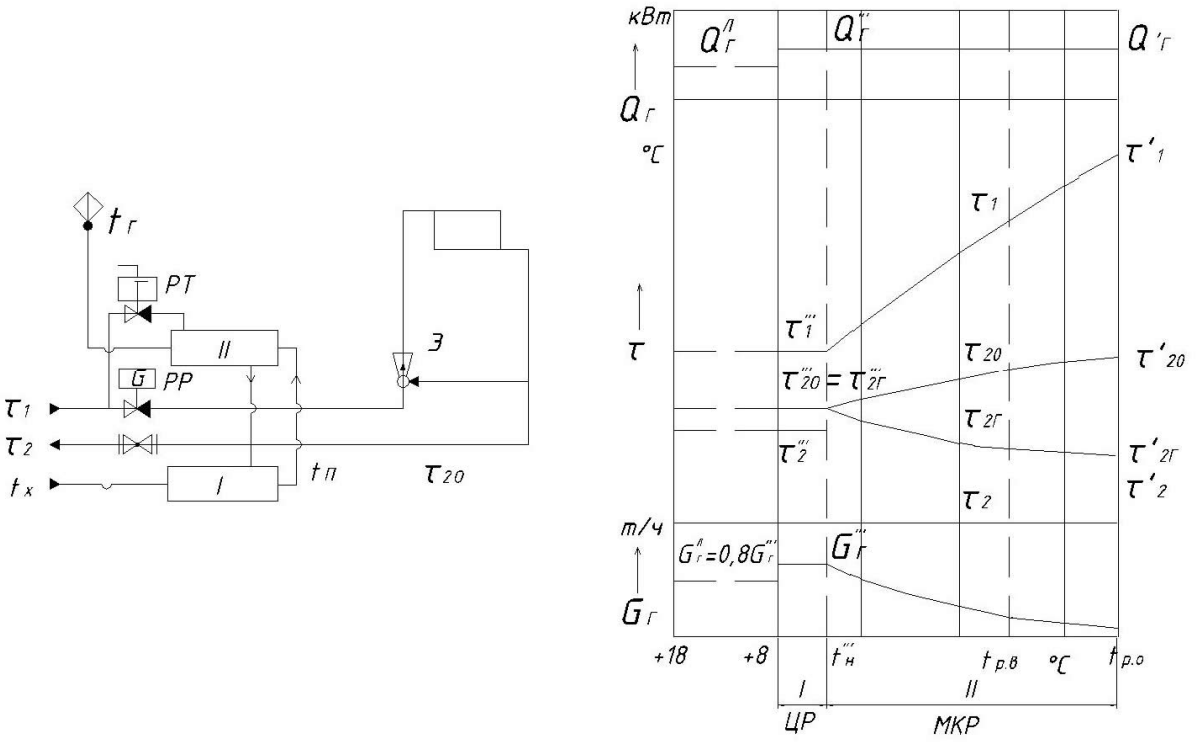


Рис.6. Графики температур, расходов тепла и сетевой воды на горячее водоснабжение при двухступенчатом смешанном присоединении подогревателей горячего водоснабжения

При двухступенчатой смешанной схеме присоединения подогревателя (рис.6) в I диапазоне температура сетевой воды после второй ступени принимается равной температуреводы после системы отопления τ'''_{2o}

А температура сетевой воды после первой ступени определяется по формуле

$$\tau'''_2 = \tau'''_{2\Gamma} - Q_\Gamma \frac{t'''_n - t_x}{t_\Gamma - t_x} \frac{3600}{(G'''_\Gamma + G'_o)c} \qquad (20)$$

гдеt_n– температура нагреваемой водопроводной воды после подогревателя первой ступени при $t'''_н, t'''_n = \tau'''_{2o} - (5-10)°\text{C}$;

$G_Г$– расход сетевой воды на горячее водоснабжение, определяемый по формуле

$$G'''_\Gamma = Q_\Gamma \frac{t_г - t'''_n}{t_\Gamma - t_x} \frac{3600}{\tau'''_1 - \tau'''_{2\Gamma}}, \; кг/ч \qquad (21)$$

Во II диапазоне расход $G_Г$ и температура сетевой воды $\tau_{см}$ определяется методом подбора на основе совместного решения равенств:

$$\frac{Q_I}{Q_\Gamma} = \frac{\varepsilon_I c G_{Iм}(\tau_{см} - t_x)}{c G_в (t_\Gamma - t_x)} \qquad (22)$$

$$G_\Gamma \tau_{2\Gamma} + G'_o \tau'_{2o} = (G_\Gamma + G'_o)\tau_{см} \qquad (23)$$

$$Q_{II} = \varepsilon_{II} c G_{IIм}(\tau_1 - t_n) = c G_в (t_\Gamma - t_n) = c G_\Gamma (\tau_1 - \tau_{2\Gamma}) \qquad (24)$$

где $\varepsilon_I, \varepsilon_{II}$ – безразмерные тепловые характеристики первой и второй ступеней;

$G_{Iм}$, $G_{IIм}$– меньшие значения расходов теплоносителя в первой и второй ступенях;

$\tau_{см}$– температура смешанной сетевой воды после второй ступени и отопления на входе в первую ступень подогревателя.

При расчете, графиков на рис. 6 следует пользоваться рекомендациями [7] .

3.3.2. Центральное регулирование разнородной нагрузки закрытых систем по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

Центральное регулирование по суммарной нагрузке (по повышенному температурному графику) применяется при среднечасовом расходе тепла на горячее водоснабжение более 15% расчетного расхода тепла на отопление района. При таком регулировании подогреватели горячего водоснабжения должны присоединяться к тепловым сетям по двухступенчатой последовательной схеме (рис.7). При этом если в ЦТП или ИТП вместо регуляторов отопления (РО) установлены регуляторы расхода, то центральное регулирование по повышенному графику допускается в случаях, когда двухступенчатые последовательные подогреватели установлены не менее,чем в 75% зданий в районе.

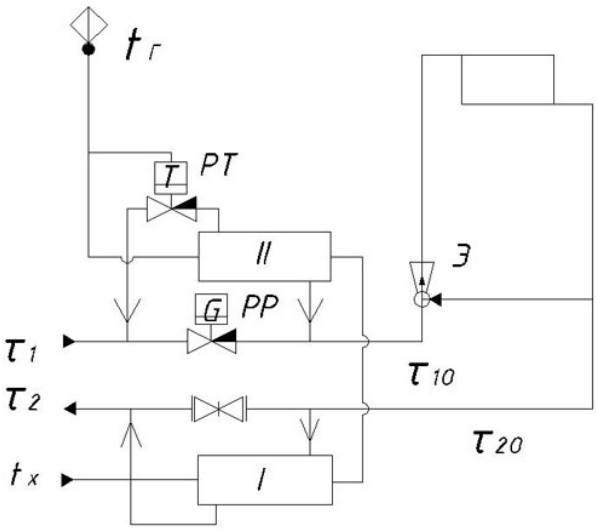


Рис.7. Присоединение подогревателей горячего водоснабжения по двухступенчатой последовательной схеме

Для построения *повышенного температурного графика* вначале необходимо построить отопительно-бытовой график по формулам (9), (10),затем найти температуры воды в подающем и обратном трубопроводах при повышенном графике:

$$\tau_1 = \tau_{1o} + \delta_1 \qquad (25)$$

$$\tau_2 = \tau_{2o} - \delta_2 \qquad (26)$$

где δ_1, δ_2 – перепады температурсетевой воды во второй и в первойступенях подогревателя.

Общий перепад температур сетевой воды в ступенях

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_Г^{\delta}}{Q_o'}\left(\tau_{1o}' - \tau_{2o}'\right) = const \qquad (27)$$

где $Q_Г^{\delta} = \chi Q_Г^{ср}$ - балансовыйрасход тепла на горячее водоснабжение;

χ – балансовый коэффициент, принимаемый равным 1,2 при отсутствии на вводах аккумуляторов горячей воды и равным 1 при ихналичии.

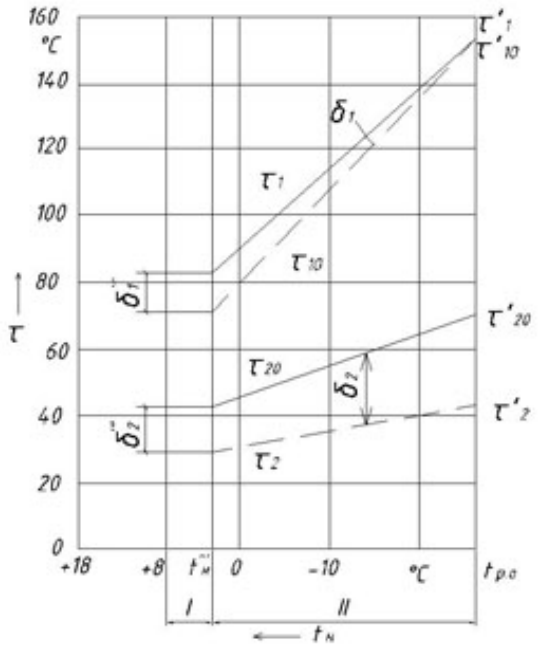


Рис.8. График температур центрального регулирования по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения в закрытой системе теплоснабжения("повышенный" температурный график): τ_{1o}, τ_{2o} – отопительно-бытовой график регулирования; τ_1, τ_2 – повышенный график.

В I диапазоне перепад температур сетевой воды в первой ступени определяется по зависимости

$$\delta_2''' = \frac{Q_Г^{\delta}}{Q_o'}\frac{t_n''' - t_c}{t_Г - t_c}\left(\tau_{1o}' - \tau_{2o}'\right) \qquad (28)$$

где $t_n''' = \tau_{2o}''' - (5 \div 10°C)$

Значение перепада температуры воды во второй ступени согласно равенству (32) находится как разность

$$\delta_1''' = \delta - \delta_2''' \qquad (29)$$

Во II диапазоне перепад температур сетевой воды в первой ступени определяется пересчетом по формуле

$$\delta_2 = \delta_2'''\frac{\tau_{2o} - t_c}{\tau_{2o}''' - t_c} \qquad (30)$$

а перепад температур воды во второй ступени находится по равенству (27).

При центральном регулировании разнородной нагрузки графики регу-

лирования вентиляционной нагрузки рассчитываются и строятся аналогичнорассмотренному на рис.4, но при повышенных значениях температур сетевой волы в подающем трубопроводе. Результаты расчета сводятся в табл.5 и по ним строится график температур (рис.8).

Таблица 5. Расчет повышенного температурного графика

Температура наружного воздуха, $t_н$	Относительная нагрузка отопления, $\overline{Q_o}$	Температура воды		Перепады температур в подогревателях		Температура воды в трубопроводах	
		Перед элеватором, τ_{1o}	После системы отопления, τ_{2o}	δ_1	δ_2	В подающем, τ_1	В обратном τ_2

3.3.3.Центральное регулирование открытых систем по отопительной нагрузке

Центральное регулирование по отопительной нагрузке применяется при среднечасовом расходе теплоты на горячее водоснабжение применяется при соотношении $Q_г^{ср}/Q_o' < 0{,}15$и осуществляется по отопительно-бытовому температурному графику с точкой излома при $\tau_1''' \geq 60°C$.В этом случае местные системы отопления и смесители горячего водоснабжения присоединяются к тепловым сетям по принципу несвязного регулирования. Расчет и построение местных графиков регулирования теплового потребления *на отопление и вентиляцию* производится также, как и для закрытых систем теплоснабжения, а графики аналогичны представленным на рис. 3 и на рис.4.

Расчет графиков регулирования нагрузки *горячего водоснабжения* (рис. 9) сводится к определению расхода сетевой воды на нужды водоразбора.

В I диапазоне регулирования водоразбор на горячее водоснабжение производится только из подающего трубопровода, расход сетевой воды при этом определяется по формуле

$$G_г = G_г''' = \frac{3600 \cdot Q_г^р}{c \cdot (t_г - t_c)}, \qquad (31)$$

где $G_г -$ общий расход сетевой воды на горячее водоснабжение, кг/ч;
$G_г''' -$ расход сетевой воды на горячее водоснабжение при полном водоразборе из подающего трубопровода, кг/ч;
$Q_г^р -$ расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение,кВт;
$t_г -$ температура воды на горячее водоснабжение, принимаемая в I диапазоне равной температуре сетевой воды $t_г = \tau_1'''$;

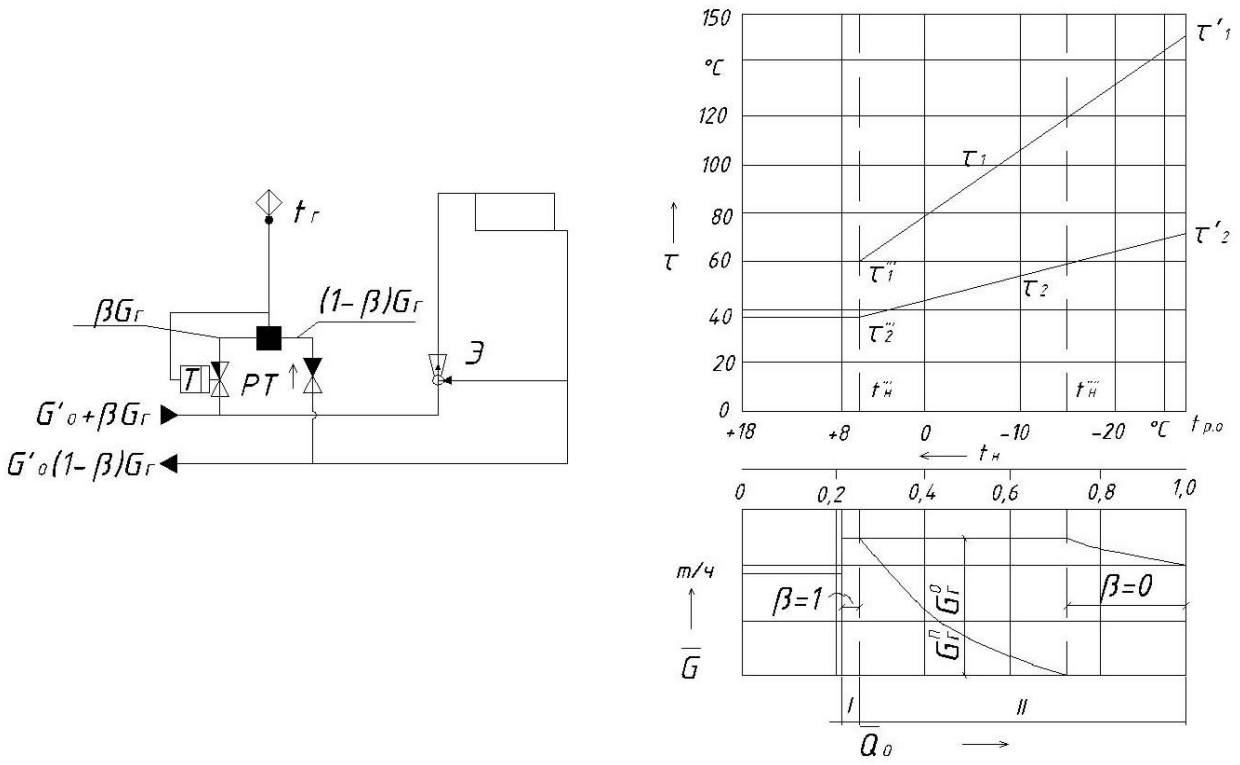


Рис.9. Графики температур и расхода сетевой воды на горячее водоснабжение при центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке

Во II диапазоне регулирования в интервале наружных температур $t_{\text{н}}''' - t_{\text{н}}''''$с повышением температуры сетевой воды в подающем трубопроводе $\tau_1 \geq 60^{\circ}\text{C}$ водоразбор осуществляется из подающего и обратного трубопроводов одновременно в таком соотношении, чтобы после смесителя температура горячей воды в водоразборных стояках была не ниже 65°C.

Водоразбор из подающего и обратного трубопроводов определяется по формулам:

$$G_{\Gamma}^{n} = \beta G_{\Gamma} = \beta \frac{3600 Q_{\Gamma}^{cp}}{c\left(t_{г} - t_{c}\right)} \qquad (32)$$

$$G_{\Gamma}^{o} = \left(1-\beta\right) G_{\Gamma} \qquad (33)$$

$$\beta = \frac{t_{\Gamma} - \tau_{2o}}{\tau_{1} - \tau_{2o}} \qquad (34)$$

где $G_{\Gamma}^{n}, G_{\Gamma}^{o}$ – расход сетевой воды на горячее водоснабжение, кг/ч;

β – доля водоразбора из подающего трубопровода.

В IIIдиапазоне при $t_{\text{н}}''''$ и ниже, когда температура в обратном трубопроводе достигает значения $\tau_{2\text{o}}'''$=$60 - 65^{\circ}\text{C}$, водоразбор ведется только из обратного трубопровода и $\beta = 0$.

В интервале наружных температур $t_{\text{н}}'''\ldots t_{\text{ро}}$, когда $\tau_{2\text{o}} > 60 - 65^{\circ}\text{C}$, расход сетевой воды из обратного трубопровода (после системы отопления) на горячее водоснабжение уменьшается пропорционально соотношению $\frac{t_{\Gamma} - t_{c}}{\tau_{2o} - t_{c}}$

и его можно рассчитать по формуле:

$$G_{\Gamma}^{o} = \frac{3600 Q_{\Gamma}^{p}}{c(\tau_{2o} - t_c)} \qquad (35)$$

Результаты расчета записываются в табл.6 и строятся графики расхода воды на горячее водоснабжение (рис.9).

Таблица 6. Расход сетевой воды на горячее водоснабжение в открытых системах при центральном регулировании по отопительной нагрузке

Температура наружного воздуха, $t_н$	Относительная нагрузка отопления, $\overline{Q}_o$	Температура воды		Доля водоразбора β	Расход воды на горячее водоснабжение	
		В подающем, τ_1	В обратном τ_{2o}		Из подающ. трубопровода, G_{Γ}^{n}	Из обрат. трубоп. G_{Γ}^{o}

3.3.4 Центральное регулирование открытых систем по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

Центральное регулирование по скорректированному графику применяется при среднечасовом расходе тепла на горячее водоснабжение более 15 % расчетного расхода тепла на отопление в районе и присоединении систем отопления и горячего водоснабжения по принципу связанного регулирования. При этом регулировании на абонентском вводе поддерживается постоянный расход сетевой воды, равный расчетному расходу воды на отопление, который поддерживается, регуляторами расхода (рис.10).

Для построения скорректированного графика температур необходимо построить отопительный график регулирования и на нем наметить пределы корректирования, т.е. найти температуру наружного воздуха $t_н''''$, ниже которой водоразбор производится менее 15 % расчетного расхода тепла на отопление в районе.

Скорректированные значения температур определяются по формулам:

$$\tau_1 = t_в + \Delta t' \overline{Q}_o^{0,8} + \left(\delta\tau' - \frac{\theta'}{2} \right) \frac{\overline{Q}_o}{\overline{G}_o} \qquad (36)$$

$$\tau_2 = t_в + \Delta t' \overline{Q}_o^{0,8} - \frac{\theta'}{2} \frac{\overline{Q}_o}{\overline{G}_o} \qquad (37)$$

$$\overline{G}_o = \frac{G_o}{G_o'} = \frac{1 - 0{,}5 \dfrac{\rho_\delta \theta'}{t_\Gamma - t_c}}{1 + \dfrac{t_г - t_в}{t_г - t_c} \cdot \dfrac{\rho_\delta}{\overline{Q}_o} - \dfrac{\Delta t'}{t_\Gamma - t_c} \cdot \dfrac{\rho_\delta}{\overline{Q}_o^{0,2}}} \qquad (38)$$

где $\rho_\delta = \dfrac{Q_г^\delta}{Q_o'}; Q_\Gamma^\delta = \chi Q_\Gamma^{ср}$; χ - балансовый коэффициент расхода тепла, $\chi = 1{,}1$.

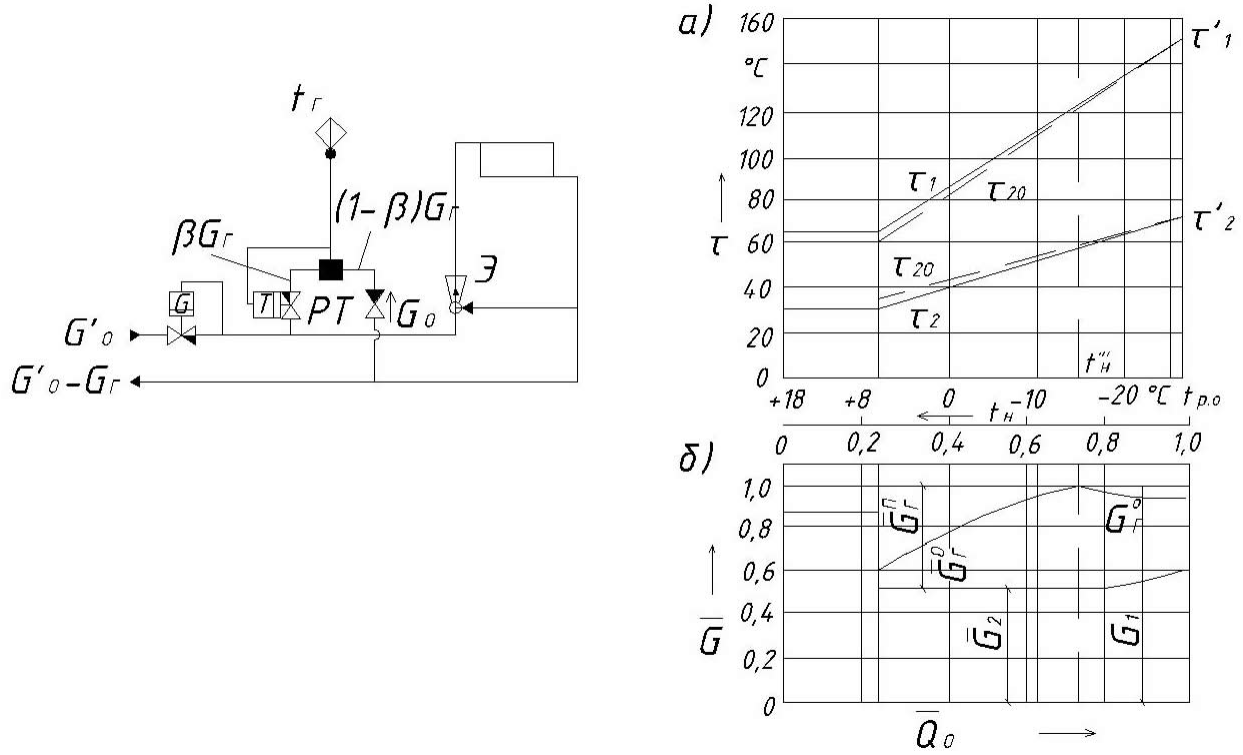


Рис. 10. Центральное качественное регулирование открытых систем теплоснабжения по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

На рис.10 приведены следующие обозначения:

$\overline{G}_1$ – относительный расход сетевой воды в подающем трубопроводе, $\overline{G}_1 = \frac{G_1}{G'_o}$

$\overline{G}_2$ – то же в обратном трубопроводе, $\overline{G}_2 = \frac{G_2}{G'_o}$;

$\overline{G}_г^{\,n}$ – относительный дополнительный расход сетевой воды на горячее водоснабжение в подающем трубопроводе, $\overline{G}_г^{\,n} = \frac{G_г^n}{G'_o}$;

$\overline{G}_г^{\,o}$ – относительный расход горячей воды из обратной линии, $\overline{G}_Г^o = \frac{G_Г^o}{G'_o}$.

Результаты расчетов сводятся в табл. 7 и по ним строится скорректированный график температур (рис.10а и 10б).

Таблица 7.Расчет скорректированного графика температур и расходов сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение

Температура наружного воздуха, $t_н$	Относительная нагрузка отопления, $\overline{Q}_o$	$\overline{Q}_o^{0,2}$	Относит. расход воды на отопление, $\overline{G}_o$	$\overline{Q}_o^{0,8}$	Температура воды		Примечание
					τ_1	τ_2	

3.4.Построение графиков суммарного расхода воды в тепловыхсетях

График общего расхода воды (рис.11) строится по данным расходов

воды по каждому виду теплового потребления. Эти данные принимается из графиков на рис. 3–10.

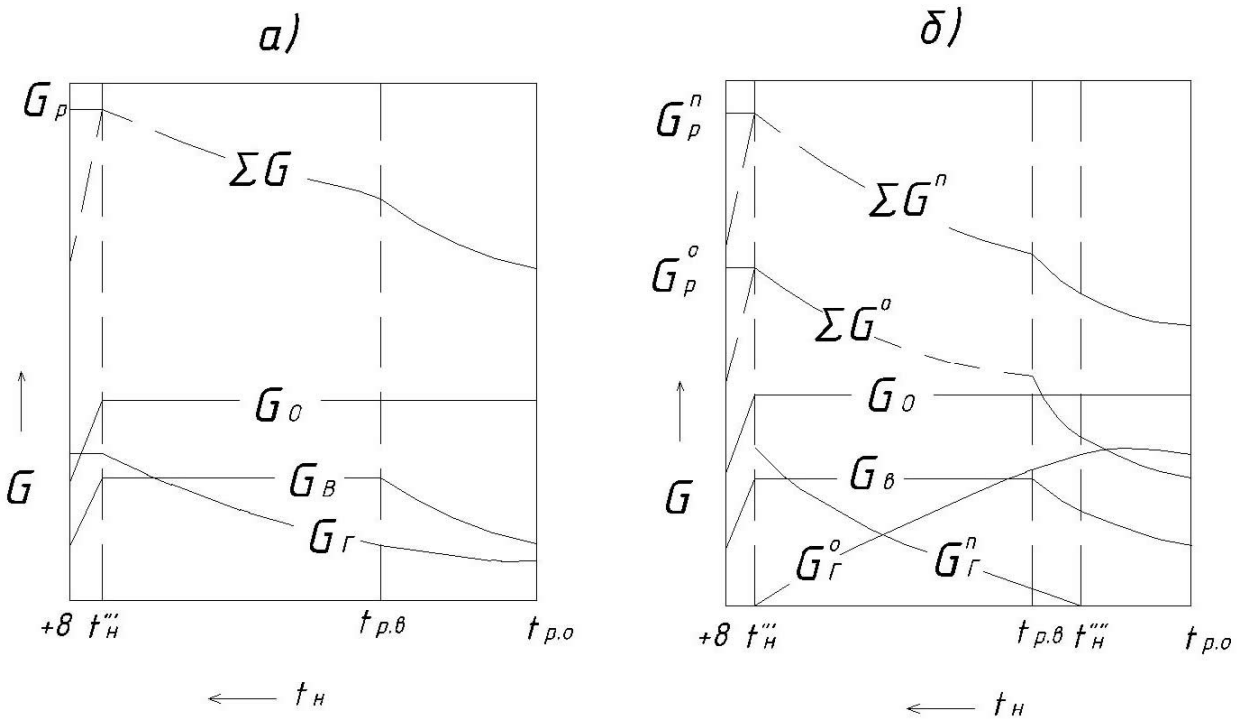


Рис. 11. Графики суммарного расхода сетевой воды в закрытых (а) и открытых (б) системах теплоснабжения.

3.5. Определение расходов сетевой воды

Расчетный расход сетевой воды, кг/ч, для определения диаметров труб в водяных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты согласно [9,10]следует определять отдельно для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения по формулам:

a) на отопление

$$G'_о = \frac{3{,}6Q'_о}{c(\tau_1 - \tau_2)}; \quad (39)$$

b) на вентиляцию

$$G''_в = \frac{3{,}6Q''_в}{c(\tau_1 - \tau_2)}; \quad (40)$$

c) на горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения

среднечасовой

$$G'''_г = \frac{3{,}6Q^{ср}_г}{c(t_г - t_c)}; \quad (41)$$

максимальный

$$G^{макс}_г = \frac{3{,}6Q^{макс}_г}{c(t_г - t_c)}; \quad (42)$$

d) на горячее водоснабжение в закрытых системах теплоснабжения

среднечасовой, при параллельной схеме присоединения во-

доподогревателей

$$G_{\text{г}}''' = \frac{3{,}6Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c(\tau_1''' - \tau_2''')}; \quad (43)$$

максимальный, при параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{\text{г}}^{\text{макс}} = \frac{3{,}6Q_{\text{г}}^{\text{макс}}}{c(\tau_1''' - \tau_3''')}, \quad (44)$$

где $Q_{\text{г}}^{\text{макс}} = 2{,}4Q_{\text{г}}^{\text{ср}}$

среднечасовой, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{\text{г}}''' = \frac{3{,}6Q_{\text{г}}^{\text{ср}}}{c(\tau_1''' - \tau_2''')}\left(\frac{55 - t_{\text{п}}'''}{55 - t_c} + 0{,}2\right), \quad (45)$$

максимальный, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{\text{г}}^{\text{макс}} = \frac{3{,}6 \cdot 0{,}55Q_{\text{г}}^{\text{макс}}}{c(\tau_1''' - \tau_2''')}, \quad (46)$$

В формулах (39)-(46) расчетные тепловые потоки приведены в ваттах, теплоемкость спринимаетсяравной 4,198 кДж/(кг °С).

Суммарные расчетные расходы сетевой воды, кг/ч, в двухтрубных тепловых сетях в открытых и закрытых системах теплоснабжения при качественном регулировании отпуска теплоты следует определять по формуле

$$G_{\text{р}} = G_o' + G_{\text{в}}'' + k_3 G_{\text{г}}''', \quad (47)$$

Коэффициент k_3, учитывающий долю среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании по нагрузке отопления, следует принимать по табл. 8

При регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения коэффициент k_3 принимается равным нулю.

Таблица 8. Значения коэффициента k_3

Система теплоснабжения	Значение коэффициента k_3
Открытая с тепловым потоком 100 и более МВт	0,6
менее 100 МВт	0,8
Закрытая с тепловым потоком 100 и более МВт	1,0
менее 100 МВт	1,2

Расход сетевой воды по кварталам распределяется пропорционально расходам тепла* в кварталах:

$$G_{o(к)} = G_o' \frac{Q_{o(к)}'}{\sum Q_o}; G_{в(к)} = G_в'' \frac{Q_{в(к)}''}{\sum Q_в}; G_{Г(к)} = G_Г''' \frac{Q_{Г(к)}^{ср}}{\sum Q_Г} \quad (48)$$

где $Q_{o(к)}', Q_{в(к)}'', Q_{Г(к)}^{ср}$ – расходы тепла в кварталах, принимаемые из табл.2;

$\sum Q_o, \sum Q_в, \sum Q_Г^{ср}$ –суммарные расходы тепла в районе, принимаемые из

табл.1;

$G'_o, G''_в, G'''_Г$ - суммарные расходы сетевой воды.

Данные расчетов распределения сетевой воды по кварталам заносят в табл. 9.

* Распределение тепловых нагрузок и расходов сетевой воды по кварталам пропорционально их площадям застроек [формулы (8) и (48)] справедливо только при одинаковой этажности всех кварталов района. Одинаковая этажность застроек в индивидуальных заданиях на проектирование задается с целью сокращения расчетных операций. При различной этажности в районе жилые площади в каждом квартале находятся как произведение плотности жилого фонда в квартале на его площадь.

Таблица 9.Расходы сетевой воды по кварталам

№ квартала	Расход воды (отопительный период), т/ч			
	на отопление	на вентиляцию	на горячее водоснабжение	всего
Итого	G'_o	$G''_в$	$G'''_Г$	G_p

После завершения расчетов предыдущих разделов можно приступить к разработке трассы и профиля сетей и выполнению гидравлического расчета трубопроводов.

3.6. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей

Перед выполнением гидравлического расчета разрабатывают расчетную схему тепловых сетей. На ней проставляют номера участков (сначала по главной магистрали, а потом по ответвлениям), расходы теплоносителя, длины участков. При этом главной магистралью является наиболее протяженная и нагруженная ветвь сети от источника теплоты (точки подключения) до наиболее удаленного потребителя.

Основной задачей гидравлического расчета является определение диаметров трубопроводов, а также потерь давления на участках тепловых сетей.По результатам гидравлических расчетов разрабатывают гидравлические режимы систем теплоснабжения, подбирают сетевые и подпиточные насосы, авторегуляторы, дроссельные устройства, оборудование тепловых пунктов.

Гидравлический расчет выполняют по таблицам и номограммам, представленным в [7,9,10].Сначала выполняют расчет главной магистрали. По известным расходам, ориентируясь на рекомендованные величины удельных потерь давления$R_л$, определяют диаметры трубопроводов $d_н$xS, фактические удельные потеридавления$R_л$, Па/м, а также скорость движения теплоносителя, ωм/с. Условный проход труб независимо от расчетного расхода теплоносителя должен приниматься в тепловых сетях не менее 32 мм. Скорость движения воды не должна быть более 3,5 м/с. Определив диаметры трубопроводов, находят количество компенсаторов на участках и другие виды местных

сопротивлений. Потери давления в местных сопротивлениях определяют по формулам, приведенным в [7].Затем определяют полные потери давления на участках главной магистрали и суммарные по всей ее длине. Далее выполняют гидравлический расчет ответвлений, увязывая потери давления в них с соответствующими частями главной магистрали (от точки деления потоков до концевых потребителей). Увязку потерь давления следует выполнять подбором диаметров трубопроводов ответвлений. Невязка не должна быть более 10 %. Если такая увязка невозможна, то излишний напор на ответвлениях должен быть погашен соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами потребителей.

Таблицы и номограммы гидравлического расчета, приведенные в [9,10], составлены для эквивалентной шероховатости труб $K_э$= 0,5 мм. При расчете трубопроводов с другой шероховатостью к значениям удельных потерь давления $R_л$следует принимать поправочный коэффициент β(см. [8.Табл. 4.14]).Диаметры подающего и обратного трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при совместной подаче теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение должны приниматься, как правило, одинаковыми.

При неизвестном располагаемом перепаде давления в начале теплотрассы удельные потери давления $R_л$в магистральных тепловых сетях могут быть приняты согласно рекомендациям [10]:

а)на участках главной магистрали 20-40, но не более 80 Па/м;

б)на ответвлениях – по располагаемому перепаду давления,
но не более 300 Па/м.

Результаты расчета сводятся в таблицу 10.

Таблица 10.Гидравлический расчет водяной тепловой сети

Гидравлический расчет											
Участок	Расход сетевой воды		Длина по плану	Предварительный расчет		Окончательный расчет				Потери напора, м	
	G, т/ч	G, кг/с	l, м	*w,* м/с	dнxS, мм	Rл, Па/м	lэ, м	lпр, м	ΔP, Па	ΔH	∑ΔH
1											
2											

3.7. Гидравлические режимы водяных тепловых сетей

Для водяных тепловых сетей могут разрабатываться следующие гидравлические режимы:

расчетный–по расчетным расходам сетевой воды;

зимний–при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода;

переходный–при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода;

летний – при максимальной нагрузке горячего водоснабжения в неото-

пительный период;

статический– при отсутствии циркуляции теплоносителя в тепловой сети;

аварийный.

Эквивалентную шероховатость внутренней поверхности новых стальных труб для водяных тепловых сетей $к_э$ следует принимать равной 0,0005 м;

Гидравлические режимы водяных тепловых сетей (пьезометрические графики) разрабатываются для отопительного и неотопительного периодов.

Пьезометрический график позволяет: определить напоры в подающем и обратном трубопроводах, а также располагаемый напор в любой точке тепловой сети; с учетом рельефа местности, располагаемого напора и высоты зданий выбрать схемы присоединения потребителей; подобрать авторегуляторы, сопла элеваторов, дроссельные устройства для местных систем теплопотребления; подобрать сетевые и подпиточные насосы.

Пьезометрические графики строятся для магистральных и квартальных тепловых сетей. Для магистральных тепловых сетей могут быть приняты масштабы: горизонтальный $М_г$ 1:10 000, вертикальный $М_в$1:1 000; для квартальных тепловых сетей: $М_г$ 1:1 000, $М_в$ 1:500.

Пьезометрические графики строятся для гидростатического и гидродинамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат в магистральных сетях принимают местоположение ТЭЦ. В принятых масштабах строят профиль трассы и высоты присоединенных потребителей. За нулевую отметку оси ординат (оси напоров) принимают обычно отметку низшей точки теплотрассы или отметку сетевых насосов. Строят линию статического напора, величина которого должна быть выше местных систем теплопотребления не менее чем на 5 м, обеспечивая их защиту от «опорожнения», и в то же время должна быть менее на 10 м (или более) величины максимального рабочего напора для местных систем.

Величина максимального рабочего напора местных систем теплопотребления составляет: для систем отопления со стальными нагревательными приборами и для калориферов – 80 м; для систем отопления с чугунными радиаторами – 60 м; для независимых схем присоединения с поверхностными теплообменниками – 100 м.

Гидростатический напор в системах теплоснабжения при теплоносителе воде должен определяться для температуры сетевой воды, равной 100 °С.

Затем приступают к построению графиков напоров для гидродинамического режима. На оси ординат откладывают требуемый напор у всасывающих патрубков сетевых насосов (30-35 м) в зависимости от марки насоса. Давление и температура воды на всасывающих патрубках сетевых, подпиточных, подкачивающих и смесительных насосов не должны быть ниже давления кавитации и не должны превышать допускаемых значений по условиям прочности конструкций насосов.

Далее, используя результаты гидравлического расчета, строят линию потерь напора обратной магистрали. Величина напоров в обратной магистра-

ли должна соответствовать требованиям, указанным выше при построении линии статического напора. Напор воды в обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при гидродинамическом режиме должен быть избыточным (не менее 5 м), быть выше местных систем теплопотребления не менее чем на 5 м, обеспечивая их защиту от «опорожнения», и в то же время должен быть меньше на 10 м (или более) величины максимального рабочего напора для местных систем теплопотребления. Далее строится линия располагаемого напора для системы теплоснабжения расчетного квартала, величина которого может быть принята 40-50 м.

Затем строится линия потерь напора подающего трубопровода, а также линия потерь напора в коммуникациях источника теплоты (ТЭЦ). При отсутствии данных потери напора в коммуникациях ТЭЦ могут быть приняты равными 25-30 м. Напор во всех точках подающего трубопровода, исходя из условия его механической прочности, не должен превышать 160 м.

Следует также учитывать, что напор в подающих трубопроводах водяных тепловых сетей при работе сетевых насосов должен обеспечить «невскипание» воды при ее максимальной температуре.

Пьезометрический график при изменении напора подпиточного насоса может быть перемещен параллельно себе вверх или вниз, если возникает опасность «опорожнения» или «раздавливания» местных систем теплопотребления.

Под пьезометрическим графиком располагают спрямленную однолинейную схему теплотрассы с ответвлениями, указывают номера и длины участков, диаметры трубопроводов, расходы теплоносителя, располагаемые напоры в узловых точках. На пьезометрическом графике главной магистрали строится график расчетного ответвления.

Построение графика гидродинамического режима может выполняться и другими методами, изложенными в [7].

Пьезометрические графики (по указанию преподавателя)могут быть построены и для неотопительного периода. При этом для определения потерь напора в подающем и обратном трубопроводах главной магистрали открытых и закрытых систем теплоснабжения в неотопительный период можно воспользоваться методикой изложенной в [15].

Потери напора в коммуникациях источника, а также располагаемый напор перед расчетным кварталом принимают такими же, как и для отопительного периода.

В [7] приведен пример гидравлического расчета варианта тепловой сети с построением пьезометрического графика.

3.8. Подбор сетевых и подпиточных насосов

Напор сетевых насосов $H_{\text{сн}}$ следует принимать равным сумме потерь напора в оборудовании источника теплоты $\Delta H_{\text{ист}}$, в подающем $\Delta H_{\text{под}}$, и обратном $\Delta H_{\text{обр}}$ трубопроводах магистральных тепловых сетей от источника теплоты до наиболее удаленного квартала и в системе теплоснабжения квар-

тала$\Delta H_{\text{кв}}$(включая потери в тепловых пунктах и насосных) присуммарных расчетных расходах воды по следующей формуле:

$$H_{\text{сн}} = \Delta H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{под}} + \Delta H_{\text{обр}} + \Delta H_{\text{кв}} \qquad (49)$$

Потери напора в коммуникациях источника теплоты при отсутствии более точных данных могут быть приняты равными 25-30 м. Потери напора в квартальной системе теплопотребления следует принимать не менее 40-50 м. Потери напора в подающем и обратном трубопроводах для отопительного периода принимают по результатам гидравлического расчета при пропуске суммарных расчетных расходов воды, определенных в разделе 3.5. Методика определения потерь напора для неотопительного периода открытых и закрытых систем теплоснабжения изложена в [15].

Подачу (производительность) рабочих насосов следует принимать:

- сетевых насосов для систем теплоснабжения в отопительный период - по суммарному расчетному расходу воды, определяемому по формуле (47)
- сетевых насосов для систем теплоснабжения в неотопительный период - по максимальному расходу воды на горячее водоснабжение в неотопительный период, определяемому по формуле (47).

Число сетевых насосов следует принимать не менее двух, один из которых резервный. При пяти рабочих сетевых насосах, соединённых параллельно в одной группе, допускается резервный насос не устанавливать.

Подпиточные насосы подбираются по расходу подпиточной воды и статическому напору в системе.

Количество подпиточной воды соответствует величине утечки через неплотности системы и разбору на горячее водоснабжение. Расчетная величина утечки $V_{\text{п}}^{\text{у}}$составляет 0,5...0,75 % от объема воды в трубопроводах сети и в местных системах водопотребления. Удельный объем воды, заполняющей трубопроводы сетей, принимаются из [7].Удельный объем воды в местных системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения принимается ориентировочно равным 0,03 м^3 на 1 кВт тепловой нагрузки [15]. Общий расход подпиточной воды принимается:

для закрытых сетей $V_{\text{п}} = V_{\text{п}}^{\text{у}} = 0{,}0075 \cdot V,$ (50)

для открытых сетей $V_{\text{п}} = V_{\text{п}}^{\text{у}} + V_{\text{г}}^{\text{ср}}$ (51)

где $V_{\text{п}}$– расход подпиточной воды, м^3/ч;

$V_{\text{п}}^{\text{у}}$– величина утечки воды из сетей (в открытых системах учитывается объем воды в местных системах горячего водоснабжения), м^3/ч;

$V_{\text{г}}^{\text{ср}}$– среднечасовой расход воды на горячее водоснабжение, м^3/ч;

V– объем воды в трубопроводах тепловой сети, м^3.

Напор подпиточных насосов определяется по пьезометрическому графику при температуре воды до 100 ^{0}С и проверяется на невскипание в по-

дающем трубопроводе в отопительный и летний периоды. Количество подпиточных насосов в закрытых системах принимается не менее двух, в открытых – не менее трех, из которых один резервный. Подбор сетевых и подпиточных насосов производится из [11].

3.9. Конструирование тепловой сети

В соответствии с расположением кварталов на генплане, исходя из требований норм проектирования [1], намечается трасса теплосети. На территории населенных мест трасса выбирается параллельно проездам и красным линиям застроек в свободной полосе, отведенной для прокладки инженерных коммуникаций, т.е. вне проезжей части дорог и зеленых насаждений. В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной и пролегать в одной стороне от проезда или застройки, так как частые пересечениялиний городского транспорта удорожают сети. Пересечения тепловыми сетями рек, дорог и сооружениями различного назначения должны выполняться под прямым углом или в исключительных случаях под углом не менее 45°.

Разбивку трассы следует проводить с выбором профиля. Уклон тепловых сетей должен быть не менее 0,002,ответвления к отдельным зданиям выполняются с уклоном от зданий к ближайшей камере. При этом должны выдерживаться заглубления тепловых сетей от поверхности земли не менее: 0,5 м - до верха перекрытий каналов; 0,3м до верха перекрытий камер; 0,7 м - до верха оболочки бесканальныхпрокладок.Уменьшение заглубления сетей допускается лишь при высоком уровне грунтовых вод[1]. Ломаный профиль и частые повороты трассы удорожают сети из-за устройства камер для размещения воздушников, дренажей и других элементов для обслуживания сетей. В связи с этим для исполнения принимается вариант с минимальным числом камер на трассе, с максимальным приближением профиля к прямой линии с уклоном ее к горизонту при минимальном объеме земляных работ.

При выборе схемы магистральных тепловых сетей необходимо учитывать обеспечение надежности и экономичности их работы. Следует стремиться к наименьшей протяженности тепловых сетей, к меньшему количеству тепловых камер, применяя, по возможности, двухстороннее подключение кварталов. При прокладке в районе города двух и более крупных магистралей от одного источника следует предусматривать, при необходимости, устройство резервных перемычек между магистралями. Водяные тепловые сети следует принимать, как правило, двухтрубными, подающими теплоноситель одновременно на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и технологические нужды.

3.9.1. Разработка монтажной схемы теплопроводов

Монтажная схема тепловых сетей вычерчивается в соответствии с указаниями по оформлению чертежей [16]. Сначала вычерчивается осевая линия теплотрассы, затем монтажная схема трубопроводов со всеми ответвлениями.

На монтажной схеме сети указываются:

- трубопроводы и их обозначение, арматура, компенсаторы, неподвижные опоры, углы поворотов, опуски труб, точки дренажа трубопроводов;
- маркировку элементов сетейи их нумерацию;
- направление уклона;
- линии секущих плоскостей поперечных разрезов и их нумерацию;
- расчетные нагрузки на неподвижные опоры (при необходимости).

Расстояния между камерами, нишами, ответвлениями и неподвижными опорами указываются по осевой линии теплотрассы.

При разработке монтажной схемы трубопроводов следует:

- размещать подающий трубопровод справа, а обратный -слева (если смотреть от ТЭЦ);
- места установки неподвижных опор совмещать с узлами ответвлений труб, местами установки на трубопроводах запорной арматуры, сальниковых компенсаторов, грязевиков и другого оборудования;
- расстояния между неподвижными опорами принимать в соответствии с [7];
- запорную арматуру устанавливать на ответвлениях от магистрали и на магистрали для секционирования ее на время ремонта и промывки;
- на трубопроводах с условным проходом 500 мм и более устанавливать задвижки с электроприводом;
- П-образные компенсаторы устанавливать в середине участков между неподвижными опорами.

Номера камер на монтажном плане должны соответствовать номерам камер на генплане.

3.9.2. Выбор способа прокладки

В городах и, населенных пунктах теплопроводы прокладываются бесканально или в непроходных каналах. Тепловые сети $D_{\text{у}} \leq 500$ мм рекомендуется [1] прокладывать бесканально. На местности с сильно пересеченным профилем допускается надземная прокладка на стойках.

Конструктивные размеры бесканальных прокладок приведены в литературе [2,9,10,]. Стенки каналов и ниш собираются из сборных железобетонных элементов или изготовляются из бетона.

Конструкции рекомендованных типовых железобетонных элементов принимаются в зависимости от диаметров прокладываемых теплопроводов [7,10,14]. При компоновке теплофикационных камер необходимо пользоваться типовыми размерами камер и блоков, из которых собираются каме-

ры[7,10,14].

Уклон труб попутного дренажа принимается не менее 0,003.

3.9.3. Выбор способа компенсации температурных деформаций

Компенсация температурных деформаций в тепловых сетях обеспечивается компенсаторами сальниковыми, сильфонными, радиальными, а также самокомпенсацией– использованием участков поворотов теплотрассы. Сальниковые компенсаторы имеют большую компенсирующую способность, малую металлоемкость, однако требуют постоянного наблюдения и обслуживания. В местах размещения сальниковых компенсаторов при подземной прокладке должны быть предусмотрены тепловые камеры. Сальниковые компенсаторы выпускаются D_y = 100-1 400 мм на условное давление до 2,5 МПа и температуру до 300 °С, односторонние и двухсторонние. Сальниковые компенсаторы желательно применять на прямолинейных участках трубопроводов с большими диаметрами. Сильфонные компенсаторы выпускаются для трубопроводов диаметром от 50 до 1 000 мм. Они не требуют обслуживания и могут применяться при любых способах прокладки. Однако они имеют сравнительно небольшую компенсирующую способность (до 100 мм), и их допускается применять с использованием направляющих опор. Широкое применение получили радиальные (в основном П-образные) компенсаторы. Радиальныекомпенсаторы могут применяться для любых диаметров, они не требуют обслуживания, однако металлоемки, имеют значительную осевую реакцию и большее гидравлическое сопротивление по сравнению с сальниковыми и сильфонными. При решении вопросов компенсации температурных деформаций в тепловых сетях в первую очередь необходимо использовать для самокомпенсации естественные углы поворота трассы, и уже затем применять специальные компенсирующие устройства.

3.9.4. Механический расчет теплопроводов

В проекте предлагается выполнить расчет одной подвижной и одной неподвижной опоры. Расположение неподвижной опоры на монтажном плане трубопроводов, для которой рассчитывается нагрузка, студент выбирает самостоятельно. Методика расчета опор приведена в литературе [7,10]

При расчете участков самокомпенсации определяются размеры плеч на углах поворотов труб, при которых предельные изгибающие напряжения не превышают допустимых, и распорные усилия, передаваемые на неподвижные опоры. Расчет участков различной конфигурации производится с использованием номограмм, приведенных в литературе [10]. В проекте предлагается выполнить расчет одного из участков сети.

3.9.5. Тепловой расчет теплопроводов

Тепловой расчет теплопроводов выполняется с целью определения толщины основногослоя тепловой изоляции и падения температуры теплоносителя в сети. Основные требования к используемым теплоизоляционным

материалам при канальной и бесканальной прокладке трубопроводов изложены в [2,3] Расчет толщины тепловой изоляции трубопроводов выполняется в соответствии с [3].В курсовом проекте предлагается выполнить расчет толщины тепловой изоляции трубопровода по нормируемой плотности теплового потока для варианта канальной или бесканальной прокладки (по выбору студента).

Расчет толщины тепловой изоляции трубопроводов $\delta_к$по нормированной плотности теплового потока выполняют по формуле

$$\delta_к = \frac{d(B-1)}{2}, \quad (52)$$

где d– наружный диаметр трубопровода, м

B – отношение наружного диаметра изоляционного слоя d_i к диаметру трубопровода$d(B = d_i/d)$.

Величину B определяют по формуле

$$B = e^{2\pi\lambda_к R_к}, \quad (53)$$

где e – основание натурального логарифма;

$\lambda_к$– коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, определяемый по прил. 7 и 8, Вт/(м· °С)

$R_к$ – термическое сопротивление слоя изоляции, (м· °С)/Вт, величину которого определяют по формуле

$$R_к = R_{tot} - \sum R_i,$$

где R_{tot} – суммарное термическое сопротивление слоя изоляции и других дополнительныхтермических сопротивлений на пути теплового потока, определяемое по формуле

$$R_{tot} = \frac{(t_w - t_e)}{q_e \cdot k_1}, \quad (54)$$

где $q_e -$ нормированная линейная плотность теплового потока, Вт/м, принимаемая по [2] или по прил.6;

$t_w -$ средняя за период эксплуатации температура теплоносителя;

k_1– коэффициент, принимаемый по прил. 9

t_e– среднегодовая температура окружающей среды.

При подземной прокладке t_eсреднегодовая температура грунта, которая для большинства городов находится в пределах от +1 до +5 °С.

Виды дополнительных термических сопротивлений$\sum R_i$ зависят от способа прокладки тепловых сетей.

При подземной канальной прокладке

$$\sum R_i = R_{пс} + (1 + \psi)\left(R_{пк} + R_к + R_{гр}\right) \quad (55)$$

При подземной бесканальной прокладке

$$\sum R_i = R_{гр} + R_о\psi \quad (56)$$

В формулах (55) и (56)$R_{пс} -$ термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя, (м· °С)/Вт, определяемое по формуле

$$R_{пс} = \frac{1}{\alpha_е \pi (d+0{,}1)}, \quad (57)$$

где $\alpha_е -$ коэффициент теплоотдачи с поверхности тепловой изоляции в ок-

ружающий воздух, Вт/(м^2 · °С),который согласно [2] принимается при прокладке в каналах $\alpha_{\text{е}} = 8$ Вт/(м^2 · °С);

$d -$ наружный диаметр трубопровода, м.

$R_{\text{пк}} -$ термическое сопротивление поверхности канала, определяемое по формуле

$$R_{\text{пк}} = \frac{1}{\alpha_{\text{е}} \pi d_{\text{вэ}}}, \quad (58)$$

где $\alpha_{\text{е}}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности канала, $\alpha_{\text{е}} = 8$ Вт/(м^2 · °С);

$d_{\text{вэ}}$ – внутренний эквивалентный диаметр канала, м, определяемый по формуле

$$d_{\text{вэ}} = \frac{4F}{P}, \quad (59)$$

где F – внутреннее сечение канала, м^2;

P – периметр сторон сечения канала по внутренним размерам, м.

$R_{\text{к}}$ – термическое сопротивление стенки канала, определяемое по формуле:

$$R_{\text{к}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{ст}}} ln \frac{d_{\text{нэ}}}{d_{\text{вэ}}}, \quad (60)$$

где $\lambda_{\text{ст}} -$ теплопроводность стенки канала, для железобетона $\lambda_{\text{ст}}$= 2,04 Вт/(м^2 · °С);

$d_{\text{нэ}} -$ наружный эквивалентный диаметр канала, определяемый по наружным размерам канала, м;

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{гр}}} ln \left(\frac{2h}{d_{\text{нэ}}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{\text{нэ}}{}^2} - 1} \right), \quad (61)$$

где $\lambda_{\text{гр}} -$ коэффициент теплопроводности грунта, зависящий от его структуры и влажности. При отсутствии данных значение $\lambda_{\text{гр}}$ можно принимать для влажных грунтов 2,0-2,5 Вт/(м^2 · °С), для сухих грунтов 1-1,5 Вт/(м^2 · °С);

$h -$ глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м;

$R_{\text{о}} -$ добавочное термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при бесканальной прокладке, величину которого определяют по формулам:

для подающего трубопровода

$$R_{\text{о1}} = \psi_1 \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{гр}}} ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}; \quad (62)$$

для обратного трубопровода

$$R_{\text{о2}} = \psi_2 \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{гр}}} ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}, \quad (63)$$

где $h -$ глубина заложения осей трубопроводов, м;

$b -$ расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл.11.

$\psi_1, \psi_2 -$ коэффициенты, учитывающие взаимное влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам

$$\psi_1 = \frac{q_{e1}}{q_{e2}}; \psi_2 = \frac{q_{e2}}{q_{e1}}$$

где q_{e1}, q_{e2} – нормированные линейные плотности тепловых потоков соответственно для подающего и обратного трубопроводов, Вт/м, принимаемые по [2].

Таблица 11. Расстояние между осями трубопроводов

Расстояние	Диаметр условного прохода труб, мм										
	50-80	100	125-150	200	250	300	350	400	450	500	600
b,мм	350	400	500	550	600	650	700	800	900	1000	1300

Расчетную величину теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции на основе волокнистых материалов и изделий (матов, плит, холстов) следует округлять до значений, кратных 10 мм.

В конструкциях на основе минераловатных полуцилиндров, жестких ячеистых материалов, материалов из вспененного синтетического каучука, пенополиэтилена и пенопластов следует принимать ближайшую к расчетной толщину изделий по нормативным документам на соответствующие материалы.

Если расчетная толщина теплоизоляционного слоя не совпадает номенклатурной толщиной выбранного материала, следует принимать по действующей номенклатуре ближайшую более высокую толщину теплоизоляционного материала.

3.9.6. Компоновка элементов оборудования

Разрабатывая раскладку труб вканалах, нишах, на поворотах трасс, в камерах необходимо принимать расстояния между трубами и строительными ограждениями не менее установленных норм[1,10]. Принятые свободные зазоры, всвету должны обеспечивать свободное удлинение труб, предварительнуюрастяжку. Размещение труб всечениях прокладок должно отвечать правилам итребованиям, изложенным в руководствах [1,10].Высота железобетонных подушек под подвижными опорами должна приниматься не менее100 ммдля труб D_y<300 мм и150 мм – для трубDy>300мм.

Устройство и габариты подземных камер должны обеспечивать удобство и безопасность обслуживания. Высота камеры выбирается не менее1,8 - 2 м, глубина - таким образом, чтобы обеспечить свободную высоту между низом теплопроводов и днищем камеры не менее 1100 мм. Каждая камера площадью до 6 м^2 должна иметь не менее двух выходных люков, расположенных по диагонали, при большей площади - четыре люка. Размеры люков принимаются по [2]. Минимальные расстояния в свету между оборудованием, трубами и ограждениями, предусмотренные для удобства технического обслуживания в камерах, принимаются по справочной литературе [2,10].

4. Литература

1. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. М.: Госстрой России, 2003.
2. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2003.
3. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001.
4. СНиП 2.04.01.85*. Внутренний водопровод и канализация зданий. М.:ГУПЦПП, 1999.
5. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.: Госстрой России, 2000.
6. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. М.: ГУП ЦПП, 1997.79с.

7.Степанов В.М., Козин В.Е. и др. Проектирование теплоснабжения. Учебное пособие. Тула, ТулГУ, 2001. 153 с.

8. Ионин А.А. и др. Теплоснабжение. Учебник для вузов/ - М.: Стройиздат, 1982, 336 с.

9. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. М.: Стройиздат, 1988. 432 с.

10. Проектирование тепловых сетей: Справочник проектировщика / Под ред. А. А. Николаева. М.: Стройиздат, 1965. 360 с.

11. Малышенко В. В., Михайлов А. К. Энергетические насосы: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1981. 200 с.

12. Лямин А. А., Скворцов А. А. Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей. М.: Стройиздат, 1965. 295 с.

13. Зингер Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 320 с.

14. Справочник строителя тепловых сетей / Под ред. С. Е. Захаренко. М.: Энергоатомиздат, 1984. 184 с.

15. Козин В.Е., Пронина И.Б.Методические указания по выполнению курсового проекта «Теплоснабжение района города» для студентов специальности 1208 «Теплогазоснабжение и вентиляция» ч.I и ч.II. Тула, ТулГУ, 1988.

16. ГОСТ 21.605-82. Сети тепловые. Рабочие чертежи. М.: Изд-во стандартов, 1982. 10 с.

5. Приложения

Приложение 1

Удельные расходы тепла на отопление и вентиляцию промышленных зданий при $t_{ро}$=-30 °С

Назначение здания	Строительный объем здания, тыс.м^3	Удельные характеристики, Вт/м^{2o}С	
		Отопление, $x_о$	Вентиляция, $x_в$
Сталелитейные цехи	10-50	0,347-0,292	1,11-0,973
Термические цехи	До 10	0,472-0,347	1,53-1,38
Кузнечные цехи	До 10	0,472-0,347	0,805-0,695
Механические цехи, слесарные мастерские	5-10	0,638-0,528	0,472-0,292
Древообделочные цехи	До 5	0,695-0,639	0,695-0,583
Ремонтные цехи	5-10	0,695-0,583	0,236-0,175

Приложение 2

Температура воды в тепловой сети при качественном регулировании отопительной нагрузки и зависимой схеме присоединения отопительной установки при $t_в$=18°С

$\overline{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o}$	Температура воды в подающей линии при $\tau'_1, °C$						Температура обратной воды $\tau_2, °C$
	95	110	120	130	140	150	
0,2	38,3	41,3	43,3	45,3	47,3	49,3	33,3
0,4	54	60	64	68	72	76	44
0,6	68,5	77,5	83,5	89,5	95,6	101,5	53,5
0,8	82	94	102	110	118	126	62
1	95	110	120	130	140	150	70

Приложение 3

Средняя температура сетевой воды, возвращаемой к источнику

Система теплоснабжения	Центральное регулирование	
	По отопительной нагрузке	По суммарной нагрузке
Закрытая	$\tau_{2ср} = \frac{G_o\tau_{2o} + G_в\tau_{2в} + G_Г\tau_{2Г}}{G_o + G_в + G_Г}$	$\tau_{2ср} = \frac{G_o\tau_{2o} + G_в\tau_{2в}}{G_o + G_в}$
Открытая	$\tau_{2ср} = \frac{[G_o - (1-\beta)G_Г]\tau_{2o} + G_в\tau_{2в}}{G_o - (1-\beta)G_Г + G_в}$	$\tau_{2ср} = \frac{[G_o - G_Г]\tau_{2o} + G_в\tau_{2в}}{G_o - G_Г + G_в}$

Приложение 4. Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади q_o, Вт.

Этажность жилой застройки	Характеристика зданий	расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления t_o, °С										
		-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55
Для постройки до 1985 г.												
1 - 2	Без учета внедрения энергосберегающих мероприятий	148	154	160	205	213	230	234	237	242	255	271
3 - 4		95	102	109	117	126	134	144	150	160	169	179
5 и более		65	70	77	79	86	88	98	102	109	115	122
1 - 2	С учетом внедрения энергосберегающих мероприятий	147	153	160	194	201	218	222	225	230	242	257
3 - 4		90	97	103	111	119	128	137	140	152	160	171
5 и более		65	69	73	75	82	88	92	96	103	109	116
Для постройки после 1985 г.												
1 - 2	По новым типовым проектам	145	152	159	166	173	177	180	187	194	200	208
3 - 4		74	80	86	91	97	101	103	109	116	123	130
5 и более		65	67	70	73	81	87	87	95	100	102	108

Примечание

1. Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при капитальных и текущих ремонтах, направленных на снижение тепловых потерь.
2. Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения прогрессивных архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь.

Приложение 5 . Максимальные расстояния между неподвижными опорами трубопроводов

Условный проход труб, мм	Компенсаторы П-образные	Компенсаторы сальниковые	Самокомпенсация
	Расстояния между неподвижными опорами в м при параметрах теплоносителя: $P_{раб}$ = 8 - 16 кгс/см^2, t = 100 - 150 с°		
1	2	3	4
32	50	-	30
40	60	-	36
50	60	-	36
70	70	-	42
80	80	-	48
100	80	70	48
125	90	70	54
150	100	80	60
175	100	80	60
200	120	80	72
250	120	100	72
300	120	100	72
350	140	120	84
400	160	140	96
450	160	140	96
500	180	140	108
600	200	160	120
700	200	160	120
800	200	160	120
900	200	160	120
1000	200	160	120

Приложение 6. Нормы плотности теплового потока q_e, Вт/м, через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при числе часов работы в год более 5000

Условный проход труб	Тип прокладки							
	открытый воздух		тоннель, помещение		непроходной канал		бесканальная	
	средняя температура теплоносителя, °С							
d, мм	50	100	50	100	50	90	50	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	11	20	8	18	8	18	9	20
32	12	22	8	20	9	20	10	20
40	12	23	9	21	10	21	11	22
50	14	26	10	23	11	23	12	24
65	16	29	12	26	12	27	13	29
80	17	31	13	28	13	29	14	31
100	19	34	14	31	14	33	15	35
125	21	38	16	35	15	39	16	38
150	23	42	18	38	17	42	17	42
200	28	50	22	46	19	49	19	49
250	33	57	26	53	21	54	21	54
300	39	67	29	60	24	60	24	60
350	45	77	33	66	26	64	26	64
400	49	84	36	72	28	70	28	70
450	54	91	39	78	31	79	31	79
500	58	98	43	84	32	84	32	84
600	67	112	49	96	35	93	35	93
700	75	124	55	107	37	107	37	107
800	83	137	61	118	38	119	38	119
900	91	150	67	130	43	128	43	128
1000	100	163	74	141	46	140	46	140
1200					53	158	53	158
1400	133	215	99	187	58	179	58	179

Примечание

1. При расположении изолируемых поверхностей в тоннеле к нормам плотности следует вводить коэффициент 0.85
2. При применении в качестве теплоизоляционного слоя пенополиуретана, фенольного поропласта ФЛ, полимербетона величину q_e определяют с учетом коэффициента k_2.

Приложение 7. Расчетные теплотехнические характеристики теплоизоляциионных материалов и изделий

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции, кг/м^3	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из}$, Вт/(м·°С) для поверхностей с температурой, °С		Температура применений, °С	Группа горючести
		20 и выше	19 и ниже		
Маты минераловатные прошивные	120	0,045 + 0,00021 t_m	0,044-0,035	От минус 180 до 450 для матов,	Негорючие
	150	0,049 + 0,0002 t_m	0,048-0,037		
Маты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	65	0,04 + 0,00029 t_m	0,039-0,03	От минус 60 до 400	»
	95	0,043 + 0,00022 t_m	0,042-0,031		
	120	0,044 + 0,00021 t_m	0,043-0,032	От минус 180 до 400	
	180	0,052 + 0,0002 t_m	0,051-0,038		
Теплоизоляционные изделия из вспененного этиленполипропиленового каучука «Аэрофлекс»	60	0,034 + 0,0002 t_m	0,033	От минус 57 до 125	Слабогорючие
Полуцилиндры и цилиндры минераловатные	50	0,04 + 0,00003 t_m	0,039-0,029	От минус 180 до 400	Негорючие
	80	0,044 + 0,00022 t_m	0,043-0,032		
	100	0,049 + 0,00021 t_m	0,048-0,036		
	150	0,05 + 0,0002 t_m	0,049-0,035		
	200	0,053 + 0,00019 t_m	0,052-0,038		
Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты	200	0,056 + 0,000 t_m	0,055-0,04	От минус 180 до 600	
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04 + 0,0003 t_m	0,039-0,029	От минус 60 до 180	Негорючие
	70	0,042 + 0,00028 t_m	0,041-0,03		
Маты и вата из супертонкого стеклянного волокна без связующего	70	0,033 + 0,00014 t_m	0,032-0,024	От минус 180 до 400	»
Маты и вата из супертонкого базальтового волокна без связующего	80	0,032 + 0,00019 t_m	0,031-0,24	От минус 180 до 600	»
Песок перлитовый, вспученный, мелкий	110	0,052 + 0,00012 t_m	0,051-0,038	От минус 180 до 875	»
	150	0,055 + 0,00012 t_m	0,054-0,04		
	225	0,058 + 0,00012 t_m	0,057-0,042		
Теплоизоляционные изделия из пенополистирола	30	0,033 + 0,00018 t_m	0,032-0,024	От минус 180 до 70	Горючие
	50	0,036 + 0,00018 t_m	0,035-0,026		
	100	0,041 + 0,00018 t_m	0,04-0,03		

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции, кг/м^3	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из}$, Вт/(м·°С) для поверхностей с температурой, °С		Температура применений, °С	Группа горючести
		20 и выше	19 и ниже		
Теплоизоляционные изделия из пенополиуретана	40	0,030 + 0,00015 t_m	0,029-0,024	От минус 180 до 130	«
	50	0,032 + 0,00015 t_m	0,031-0,025		
	70	0,037 + 0,00015 t_m	0,036-0,027		
Теплоизоляционные изделия «Кайманфлекс (K-flex)» марок:					
EC	60-80	0,036	0,034	От минус 40 до 105	Слабогорючие
ST	60-80	0,036	0,034	От минус 70 до 130	
ECO	60-95	0,040	0,036		
Теплоизоляционные изделия из пенополиэтилена	50	0,035 + 0,00018 t_m	0,033	От минус 70 до 70	«

Примечание

Средняя температура теплоизоляционного слоя; °С:

$t_m = (t_W+40)/2$ – на открытом воздухе в летнее время, в помещении, в каналах, тоннелях, технических подпольях, на чердаках и в подвалах зданий,

$t_m = t_W/2$ – на открытом воздухе, воздухе в зимнее время, где t_W - температура среды внутри изолируемого оборудования (трубопровода).

Приложение 8. Расчетные технические характеристики материалов, применяемых для изоляции трубопроводов при бесканальной прокладке

Материал	Условный проход трубопровода, мм	Теплопроводность сухого материала, Вт/м^{0}С	Максимальная температура вещества, ^{0}С
Легкий армопенобетон	150 - 800	0,05	150
пенополимербетон	100 - 400	0,06	150
Фенольный поропласт	до 1000	0,05	150
Пенополиуретан	100 - 400	0,033	120

Приложение 9. Коэффициент K_1, учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования)

Район строительства	Способ прокладки оборудования и месторасположение оборудования			
	на открытом воздухе	в помещении, тоннеле	в непроходном канале	бесканальный
Европейские районы	1,0	1,0	1,0	1,0
Урал	0,98	0,98	0,95	0,94
Западная Сибирь	0,98	0,98	0,95	0,94
Восточная Сибирь	0,98	0,98	0,95	0,94
Дальний Восток	0,96	0,96	0,92	0,9
Районы Крайнего Севера и приравненные к ним	0,96	0,96	0,92	0,9

Приложение 10. Коэффициент $К_2$, учитывающий увеличение теплопроводности от увлажнения, теплоизоляционного материала и типа грунта

Материал теплоизоляционного слоя	Коэффициент увлажнения K_2		
	Тип грунта по ГОСТ 25100		
	Маловлажный	Влажный	Насыщенный водой
Пенополиуретан	1,0	1,0	1,0
Армопенобетон	1,05	1,05	1,1
Пенополимерминерал	1,05	1,05	1,1

Приложение 11. Виды покрытий для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей от коррозии

Способ прокладки	Температура теплоносителя, °С, не более	Виды покрытий	общая толщина покрытия,мм	ГОСТы или технические условия на материалы
1. Надземный, в тоннелях, по стенам снаружи зданий, внутри зданий, в технических подпольях	Независимо от температуры теплоносителя	Масляно-битумные в два слоя по грунту ГФ-021 (в качестве консервационного покрытия)	0,15-0,2	ОСТ 6-10-426-79 ГОСТ 25129-82
	300	Металлизационное алюминиевое	0,25-0,3	ГОСТ 7871-75
2. Подземный в непроходных каналах (для воды и пара)	300	Стеклоэмалевые марок:		ТУ ВНИИСТ
		105Т в три слоя по одному слою грунта 117	0,5-0,6	
		64/64 в три слоя по грунтовочному подслою из смеси грунтов 70% №2015 и 30% №3132	0,5-0,6	
		13—111 в три слоя по одному слою грунта 117	0,5-0,6	
		596 в один слой по грунтовочному слою из эмали 25М	0,5	
	180	Органосиликатные (типа ОС-51-03) в три слоя с термообработкой при температуре 200°С или в четыре слоя с отвердителем естественной сушки	0,25-0,3	ТУ84-725-83
		Изол в два слоя по холодной изольной мастике марки МРБ-Х-Т15	0,45	
	150	Эпоксидные — эмальЭП-56 в три слоя по шпатлевке ЭП-0010 в два слоя с последующей термической обработкой при температуре 60°С	5-6	ГОСТ 10296-79 ТУ21-27-37-74 МПСМ
		Металлизационноеалюминиевое с допол-нительной защитой	0,35-0,4	ГОСТ 10277-90 ТУ6-10-1243-72
			025-0,3	ГОСТ 7871-75
3. Беска-нальный (для воды и пара)	300 180 150	Стеклоэмалевые - по п. 2 приложения Защитные —по п. 2 приложения, кроме изола по изольной мастике		

Примечания

1. Если заводы-изготовители выпускают покрытия с лучшими технико-экономическими показателями, удовлетворяющие требованиям работы в тепловых сетях, то эти покрытия должны применяться взамен указанных в данном приложении.

2. При применении теплоизоляционных материалов или конструкций, исключающих возможность коррозии поверхности труб, защитное покрытие от коррозии предусматривать не требуется.