

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Институт повышения квалификации и переподготовки**

**Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»**

**Т. С. Юфанова**

**ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
по выполнению курсовой работы  
по одноименной дисциплине  
для слушателей специальности переподготовки  
1-43 01 71 «Техническая эксплуатация  
теплоэнергетических установок и систем  
теплоснабжения»  
заочной формы обучения**

**Гомель 2020**

УДК 658.264(075.8)  
ББК 31.38я73  
Ю93

*Рекомендовано кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и экология»  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 6 от 26.12.2019 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *А. О. Добродей*

**Юфанова, Т. С.**

Ю93

Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий и их техническая эксплуатация : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы по одной дисциплине для слушателей специальности переподготовки 1-43 01 71 «Техническая эксплуатация теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения» заоч. формы обучения / Т. С. Юфанова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 40 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначено для использования в качестве учебно-методического пособия при выполнении курсовой работы по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий и их техническая эксплуатация», с указанием справочного материала, литературы и других нормативных материалов. Включает следующие разделы: определение расчетных тепловых нагрузок, построение графиков расхода теплоты, построение графика центрального регулирования отпуска теплоты, определение часовых расходов сетевой воды, гидравлический расчет тепловой сети, построение пьезометрического графика, выбор схем присоединений зданий к тепловой сети, построение продольного профиля тепловой сети, тепловой расчет.

Для слушателей специальности переподготовки 1-43 01 71 «Техническая эксплуатация теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения» ИПКиП.

УДК 658.264(075.8)  
ББК 31.38я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2020

## ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях рассматривается теплоснабжение промышленного предприятия от ТЭЦ. Тепловые сети предприятия присоединяются к магистральным сетям в камере, местоположение которой выбирается согласно заданию. В системе теплоснабжения, обеспечивающей тепловую нагрузку на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, в качестве теплоносителя применяется вода. Система теплоснабжения закрытая двухтрубная. Для удовлетворения технологической нагрузки к предприятию подведен паропровод. Место ввода паропровода на территорию предприятия условно совпадает с местоположением камеры водяной тепловой сети. При этом практически решаются следующие основные вопросы:

1. Определение расходов тепла и воды по отдельным видам теплоснабжения.
2. Гидравлические расчеты водяных тепловых сетей.
3. Построение пьезометрического графика водяной тепловой сети и выбор схемы присоединения зданий к тепловой сети.
4. Построение продольного профиля водяной тепловой сети.
5. Тепловой расчет водяной тепловой сети.

Необходимо отметить, что все технические решения должны приниматься согласно действующим в настоящее время в республике нормативным документам.

## **Задание на курсовую работу**

Исходные данные для выполнения курсовой работы выбирают по приложениям 1–5 согласно двум последним цифрам номера зачетной книжки студента.

Исходными данными являются:

1. Генплан промышленного предприятия (Приложение 1). Местоположение камеры подключения предприятия к тепловой сети задается преподавателем.
2. Город, где расположено промышленное предприятие (Приложение 5).
3. Расчетные температуры наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции, средняя температура наружного воздуха за отопительный период, продолжительность отопительного периода [1, Приложения 1, 3].
4. Отметки горизонталей рельефа местности (Приложение 6).
5. Расчетная температура сетевой воды, давления в подающем и обратном трубопроводах водяной теплосети в месте расположения камеры подключения, начальное и конечное (у потребителя) давление пара, способ прокладки тепловых сетей, тепловая изоляция (Приложение 5).
6. Экспликация зданий, высоты и объемы зданий, количество умывальников и душев, расход пара, внутренние тепловыделения, наличие выделения вредностей в рабочую зону (Приложение 2).
7. Удельные расходы тепла на отопление и вентиляцию, расчетная температура воздуха внутри помещений (Приложение 3).

## 1. Определение расчетных тепловых нагрузок

В системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) по тепловым сетям подается теплота различным тепловым потребителям. Несмотря на значительное разнообразие тепловой нагрузки, ее можно разбить на две группы по характеру протекания во времени: 1) сезонная; 2) круглогодочная.

Изменения сезонной нагрузки зависят главным образом от климатических условий: температуры наружного воздуха, направления и скорости ветра, солнечного излучения, влажности воздуха и т.п. Основную роль играет наружная температура. К сезонной тепловой нагрузке относятся отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. Ни один из указанных видов нагрузки не имеет круглогодочного характера. К круглогодочной нагрузке относятся технологическая нагрузка и горячее водоснабжение.

Одна из первоочередных задач при проектировании и разработке режима эксплуатации систем централизованного теплоснабжения заключается в определении значений и характера тепловых нагрузок.

Расчетная отопительная нагрузка, Вт:

$$Q_{om.max} = q_o \cdot V \cdot (t_{в.p} - t_{н.о}), \quad (1.1)$$

где  $q_o$  – величина удельной теплопотери здания, Вт/м<sup>3</sup> · К (Приложение 3);

$V$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup> (Приложение 2);

$t_{в.p}$  – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С (Приложение 3);

$t_{н.о}$  – расчетная температура наружного воздуха для отопления, равная средней температуре наиболее холодных пятидневок, взятых из восьми наиболее холодных зим за 50-летний период, °С [1, Приложение 1].

Основная задача отопления заключается в поддержании внутренней температуры помещений на заданном уровне. Для этого необходимо сохранение равновесия между тепловыми потерями здания и теплопритоком. Таким образом, при определении расчетного расхода теплоты на отопление промышленных зданий необходимо учитывать величину внутренних тепловыделений от технологического оборудо-

вания цехов, которые бывают довольно устойчивы и нередко представляют существенную долю расчетной отопительной нагрузки, а также потери инфильтрацией, достигающие 25-30 % теплотерь через наружные ограждения. Следовательно:

$$Q'_{от. max} = \mu \cdot Q_{от. max} - Q_{вн}, \quad (1.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент инфильтрации; для общественных зданий принимают  $\mu = 0$ , для промышленных зданий  $\mu = 1,25 \dots 1,3$  [1];  
 $Q_{вн}$  – внутренние тепловыделения зданий, Вт.

Расчетная вентиляционная нагрузка, Вт:

$$Q_{в. max} = q_v \cdot V \cdot (t_{в.р} - t_{н.в}), \quad (1.3)$$

где  $q_v$  – удельный расход теплоты на вентиляцию, Вт/м<sup>3</sup> · К (Приложение 3);

$t_{н.в}$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С [1, Приложение 1].

Для снижения расчетного расхода теплоты на вентиляцию минимальная наружная температура, по которой рассчитываются вентиляционные установки,  $t_{н.в}$ , принимается, как правило, выше расчетной температуры для отопления  $t_{н.о}$ . По действующим нормам расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции определяется как средняя температура наиболее холодного периода, составляющего 15 % продолжительности всего отопительного периода. Исключением являются только промышленные цехи с большим выделением вредностей, для которых  $t_{н.в}$  принимается равной  $t_{н.о}$  (к таким цехам относятся: В – чугунолитейный, Г – сталелитейный, Д – термический, Е – кузнечный, Н – меднолитейный, М – цех покрытий металлами).

Когда температура наружного воздуха становится ниже  $t_{н.в}$ , расход теплоты на вентиляцию не должен выходить за пределы расчетного расхода. Это достигается сокращением кратности обмена воздуха в помещении.

Расчетная нагрузка горячего водоснабжения, Вт:

$$Q_{г.в} = \frac{1,2 \cdot (m \cdot a \cdot (t_{см.1} - t_{х.в}) + n \cdot b \cdot (t_{см.2} - t_{х.в})) \cdot c_p}{3.6}, \quad (1.4)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий остывание горячей воды в абонентских системах горячего водоснабжения;

$m$  – количество душей, шт.;

$a$  – норма расхода горячей воды в душе,  $a = 60$  л/ч;

$t_{см.1}$  – температура смеси горячей и холодной воды в душе,  
 $t_{см.1} = 37$  °С;

$t_{х.в}$  – температура холодной водопроводной воды,  $t_{х.в} = 5$  °С;

$n$  – количество умывальников, шт.;

$b$  – норма расхода горячей воды на умывальник,  $b = 5$  л/ч;

$t_{см.2}$  – температура смеси горячей и холодной воды в умывальнике,  
 $t_{см.2} = 35$  °С;

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

Все расчеты тепловых нагрузок сводятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Расчетные тепловые нагрузки предприятия**

Обозначение зданий	Назначение зданий	$V, \text{ м}^3$	$Q_{вн}, \text{ кВт}$	$Q_{от.тах}, \text{ кВт}$	$Q_{в.тах}, \text{ кВт}$	$Q_{г.в}, \text{ кВт}$	$\Sigma Q, \text{ кВт}$
...							
Итого:							

## 2. Построение графиков расхода теплоты

График годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха строится на основании графика суммарных часовых расходов теплоты и состоит из двух частей (рис. 2.1): левой – графика зависимости суммарных часовых расходов теплоты по различным видам теплопотребления в зависимости от температуры наружного воздуха и правой – годового графика расхода теплоты в зависимости от продолжительности стояния наружных температур.

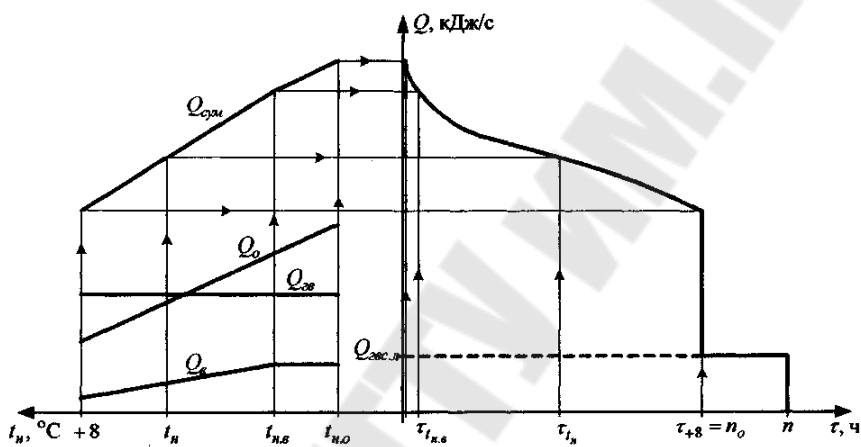


Рис. 2.1. График расхода тепла по продолжительности тепловых нагрузок

Графики расходов тепла по отдельным видам теплопотребления и суммарный график расхода теплоты строятся по трем точкам, соответствующим трем среднесуточным температурам  $t_n$  наружного воздуха:  $+8\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{н.о}$  и  $t_{н.в}$ . При этом для определения недостающих значений тепловых нагрузок отопления и вентиляции ( $Q_o$  при  $+8\text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{н.в}$ ;  $Q_v$  при  $+8\text{ }^\circ\text{C}$  (для зданий с вредными тепловыделениями дополнительно при  $t_{н.в}$ ) используют следующие формулы пересчета тепловых нагрузок:

$$Q_o = Q'_{om.max} \cdot \frac{t_{в.р} - t_n}{t_{в.р} - t_{н.о}}, \quad (2.1)$$



$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{в.макс}} \cdot \frac{t_{\text{в.р}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в.р}} - t_{\text{н.в}}}, \quad (2.2)$$

где в качестве  $t_{\text{н}}$  последовательно подставляют указанные выше температуры наружного воздуха.

Так как расчетная температура воздуха внутри помещений  $t_{\text{в.р}}$  разная для зданий различного назначения, расчеты расходов теплоты на отопление и вентиляцию следует производить отдельно по каждому зданию или по их группе с одинаковой  $t_{\text{в.р}}$  с последующим суммированием по типам нагрузки. Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение – круглогодичная, в течение отопительного периода условно принимается постоянной, не зависящей от температуры наружного воздуха. Поэтому график расхода теплоты на горячее водоснабжение представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс.

Правая часть графика представляет собой зависимость суммарной тепловой нагрузки, соответствующей определенным среднесуточным температурам наружного воздуха (из левой части графика), от продолжительности стояния этих температур (числа часов за отопительный период со среднесуточными температурами наружного воздуха, равными и ниже данных).

Для построения правой части графика необходимо знать продолжительность стояния среднесуточных температур наружного воздуха за отопительный период для заданной климатической местности (Приложение 3), при этом следует заполнить табл. 2.1.

Таблица 2.1

Температура наружного воздуха $t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н.о}}$	—	—	—	8
Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной	—	—	—	—	$n_{\text{о}}$

В летний период (диапазон продолжительности стояния  $t_{\text{н}}$  от  $n_{\text{о}}$  до  $n = 8400$  ч) тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию отсутствуют, нагрузка на горячее водоснабжение составит  $0,8 \cdot Q_{\text{г.в.}}$ .

### 3. Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводе теплосети в зависимости от температуры наружного воздуха (графика центрального регулирования отпуска теплоты)

Одним из основных способов регулирования отпуска теплоты источником централизованного теплоснабжения является выработка тепла с оптимальными, экономически наиболее выгодными параметрами (качественное регулирование отпуска теплоты). Для определения таких оптимальных параметров теплоносителя строится график температур.

Построение графика основано на определении зависимости температуры сетевой воды в подающей и обратной магистрали от температуры наружного воздуха.

Так как расход тепла на отопление и вентиляцию является основным для промышленных предприятий, то представляется необходимым построение графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке.

Построение графика основано на определении зависимости температуры сетевой воды в подающей и обратной магистралях от температуры наружного воздуха.

График температур в подающем и обратном трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха строится для заданных климатических условий и температурного графика сети в расчетном режиме ( $\tau_n/\tau_o$ , °C) (рис. 3.1).

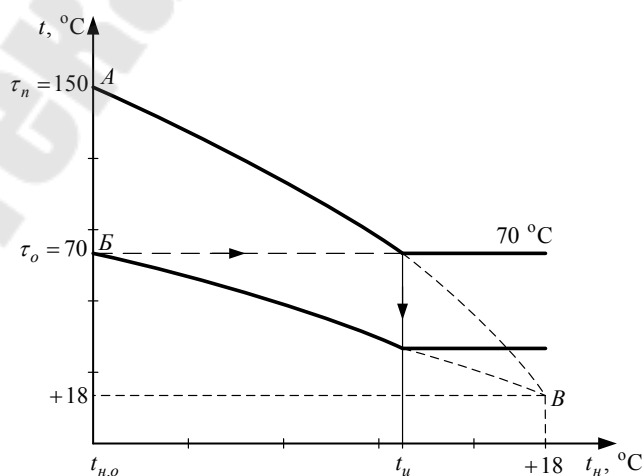


Рис. 3.1. График температур воды в подающем и обратном трубопроводе теплосети в зависимости от температуры наружного воздуха

На ось ординат наносятся точки А и Б, соответствующие расчетной температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе при  $t_{н.о}$ . Далее находят на графике точку В, соответствующую расчетной температуре воздуха отапливаемых помещений  $t_{в.р}$  и равной ей температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе.

Затем производят расчеты для построения линий АВ и БВ по следующим выражениям:

$$\tau'_n = t_{в.р} + \Delta t \cdot \left[ \frac{t_{в.р} - t'_n}{t_{в.р} - t_{н.о}} \right]^{0,8} + (\Delta\tau - 0,5 \cdot \theta) \cdot \left[ \frac{t_{в.р} - t'_n}{t_{в.р} - t_{н.о}} \right], \quad (3.1)$$

$$\tau'_o = t_{в.р} + \Delta t \cdot \left[ \frac{t_{в.р} - t'_n}{t_{в.р} - t_{н.о}} \right]^{0,8} - 0,5 \cdot \theta \cdot \left[ \frac{t_{в.р} - t'_n}{t_{в.р} - t_{н.о}} \right] = \tau'_n - \Delta\tau \cdot \left[ \frac{t_{в.р} - t'_n}{t_{в.р} - t_{н.о}} \right], \quad (3.2)$$

где  $\tau'_n$ ,  $\tau'_o$  – температуры в подающем и обратном трубопроводе теплосети при  $t'_n$ , °С;

$\Delta t$  – температурный напор нагревательного прибора, °С:

$$\Delta t = [(\tau_э + \tau_o) / 2] - t_{в.р}; \quad (3.3)$$

$\tau_э$  – расчётная температура воды, поступающей в отопительные приборы (после смешения в элеваторе), °С, равная

$$\tau_э = \frac{\tau_n + a \cdot \tau_o}{1 + a}, \quad (3.4)$$

$a$  – коэффициент смешения, равный отношению количества обратной воды, подмешиваемой элеватором, к количеству воды, поступающей из теплосети (принимается  $a = 1 \div 2,5$ );

$\Delta\tau$  – расчётный перепад температур воды в тепловой сети:

$$\Delta\tau = \tau_n - \tau_o, \text{ °С};$$

$\tau_n$ ,  $\tau_o$  – температура воды в прямом и обратном трубопроводе тепловой сети соответственно при расчетной температуре наружного воздуха  $t_{н.о}$ ;

$t'_n$  – произвольная температура наружного воздуха в диапазоне температур от  $t_{н.о}$  до,  $t_{в.р}$ , °С;

$\theta$  – расчетный перепад температур воды в местной системе отопления, °С;  $\theta = \tau_g - \tau_o$ .

Так как по тепловым сетям одновременно подаётся теплота на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение (ГВС), для удовлетворения тепловой нагрузки ГВС необходимо внести коррективы в график температур воды в теплосети. Температура нагреваемой воды на выходе из водоподогревателя ГВС должна быть 60-65 °С, поэтому минимальная температура сетевой воды в подающей магистрали для закрытой системы теплоснабжения принимается равной 70 °С. Для этого отопительный график срезается на уровне 70 °С. Точка излома графика делит его на две части с различными режимами регулирования: в диапазоне температур наружного воздуха от температуры точки излома  $t_{н.и}$  до  $t_{н.о}$  осуществляется центральное качественное регулирование отпуска теплоты, в диапазоне от +8 °С (температуры начала и окончания отопительного периода) до  $t_{н.и}$  – местное количественное (регулирование расхода теплоносителя через абонентские системы).

#### 4. Определение часовых расходов сетевой воды

Расчетные расходы сетевой воды определяются отдельно для каждого вида нагрузки.

Расчетный расход сетевой воды на отопление, кг/с:

$$G_{от} = Q'_{от.max} / (\tau_n - \tau_o) \cdot c, \quad (4.1)$$

где  $\tau_n, \tau_o$  – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе при температуре  $t_{н.о}, ^\circ\text{C}$ ;

$c$  – теплоемкость воды,  $c = 4,187$  кДж/кг · К.

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию, кг/с:

$$G_v = Q_{в.max} / (\tau'_n - \tau'_o) \cdot c, \quad (4.2)$$

где  $\tau'_n, \tau'_o$  – температуры сетевой воды подающем и обратном трубопроводе при температуре  $t_{н.в}$  (кроме зданий В, Г, Д, Е, Н, М, для которых расчетные расходы сетевой воды рассчитываются при температуре  $t_{н.о}$ ),  $^\circ\text{C}$ .

Расчетный расход сетевой воды на горячее водоснабжение, кг/с:

$$G_{г.в.} = Q_{г.в.} / (\tau''_n - \tau''_o) \cdot c, \quad (4.3)$$

где  $\tau''_n, \tau''_o$  – температуры сетевой воды подающем и обратном трубопроводе при температуре  $t_{н.г.в.}, ^\circ\text{C}$ .

Все значения  $\tau$  определяются из графика центрального регулирования отпуска теплоты.

Определенные по вышеизложенным формулам расчетные расходы сетевой воды для каждого здания сводятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

#### Расчетные расходы сетевой воды

Обозначение здания	$G_{от}, \text{кг/с}$	$G_{в}, \text{кг/с}$	$G_{г.в.}, \text{кг/с}$	$\sum G_i, \text{кг/с}$
...				
$\sum G_j, \text{кг/с}$				

Для построения графиков расходов сетевой воды кроме расчетных, т.е. максимальных, по тем же формулам определяются другие характерные значения расходов сетевой воды:

- для отопления при  $t_n = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ , т.е. при температуре, соответствующей началу отопительного сезона (при этом необходимо учесть, что в зданиях, имеющих внутренние тепловыделения, начало отопительного сезона происходит при более низкой температуре);

- для вентиляции – также при  $t_n = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Кроме того, необходимо определить часовой расход сетевой воды на вентиляцию при  $t_{н.о}$ , но т.к. без дополнительных данных а характеристиках калориферов, кратности обмена воздуха это сделать невозможно, то следует принять величину  $G_v$  на 15% ниже расчетной (для зданий В, Г, Д, Е, Н, М равна расчетной);

- для горячего водоснабжения – при температуре  $t_{н.о}$ .

Графики расходов сетевой воды (рис. 4.1) строятся для каждого вида нагрузки по всем зданиям, а также строится суммарный график расходов сетевой воды по всем видам нагрузки. На оси абсцисс откладываются температуры наружного воздуха от  $+8 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{н.о}$  со всеми характерными точками, на оси ординат – значения расходов сетевой воды.

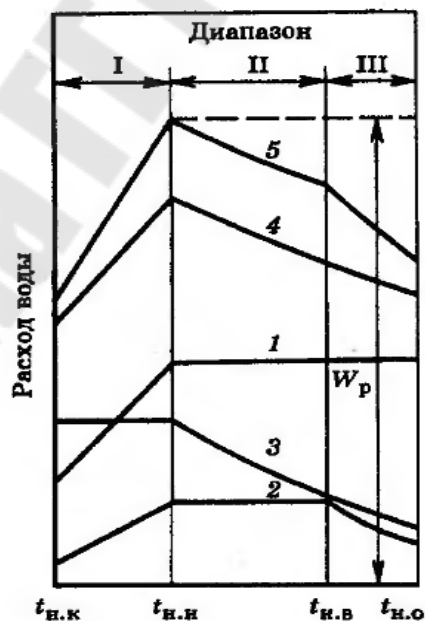


Рис. 4.1. График суммарного расхода сетевой воды в закрытой системе теплоснабжения:

1 – отопление; 2 – вентиляция; 3 – горячее водоснабжение; 4 – расход на отопление и горячее водоснабжение; 5 – суммарный расход на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение

## 5. Гидравлический расчет тепловой сети

### 5.1. Общие сведения

Основной задачей гидравлического расчета является определение диаметров трубопроводов, а также потерь давления на участках тепловых сетей. Гидравлический расчет закрытой системы теплоснабжения выполняется для подающего теплопровода, принимая диаметр обратного теплопровода и падение давления в нем таким же, как и в подающем.

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

Расчет состоит из двух этапов: предварительного и проверочного.

Сначала выполняют расчет главной магистрали. По известным расходам, ориентируясь на рекомендованные величины удельных потерь давления  $R_{л}$ , определяют диаметры трубопроводов  $d_{нхс}$ , фактические удельные потери давления  $R'_{л}$ , Па/м, а также скорость движения теплоносителя  $W$ , м/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. Затем определяют потери давления в местных сопротивлениях, 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 конечных 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.

Эквивалентную шероховатость  $k_s$  внутренней поверхности стальных труб следует принимать, м:

0,0002 — для паровых тепловых сетей из стальных труб;

0,0005 — водяных тепловых сетей из стальных труб;

0,001 — сетей горячего водоснабжения из стальных труб;

$5 \cdot 10^{-6}$  — трубопроводов из полимерных материалов.

## 5.2. Предварительный расчет

При известном располагаемом давлении  $\Delta p$  для всей сети, а также для ответвлений предварительно определяют ориентировочные средние удельные потери давления  $R_n$ , Па/м:

$$R_n = \frac{\Delta p}{\Sigma l \cdot (1 + \alpha)}, \quad (5.1)$$

где  $\Delta p$  – располагаемый перепад давления, Па;

$\Sigma l$  – суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления), на потери давления в которой используется величина  $\Delta p$ , м;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях;

$$\alpha = 0,019\sqrt{G}, \quad (5.2)$$

где  $G$  – расход теплоносителя на участке, кг/с.

В данной курсовой работе при неизвестном располагаемом перепаде давления в начале и конце теплотрассы удельные потери давления  $R_n$  в тепловых сетях могут быть приняты:

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.

Диаметр трубопровода, м:

$$d = A_d^g \cdot G^{0,38} / R_n^{0,19}, \quad (5.3)$$

где  $A_d^g$  – коэффициент, определяется по Приложению 8;



$G$  – расход теплоносителя на участке, кг/с.

Выбираем по Приложению 10 стандартную ПИ-трубу с ближайшим внутренним диаметром.

### 5.3. Поверочный расчет

После установления диаметров теплопроводов производится разработка монтажной схемы, которая заключается в расстановке на трассе тепловых сетей неподвижных опор, компенсаторов и запорно-регулирующей арматуры. На участках между узловыми камерами, т.е. камерами в узлах ответвлений, размещают неподвижные опоры, расстояние между которыми зависит от диаметра теплопровода, типа компенсатора и способа прокладки тепловых сетей (Приложение 7). В каждой узловой камере устанавливают неподвижную опору. На участке между двумя неподвижными опорами предусматривают компенсатор. Повороты трассы теплосети под углом 90-130° используют для самокомпенсации температурных удлинений, а в местах поворотов под углом более 130° устанавливаются неподвижные опоры. неподвижные опоры располагают на теплопроводах большего диаметра. запорную арматуру устанавливают на всех ответвлениях и на магистральных участках через одно-два ответвления. В камерах на ответвлениях к отдельным зданиям при диаметре ответвлений до 50 мм и длине до 30 м запорную арматуру допускается не устанавливать. При этом должна предусматриваться арматура, обеспечивающая отключение группы зданий с суммарной тепловой нагрузкой до 0,6 МВт.

Действительное линейное удельное падение давления, Па/м:

$$R'_l = A_R^g \cdot G^2 / d^{5,25}, \quad (5.4)$$

где  $A_R^g$  – коэффициент, определяется по Приложению 8.

Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений, м:

$$l_s = A_l \cdot \sum \xi \cdot d^{1,25}, \quad (5.5)$$

где  $A_l$  – коэффициент, определяется по Приложению 6;

$\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений, установленных на участке (Приложение 9).

Определяются потери давления на участке, Па:

$$\Delta p = R'_l \cdot (l + l_g). \quad (5.6)$$

После расчета главной магистрали приступают к расчету ответвлений. По принципу увязки потери давления  $\Delta p$  от точки деления потоков до конечных точек для различных ветвей системы должны быть равны между собой.

Рассмотрим расчет ответвлений на примере. Схема тепловой сети изображена на рис. 5.1.

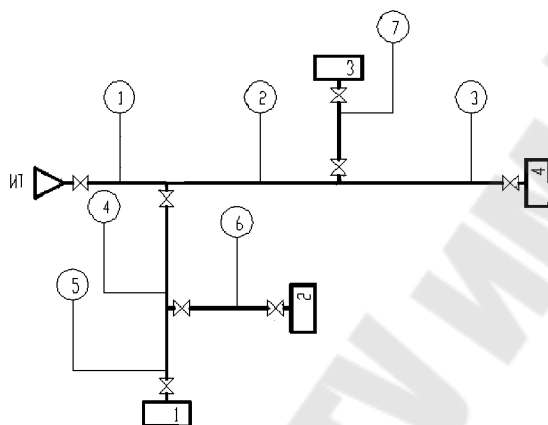


Рис. 5.1. Расчетная схема тепловой сети

Согласно вышесказанному, необходимо стремиться к выполнению следующих условий:

$$\Delta p_{(4+5)} = \Delta p_{(2+3)}; \quad \Delta p_6 = \Delta p_5; \quad \Delta p_7 = \Delta p_3.$$

В соответствии с этими условиями находят ориентировочные удельные потери давления для ответвлений по формуле (5.1). Например, для ответвления с участками 4 и 5 получим:

$$R_{l(4,5)} = \frac{\Delta p_{(2+3)}}{l_{(4+5)} \cdot (1 + \alpha)}.$$

По полученному значению находят диаметры трубопроводов, действительные удельные потери давления, скорости теплоносителя, потери давления на участках 4 и 5 (по формулам (5.2)–(5.6)).

Затем определяется невязка потерь давления на ответвлениях, которая должна лежать в пределах 10 %. Например, для ответвления с участками 4 и 5 невязка составит:

$$\delta = \frac{\Delta p_{(2+3)} - \Delta p_{(4+5)}}{\Delta p_{(2+3)}} \cdot 100\% \leq 10\%.$$

Если условие не выполняется, то находим диаметры отверстий дроссельных шайб, устанавливаемых на ответвлениях (при этом  $\Delta p_{\text{отв}} < \Delta p_{\text{маг}}$ ):

$$d_{\text{отв}}^{\parallel} = 10^4 \sqrt{\frac{(G)^2}{H_{\text{др}}}} \text{ мм}, \quad (5.7)$$

где  $G$  — расчетный расход воды в трубопроводе, т/ч;

$H_{\text{др}}$  — напор, гасимый дроссельной диафрагмой, м. вод. ст.  
( $H_{\text{др}} = \Delta p_{\text{маг}} - \Delta p_{\text{отв}}$ ).

После определения потерь давления на каждом участке теплосети рассчитывают напоры в подающем  $H_{\text{ни}}$  и обратном  $H_{\text{oi}}$  трубопроводе, а также располагаемый напор  $H_{\text{pi}}$  в конце каждого участка.

$$H_{\text{ни}} = H_{\text{п}(i-1)} - \Delta p_i; \quad (5.8)$$

$$H_{\text{oi}} = H_{\text{o}(i-1)} + \Delta p_i; \quad (5.9)$$

$$H_{\text{pi}} = H_{\text{ни}} - H_{\text{oi}}, \quad (5.10)$$

где  $H_{\text{п}(i-1)}$ ,  $H_{\text{o}(i-1)}$  — напоры в подающем и обратном трубопроводе в начале данного участка, м. вод. ст.;

$\Delta p_i$  — потеря давления на  $i$ -м участке, м. вод. ст.

Таблица 5.2

Результаты гидравлического расчета

№ уч.	$G$ , кг/с	$l$ , м	$l_{\text{э}}$ , м	$d_{\text{нхS}}$ , мм	$W$ , м/с	$R_{\text{л}}$ , Па/м	$\Delta p$ , Па (м. вод. ст.)	$H_{\text{н}}$ , м. вод. ст	$H_{\text{o}}$ , м. вод. ст	$H_{\text{р}}$ , м. вод. ст	$\sum \xi$
...											

## 6. Построение пьезометрического графика

После выполнения гидравлического расчета водяных тепловых сетей приступают к построению графика давлений для расчетной магистрали и характерных ответвлений. Напор, м, отсчитанный от оси прокладки теплопровода, называется пьезометрическим, а график давлений – пьезометрическим графиком.

Пьезометрические графики строятся для гидростатического и гидродинамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат принимают низшую отметку горизонталей рельефа местности (Приложение 6). В принятых масштабах изображается рельеф местности вдоль теплотрассы и высоты присоединенных зданий (Приложение 2). Строят линию статического напора, величина которого должна быть выше местных систем теплоснабжения не менее чем на 5 м, обеспечивая их защиту от «оголения», 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 теплоснабжения 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.

Затем приступают к построению графиков напоров для гидродинамического режима. По оси ординат вначале откладывают разность между низшей отметкой рельефа местности и отметкой оси теплопровода в камере подключения промпредприятия к магистральным сетям, затем величины начального и конечного напоров теплосети в этой камере ( $H_n$  и  $H_o$ ). После этого строятся графики напоров подающей и обратной линий тепловой сети на основании данных табл. 5.2.

Под пьезометрическим графиком располагают спрямленную однолинейную схему теплотрассы с ответвлениями, указывают номера и длины участков, диаметры трубопроводов, расходы теплоносителя, располагаемые напоры в узловых точках.

## **7. Выбор схем присоединений зданий к тепловой сети**

Выбор схем присоединения систем отопления к тепловой сети производят исходя из пьезометрического графика [1, с. 201].

Требуется обосновать выбор схемы присоединения каждого здания. При выборе схемы присоединения необходимо учитывать пьезометрические характеристики, а также возможность и целесообразность местного количественного регулирования теплоснабжения всех подключенных абонентов.

## 8. Построение продольного профиля тепловой сети

По трассе тепловых сетей строится продольный профиль. На продольном профиле показывают: отметки поверхности земли (проектные – сплошной линией, существующие – штриховой); пересекаемые инженерные сети и сооружения; отметки низа трубы тепловой сети, дна и потолка канала; глубину заложения теплопровода; уклон и длину участков тепловой сети; диаметр теплопровода и тип канала, кроме того, дается развернутый план трассы с указанием углов поворота, ответвлений, неподвижных опор, компенсаторов и тепловых камер. При надземном способе прокладки даются отметки верха несущей конструкции и низа теплопровода.

Уклон теплопровода независимо от способа прокладки должен составлять не менее 0,002. количество сопряжений участков с обратными уклонами должно быть по возможности наименьшим.

В самых низших точках теплопровода предусматривают дренажные выпуски, а в высших – воздушники, которые размещаются в камерах.

Заглубление тепловых сетей от поверхности земли до верха перекрытия каналов должно быть не менее 0,5 м, до верха перекрытия камер – не менее 0,3 м, до верха оболочки теплопровода при бесканальной прокладке – не менее 0,7 м. Высота надземной прокладки теплопроводов от поверхности земли до низа изоляционной конструкции должна быть не менее 0,5 м, в отдельных случаях допускается уменьшение этого расстояния до 0,35 м.

Пример построения продольного профиля приведен в Приложении 12.

## 9. Тепловой расчет

Необходимо определить удельные тепловые потери предизолированных (ПИ) трубопроводов с жесткой пенополиуритановой (ППУ) изоляцией для каждого участка тепловой сети.

Коэффициент теплопроводности изоляции:

$$\lambda_{\text{из}} = 0,019 \dots 0,035 \text{ Вт/м}\cdot\text{С}.$$

Толщина слоя изоляции определяется из Приложения 10:

$$\delta_{\text{из}} = (D - d)/2, \text{ мм.} \quad (9.1)$$

### 9.1 Надземная прокладка

– По справочным данным (СНиП Строительная климатология, СНБ Строительная климатология) определяют скорость ветра,  $\omega$  м/с и среднегодовую температуру наружного воздуха,  $t_o$  °С.

– Определяем среднегодовую температуру теплоносителя,  $\tau$ .

За расчетную температуру теплоносителя для трубопроводов водяных тепловых сетей следует принимать:

- для подающего трубопровода при переменной температуре сетевой воды и качественном регулировании – по табл. 9.1. При проектном температурном графике, отличающимся от приведенного в табл. 9.1, расчетная температура определяется линейной интерполяцией;

- для обратных трубопроводов – 50 °С;

Таблица 9.1

Расчетная температура теплоносителя

Температурный режим водяных тепловых сетей, °С	95-70	150-70	180-70
Расчетная температура теплоносителя, $\tau$ °С	65	90	110

- Зададимся коэффициентом теплоотдачи наружной поверхности  $\alpha_{\text{нп}} = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

- Рассчитываем суммарное термическое сопротивление изоляции и наружной поверхности изоляции

$$R_{\gamma} = R_{\text{из}} + R_{\text{нпи}} = \frac{1}{2\rho l_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{нтр}}} + \frac{1}{\rho d_{\text{из}} \delta_{\text{нп}}}, \quad (9.2)$$

где  $d_{\text{из}} = D$  – диаметр изолированной трубы, м (Приложение 10);  
 $d_{\text{нтр}} = d$  – наружный диаметр неизолированной трубы, м (Приложение 10);

- Рассчитываем температуру наружной поверхности изоляции:

$$t_{\text{нп.из}} = \frac{\frac{\tau}{R_{\text{из}}} + \frac{t_0}{R_{\text{нпи}}}}{\frac{1}{R_{\text{из}}} + \frac{1}{R_{\text{нпи}}}}. \quad (9.3)$$

- Рассчитываем коэффициент теплоотдачи от теплопровода к окружающей среде:

$$\alpha_{\text{нп}} = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}; \quad (9.4)$$

$$\alpha_{\text{к}} = 4,65 \frac{\omega^{0,7}}{d_{\text{из}}^{0,3}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (9.5)$$

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{C_{\text{п}} \left[ \left( \frac{t_{\text{нп.из}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right]}{t_{\text{нп.из}} - t_0}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}. \quad (9.6)$$

- Уточняем термическое сопротивление наружной поверхности изоляции и полное термическое сопротивление:

$$R_{\text{нпи}} = \frac{1}{\rho d_{\text{из}} \delta'_{\text{нп}}}. \quad (9.7)$$

- Находим линейные тепловые потери подающего и обратного теплопроводов:

$$q = \frac{\tau - t_0}{R_{\Sigma}}, \text{ Вт/м}. \quad (9.8)$$



## 9.2 Подземная прокладка в непроходных каналах

- Выбираем размеры каналов (Приложение 11).
- Принимаем температуру грунта на глубине заложения канала,  $t_0 = 2-5$  °С.
- Рассчитываем эквивалентный диаметр внутренней и наружной поверхности канала:

$$d_{\text{экв}} = \frac{4(a \cdot b)}{2(a + b)}, \text{ м}; \quad d_{\text{эн}} = \frac{4(a' \cdot b')}{2(a' + b')}, \text{ м}, \quad (9.9)$$

где  $a, b$  – внутренние размеры канала, м;  
 $a', b'$  – наружные размеры канала, м.

- Задаемся теплопроводностью грунта  $\lambda_{\text{гр}}$ , Вт/м·°С.

Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·°С, определяется в соответствии с П1-2018 ТКП 45-4.02-323-2018 в зависимости от классификации грунтов по их влажности, плотности и виду. При отсутствии сведений о грунте коэффициент теплопроводности грунта может быть принят равным;

- 1) для маловлажных грунтов – 1,2;
- 2) для грунтов средней влажности – 1,8;
- 3) для сильновлажных грунтов – 2,3.

- Задаемся коэффициентом теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{н}} = 10 - 15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

- Определяем термическое сопротивление прямого и обратного трубопроводов

$$R_1 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из1}}} \ln \frac{d_{\text{из1}}}{d_1} + \frac{1}{\pi d_{\text{из1}} \alpha_{\text{н}}}; \quad (9.10)$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из2}}} \ln \frac{d_{\text{из2}}}{d_2} + \frac{1}{\pi d_{\text{из2}} \alpha_{\text{н}}}, \quad (9.11)$$

где  $d_{\text{из}} = D$  – диаметр изолированной трубы, м (Приложение 10);  
 $d_1, d_2$  – наружный диаметр неизолированного прямого и обрат-

ного трубопровода, м (Приложение 10).

- Рассчитываем термическое сопротивление канала и грунта

$$R_{ко} = \frac{1}{pd_{эв} \delta_n} + \frac{1}{2\lambda_k} \ln \frac{d_{эв}}{d_{эв}} + \frac{1}{2\lambda_{гр}} \ln \frac{4h}{d_{эв}}, \quad (9.12)$$

где  $h$  – глубина закладки трубопроводов, м;

$\lambda_k$  – теплопроводность стенки канала, для железобетона  $\lambda_k = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ .

- Определяем температуру воздуха в канале

$$t_k = \frac{\tau_1/R_1 + \tau_2/R_2 + t_0/R_{ко}}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{ко}}, \text{°С}, \quad (9.13)$$

где  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (см. § 9.1).

- Рассчитываем линейные тепловые потери:

$$q_1 = \frac{\tau_1 - t_k}{R_1}, \text{Вт/м}, \quad q_2 = \frac{\tau_2 - t_k}{R_2}, \text{Вт/м}. \quad (9.14)$$

### 9.3 Подземная прокладка бесканальная

- Принимаем температуру грунта на глубине заложения теплопровода  $t_0 \sim 2-5 \text{ °С}$ .

- Задаемся теплопроводностью грунта  $\lambda_{гр}$ , Вт/м·°С:

Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·°С, определяется в соответствии с П1-2018 ТКП 45-4.02-323-2018 в зависимости от классификации грунтов по их влажности, плотности и виду. При от-сутствии сведений о грунте коэффициент теплопроводности грунта может быть принят равным:

- 1) для маловлажных грунтов – 1,2;
- 2) для грунтов средней влажности – 1,8;

3) для сильновлажных грунтов – 2,3.

- Задаемся толщиной тепловой изоляции  $\delta_{из}$  (см. начало § 9).
- Рассчитываем термическое сопротивление грунта для глубокой закладки  $h/d_n > 2 - 2,5$ :

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \frac{4h}{d_{из}}, \quad (9.15)$$

где  $d_{из} = D$  – диаметр изолированной трубы, м (Приложение 10);

- Найдем термическое сопротивление изоляции подающего и обратного трубопроводов  $R_{из1}$ ,  $R_{из2}$ :

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d_{нтр}}, \quad (9.16)$$

где  $d_{из} = D$  – диаметр изолированной трубы, м (Приложение 10),  
 $d_{нтр} = d$  – наружный диаметр неизолированной трубы, м (Приложение 10).

- Полное термическое сопротивление:

$$R_1 = R_{из1} + R_{гр}, \quad R_2 = R_{из2} + R_{гр}. \quad (9.17)$$

- Найдем термическое сопротивление взаимного влияния двух трубопроводов друг на друга

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2}, \quad (9.18)$$

где  $b$  – расстояние между осями трубопроводов (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Расстояние между осями трубопроводов

Расстояние, мм	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

- Определяем линейные удельные тепловые потери подающего и обратного трубопроводов:

$$q_1 = \frac{(\tau_1 - t_0)R_2 - (\tau_2 - t_0)R_0}{R_1 R_2 - R_0^2}, \text{ Вт/м}; \quad (9.19)$$

$$q_2 = \frac{(\tau_2 - t_0)R_1 - (\tau_1 - t_0)R_0}{R_1 R_2 - R_0^2}, \text{ Вт/м}. \quad (9.20)$$

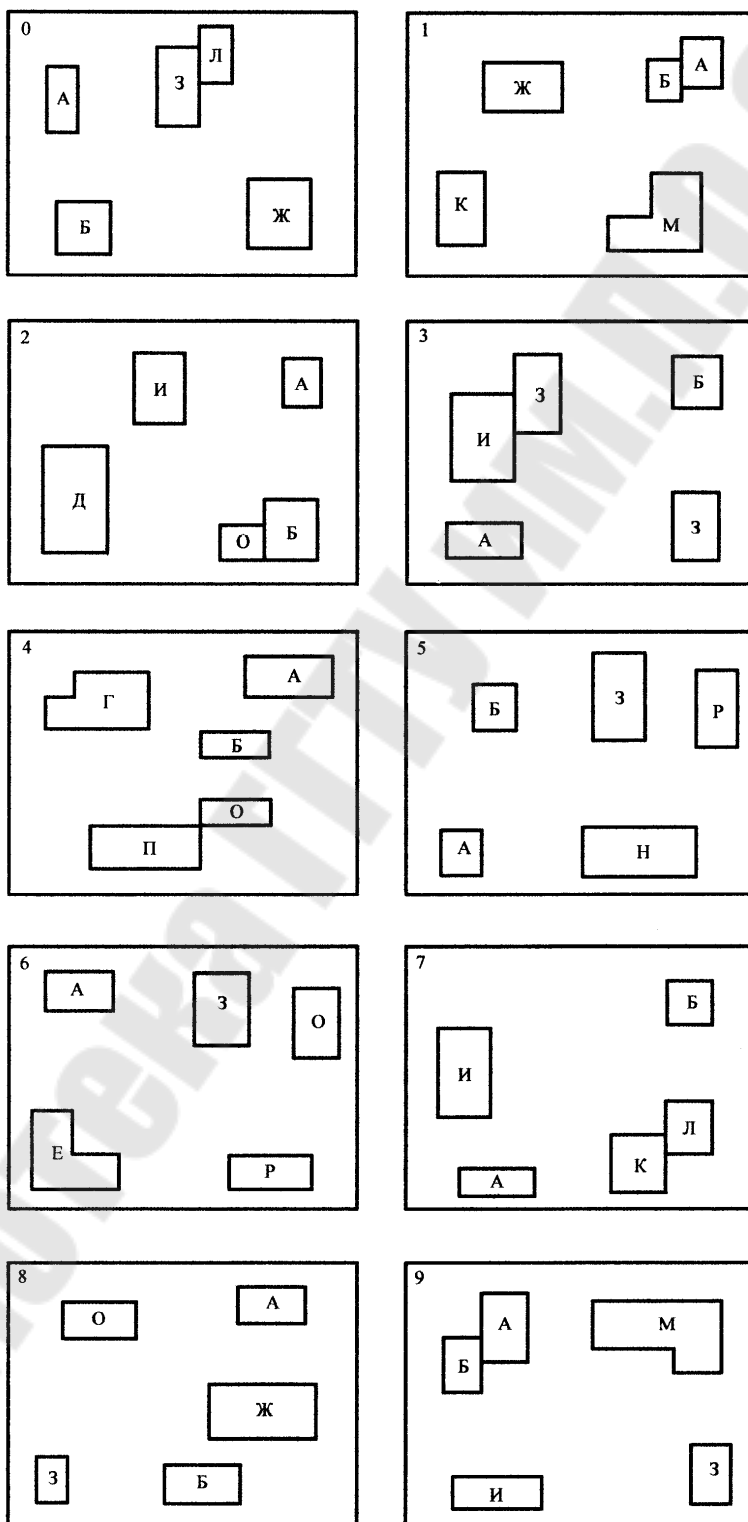
## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е.Я. теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов. – 7-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
2. Теплоснабжение: учеб. для вузов/ А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов и др. Под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
3. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.02-91-2009 / М-во строительства и архитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 26 с.
4. Тепловые сети. Строительные нормы проектирования. ТКП 45-4.02-322-2018

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Генплан предприятия. Выбирается по последней цифре шифра (М 1:5000)



## Экспликация и характеристики зданий

Здание	Назначение здания	Объем здания, м <sup>3</sup>	Количество, шт.		Внутренние тепловыделения, кВт	Высота здания, м
			уменьшителей	душей		
А	Административное здание	18750	6	-	-	36
Б	Столовая	8000	10	3	90	7
В	Чугунолитейный цех	75000	10	12	420	25
Г	Сталелитейный цех	68750	8	8	350	25
Д	Термический цех	75000	12	16	500	30
Е	Кузнечный цех	64000	8	10	400	20
Ж	Механосборочный цех	40000	7	5	-	5
З	Механический цех	37500	6	7	-	12
И	Ремонтный цех	50000	14	9	-	8
К	Деревообделочный цех	43700	11	10	-	8
Л	Склад	6250	-	-	-	6
М	Цех покрытий металлами	15000	5	4	100	10
Н	Меднолитейный цех	31000	13	14	250	25
О	Слесарные мастерские	25000	6	6	-	8
П	Цех металлических покрытий	45000	9	9	250	15
Р	Бытовые помещения	6750	15	-	-	6

**Удельные отопительные и вентиляционные характеристики зданий, расчетная температура воздуха внутри помещений**

Назначение зданий	Строительный объем зданий, тыс. м <sup>3</sup>	Удельная характеристика, Дж/(с • м <sup>3</sup> • °С)		Расчетная температура воздуха внутри помещений, $t_{в.р.}$ , °С
		для отопления $q_0$	для вентиляции $q_B$	
Чугунолитейные цехи	10—50	0,35—0,29	1,28—1,17	+16
	50—100	0,29—0,25	1,17—1,05	
	100—150	0,25—0,21	1,05—0,95	
Сталелитейные цехи	10—50	0,35—0,29	1,12—0,97	+16
	50—100	0,29—0,25	0,97—0,85	
	100—150	0,25—0,21	0,86—0,80	
Меднолитейные цехи	5—10	0,47—0,42	2,80—2,36	+16
	10—20	0,42—0,29	2,36—1,86	
	20—30	0,29—0,24	1,86—1,38	
Термические цехи	до 10	0,47—0,35	1,52—1,40	+16
	10—30	0,35—0,29	1,40—1,17	
	30—75	0,29—0,24	1,17—0,70	
Кузнечные цехи	До 10	0,47—0,35	0,80—0,70	+16
	10—50	0,35—0,29	0,70—0,58	
	50—100	0,29—0,18	0,58—0,35	
Механосборочные и механические цехи, слесарные мастерские	5—10	0,65—0,53	0,47—0,29	+16
	10—50	0,53—0,47	0,29—0,17	
	50—100	0,47—0,44	0,17—0,14	
Деревообделочные цехи	До 5	0,69—0,64	0,69—0,58	+17
	5—10	0,64—0,53	0,58—0,53	
	10—50	0,53—0,47	0,53—0,47	
Цехи металлических покрытий	50—100	0,45—0,42	0,61—0,53	+17
	100—150	0,42—0,35	0,53—0,42	
Цехи покрытий металлами	До 2	0,75—0,69	5,85—4,70	+18
	2—5	0,69—0,64	4,70—3,45	
	5—10	0,64—0,53	3,45—2,36	
Ремонтные цехи	5—10	0,69—0,58	0,23—0,18	+18
	10—20	0,58—0,53	0,18—0,12	
Бытовые и административные вспомогательные помещения	0,5—1	0,70—0,53	—	+18
	1—2	0,53—0,47	---	
	2—5	0,47—0,39	0,17—0,14	
	5—10	0,39—0,35	0,14—0,13	
	10—20	0,35—0,29	0,13—0,11	
Столовые	1-10	0,45	0,8	+16
Склады химикатов, красок и т.п.	До1	1,0—0,86	—	+10
	1—2	0,86—0,75	—	
	2—5	0,75—0,67	0,7—0,53	



**Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной**

Город	Температура наружного воздуха, °С										
	Ниже - 45	- 40	- 35	- 30	- 25	- 20	- 15	- 10	- 5	0	+ 8
<i>Европейская часть</i>											
Архангельск	—	1	10	48	150	380	820	1580	2670	4300	6024
Астрахань	—	—	—	3	32	114	291	601	1238	2460	4128
Баку	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2860
Брянск	—	—	—	2	17	89	356	870	1730	3210	4950
Вильнюс	—	—	—	—	3	23	130	415	1040	2930	4650
Воронеж	—	—	—	7	34	144	470	1020	1850	3380	4780
Волгоград	—	—	—	1	13	126	420	930	1650	3100	4368
Екатеринбург	—	1	11	54	198	494	1070	1980	3020	4000	5470
Златоуст (Челябинская обл.)	—	—	5	48	190	490	1100	2050	3060	4200	5560
Иваново	—	—	5	42	102	275	635	1300	2070	3800	5210
Казань	—	—	1	20	117	328	790	1520	2480	3800	5230
Киев	—	—	—	1	5	36	165	502	1128	2352	4484
Киров	—	—	6	61	173	428	960	1750	2790	4080	5550
Кишинев	—	—	—	—	—	2	46	226	615	2140	3980
Курск	—	—	—	3	15	97	343	872	1740	3260	4750
Луганск	—	—	—	1	8	61	222	605	1260	2760	4320
Львов	—	—	—	—	1	7	40	210	705	2260	4400
Магнитогорск	—	7	26	65	190	566	1250	2560	3360	4100	5250
Махачкала	—	—	—	—	—	3	18	72	260	1030	3620
Минск	—	—	—	4	19	71	232	635	1344	2745	4860
Москва	—	—	3	15	47	172	418	905	1734	3033	4910
Мурмаиск	—	—	—	6	38	135	452	1117	2276	4002	6740
Нижний Новгород	—	—	2	25	99	281	685	1350	2320	3820	5230
Нижний Тагил (Свердловская обл.)	—	5	19	50	154	465	1030	2340	3300	4080	5700
Новороссийск	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3220
Одесса	—	—	—	—	—	5	26	156	544	1950	3960
Орск (Оренбургская обл.)	—	—	5	35	166	500	1060	1810	2640	3770	4820
Орск (Оренбургская обл.)	—	—	3	30	202	620	1250	2010	2760	3900	4890
Пенза	—	—	2	11	55	232	670	1420	2390	3670	4950
Пермь	—	3	15	75	220	504	1050	1840	2850	4080	5420
Петрозаводск	—	—	—	4	40	172	480	1070	2050	3890	5690
Рига	—	—	—	—	2	17	94	362	935	2880	4920
Ростов-на-Дону	—	—	—	—	5	41	178	494	1130	2720	4200
Рязань	—	—	1	13	58	187	540	1170	2080	3620	5100
Самара	—	—	1	10	114	400	890	1490	2360	3780	4950

Окончание

Город	Температура наружного воздуха, °С										
	Ниже - 45	- 40	- 35	- 30	- 25	- 20	- 15	- 10	- 5	0	+ 8
<i>Европейская часть</i>											
Санкт-Петербург	—	—	—	—	21	83	273	708	1533	2878	5240
Саратов	—	—	—	2	38	232	665	1320	2200	2570	4780
Смоленск	—	—	—	2	23	112	381	964	1852	3241	5050
Таллини	—	—	—	—	1	19	136	453	1132	2439	5300
Тбилиси	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3650
Тверь	—	—	—	14	48	160	516	1080	2020	3620	5250
Тула	—	—	2	10	24	70	206	456	2440	3500	4960
Ульяновск	—	—	—	12	94	330	800	1560	2420	3660	5110
Уральск (Западно-Казахстанская обл.)	—	—	2	17	98	362	855	1570	2380	3620	4770
Уфа	—	—	5	40	160	436	980	1780	2770	3900	5060
Харьков	—	—	—	1	10	55	254	656	1420	3060	4550
Челябинск	—	—	7	39	166	520	1110	1950	2980	3920	5180
<i>Азиатская часть</i>											
Актюбииск	—	—	1	22	154	480	1060	1760	2610	3800	4900
Алма-Ата	—	—	12	31	122	300	622	1102	1810	2820	4000
Барнаул	1	12	52	170	415	792	1430	2260	3120	4130	5250
Владивосток	—	—	—	—	2	91	518	1350	2210	3320	4820
Иркутск	—	7	58	172	458	864	1730	2600	3300	4320	5780
Караганда	—	3	35	109	276	584	1070	1870	2820	4020	5080
Красноярск	1	18	82	210	468	828	1360	2110	3000	4050	5650
Кустанай	—	3	8	75	320	776	1430	2220	3080	4050	5110
Минусинск (Красноярский край)	—	25	105	282	600	1065	1660	2390	3140	4130	5430
Новосибирск	—	15	89	205	488	910	1550	2430	3290	4270	5450
Омск	1	6	64	195	485	950	1660	2480	3310	4250	5280
Самарканд	—	—	—	—	—	—	10	74	298	744	3170
Семипалатинск	—	6	49	130	320	692	1280	2000	2860	3860	4850
Ташкент	—	—	—	—	—	7	54	178	459	1206	3120
Тобольск (Тюменская обл.)	—	6	43	158	386	820	1500	2360	3290	4070	5500
Томск	3	17	82	228	500	932	1600	2500	3360	4400	5600
Тюмень	—	5	25	118	294	670	1270	2120	3050	4050	5280
Хабаровск	—	—	2	53	348	1050	1880	2600	3240	3900	4920
Чита	—	22	146	478	1050	1800	2540	3160	3340	4400	5760

**Исходные данные  
(определяются по сумме двух цифр шифра)**

Сумма двух последних цифр шифра	Расчетные температуры сетевой воды $\tau_{II}/\tau_{IO}, ^\circ\text{C}$	Давление в водяной тепловой сети, кПа		Город	Способ прокладки тепловых сетей
		В подающей линии, $H_{II}$	В обратной линии $H_{IO}$		
0	130/70	650	350	Архангельск	Бесканальная
1	150/70	640	340	Брянск	Канальная
2	140/70	630	330	Вильнюс	Надземная
3	140/70	620	320	Воронеж	Надземная
4	150/70	610	310	Волгоград	Бесканальная
5	150/70	600	300	Екатеринбург	Бесканальная
6	140/70	590	290	Казань	Канальная
7	140/70	580	280	Киев	Канальная
8	130/70	570	270	Курск	Надземная
9	150/70	560	260	Львов	Надземная
10	150/70	550	250	Махачкала	Бесканальная
11	140/70	540	240	Минск	Надземная
12	150/70	530	230	Москва	Надземная
13	150/70	520	220	Мурманск	Канальная
14	140/70	550	250	Одесса	Бесканальная
15	150/70	640	340	Пенза	Бесканальная
16	140/70	690	390	Самара	Надземная
17	150/70	700	400	Смоленск	Надземная
18	150/70	710	410	Челябинск	Надземная

**Отметки горизонталей рельефа местности (выбирается по последней цифре шифра)**

Обозначение горизонталей	Отметки горизонталей, м, по последней цифре шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	120	90	90	100	150	47	65	130	50	85
Б	122	89	92	98	152	45	67	132	52	83
В	125	87	93	95	155	50	65	133	55	80
Г	127	85	95	92	156	52	66	135	56	76
Д	125	82	97	90	153	53	68	133	54	74
Е	123	85	96	93	150	50	70	130	52	72
Ж	120	87	94	95	147	48	68	128	50	75
З	119	86	95	97	145	45	67	125	48	77

### 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: $P_{\text{раб}} = 8 - 16 \text{ кгс/см}^2$ , $t = 100 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$		
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 8

**Значения коэффициентов  $A$  для гидравлического расчета**

Коэффициент	Выражение	Абсолютная эквивалентная шероховатость $k_s$ , м		
		0,0002	0,0005	0,001
$A_R$ , м <sup>0,25</sup>	$0,0894k_s^{0,25}$	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$13,3 \cdot 10^{-3}$	$15,92 \cdot 10^{-3}$
$A_R^b$ , м <sup>3,25</sup> /кг	$0,0894 k_s^{0,25}/\rho$	$10,92 \cdot 10^{-6}$	$13,62 \cdot 10^{-6}$	$16,3 \cdot 10^{-6}$
$A_d$ , м <sup>0,0475</sup>	$0,63 k_s^{0,0475}$	0,414	0,435	0,448
$A_d^b$ , м <sup>0,62</sup> /кг <sup>0,19</sup>	$0,63 k_s^{0,0475}/\rho^{0,19}$	$111,5 \cdot 10^{-3}$	$117 \cdot 10^{-3}$	$121 \cdot 10^{-3}$
$A_G$ , м <sup>-0,125</sup>	$3,35/k_s^{0,125}$	9,65	8,62	7,89
$A_G^b$ , кг <sup>0,5</sup> /м <sup>1,625</sup>	$3,35\rho^{0,5}/k_s^{0,125}$	302	269	246
$A_a$ , м <sup>-0,19</sup>	$5,1/k_s^{0,19}$	25,2	21,4	18,6
$A_a^b$ , м <sup>0,53</sup> /кг <sup>0,4</sup>	$5,1/(k_s^{0,125}\rho^{0,24})$	4,54	3,82	3,34
$A_b$ , м <sup>-0,25</sup>	$9,1/k_s^{0,25}$	76,4	60,7	51,1

Приложение 9

**Коэффициенты местных сопротивлений**

Местное сопротивление	$\xi$	Местное сопротивление	$\xi$
Задвижка нормальная	0,5	$30^\circ$	0,2
Кран шаровый	0,3	Отводы сварные двухшовные под углом $90^\circ$	0,6
Вентиль с вертикальным шпинделем	6	Отводы сварные трехшовные под углом $90^\circ$	0,5
Обратный клапан нормальный	7	Отводы гнутые под углом $90^\circ$ гладкие при R/d:	
Обратный клапан "захлопка"	3	1	1
Компенсатор сифонный	0,1	3	0,5
Компенсатор сальниковый	0,3	4	0,3
Компенсатор П-образный: с гладкими отводами	1,7	Тройник при слиянии потоков: проход*	1,5
с крутоизогнутыми отводами	2,4	ответвление	2
со сварными отводами	2,8	Тройник при разделении потока: проход*	1
Отводы гнутые под углом $90^\circ$ со складками при R/d:		ответвление	1,5
3	0,8	Тройник при потоке: расходящемся	2
4	0,5	встречном	3
Отводы сварные одношовные под углом, град:		Грязевик	10
$60^\circ$	0,7		
$45^\circ$	0,3		

\*Коэффициент  $\xi$  отнесен к участку с суммарным расходом воды.

**Типоразмеры и основные параметры стальных ПИ-труб для сетей теплоснабжения**

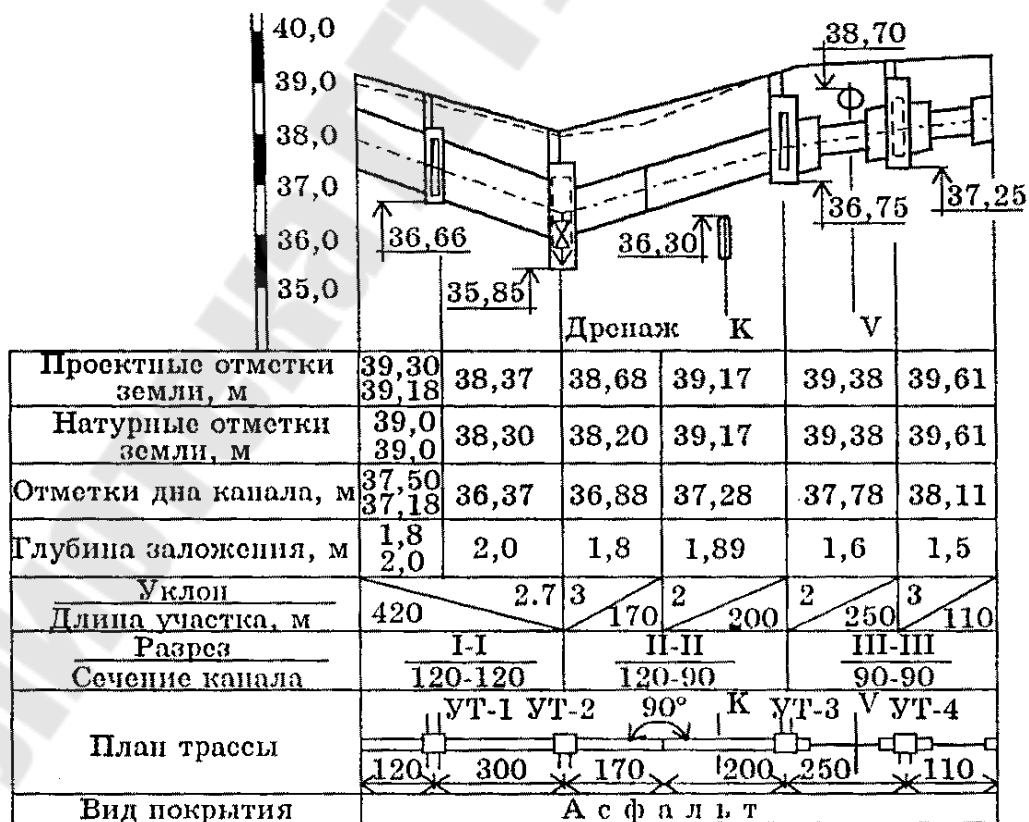
Условный диаметр трубы $d_v$ , мм	Наружный диаметр трубы $d$ , мм	Толщина стенки трубы $\delta_{ст}$ , мм	Внутренний диаметр трубы $d_{вн}$ , мм	Наружный диаметр оболочки $D$ , мм
32	38	3	32	110
40	45	3	39	110
50	57	3	51	125
65	76	3	70	140
80	89	3,5	82	160
100	108	4	100	200
100	114	4	106	200
125	133	4	125	225
150	159	4,5	150	250
200	219	6	207	315
250	273	6	261	400
300	325	6	313	450
350	377	7	363	500
400	426	7	412	560
500	530	7	516	710
600	630	8	614	800
700	720	8	704	900

**Основные типы сборных железобетонных каналов для тепловых сетей серии 3.006-2**

Условный диаметр труб, $d$ , мм	Марка канала	Размеры канала, мм		Расстояния, мм		
		внутренние	наружные	от стенки канала до изоляции	между изоляционными поверхностями	от дна канала до изоляции
25 - 50	КЛ 60-30	600x300	850x440	70	100	100
70-80	КЛ 60-45	600x450	850x630	70	100	100
100 - 150	КЛ 90-45	900x450	1150x630	80	140	150
175 - 250	КЛ 90-60	900x600	1150x780	80	140	150
200 - 300	КЛ 120-60	1200x600	1450x780	100	160	150
350 - 400	КЛ 150-60	1500x600	1800x850	100	200	1-80
	КЛ 210-60	2100x600	2400x890	110	200	180
450 - 500	КЛ 90-90	900x900	1060x1070	110	200	180
	КЛ 120-90	1200x900	1400x1070	110	200	180
	КЛ 150-90	1500x900	1740x1070	110	200	180

Примечание. Расстояние от перекрытия канала до изоляции следует принимать: для труб  $d = 25 - 250$  мм не менее 50 мм,  $d = 200 - 400$  мм не менее 70 мм,  $d = 500$  мм и более - 100 мм.

**Продольный профиль тепловой сети**



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Задание на курсовую работу.....	4
1. Определение расчетных тепловых нагрузок .....	5
2. Построение графиков расхода теплоты.....	8
3. Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводе теплосети в зависимости от температуры наружного воздуха (графика центрального регулирования отпуска теплоты).....	10
4. Определение часовых расходов сетевой воды.....	13
5. Гидравлический расчет тепловой сети	
5.1. Общие сведения.....	15
5.2. Предварительный расчет.....	16
5.3. Проверочный расчет.....	17
6. Построение пьезометрического графика.....	20
7. Выбор схем присоединений зданий к тепловой сети.....	21
8. Построение продольного профиля тепловой сети.....	22
9. Тепловой расчет	
9.1. Надземная прокладка.....	23
9.2. Подземная прокладка в непроходных каналах.....	25
9.3. Подземная прокладка бесканальная.....	26
Литература.....	29
Приложения	



**Юфанова Татьяна Сергеевна**

**ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**Учебно-методическое пособие  
по выполнению курсовой работы  
по одноименной дисциплине  
для слушателей специальности переподготовки  
1-43 01 71 «Техническая эксплуатация  
теплоэнергетических установок и систем  
теплоснабжения»  
заочной формы обучения**

Подписано в печать 16.03.20.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 2,33.

Изд. № 2.

<http://www.gstu.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.