

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

**И. Р. Погарцев, Т. С. Юфанова, Е. М. Звездкина**

## **ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к курсовой работе и практическим занятиям  
по одноименной дисциплине для студентов  
специальностей 1-43 01 05 «Промышленная  
теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая  
эксплуатация энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 658.264(075.8)  
ББК 31.38я73  
П43

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 6 от 11.06.2007 г.)*

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

**Погарцев, И. Р.**  
П43      Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий : метод. указания к курсовой работе и практ. занятиям по одноим. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / И. Р. Погарцев, Т. С. Юфанова, Е. М. Звездкина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 39 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: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-672-1.

Рассмотрена методика определения расхода тепла и воды по отдельным видам теплопотребления, гидравлического расчета водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов.

Для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 658.264(075.8)  
ББК 31.38я73**

**ISBN 978-985-420-672-1**

© Погарцев И. Р., Юфанова Т. С.,  
Звездкина Е. М., 2008  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2008

## 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 теплopotребления.

2. Гидравлические расчеты водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов.

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 и паропровода.

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

## Задание по курсовой работе

Исходные данные для выполнения курсовой работы выбираются 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 4).

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 5).

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 4).

6. Экспликация зданий, высоты и объемы зданий, количество умывальников и душев, расход пара, внутренние тепловыделения, наличие выделения вредных веществ 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) круглогодичная.

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 круглогодичного характера. К круглогодичной 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:

$$Q_{\text{от. max}} = q_0 \cdot V \cdot (t_{\text{в.р}} - t_{\text{н.о}}), \quad (1.1)$$

где  $q_0$  – величина удельной теплопотери здания, Вт/м<sup>3</sup>·К (Приложение 3);  $V$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup> (Приложение 2);  $t_{\text{в.р}}$  – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С (Приложение 3);  $t_{\text{н.о}}$  – 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 оборудования цехов, которые бывают довольно устойчивы и нередко представляют существенную долю расчетной отопительной нагрузки, а также потери инфильтрацией, достигающие 25–30 % теплопотерь через наружные ограждения. Следовательно,

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

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

Расчетная вентиляционная нагрузка, Вт:

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

где  $q_{\text{в}}$  – удельный расход теплоты на вентиляцию, Вт/м<sup>3</sup>·К (Приложение 3);  $t_{\text{н.в}}$  – 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,  $t_{\text{н.в}}$ , принимается, как правило, выше расчетной температуры для отопления  $t_{\text{н.о}}$ . 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  $t_{\text{н.в}}$  принимается равной  $t_{\text{н.о}}$  (к таким цехам относятся: В – чугунолитейный, Г – сталелитейный, Д – термический, Е – кузнечный, Н – меднолитейный, М – цех металлических покрытий).

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

Расчетная нагрузка горячего водоснабжения, Вт:

$$Q_{\text{г.в}} = \frac{1,2 \cdot (m \cdot a \cdot (t_{\text{см.1}} - t_{\text{х.в}}) + n \cdot b \cdot (t_{\text{см.2}} - t_{\text{х.в}})) \cdot c_p}{3,6}, \quad (1.4)$$

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;  $t_{\text{см.1}}$  – температура смеси горячей и холодной воды в душе,  $t_{\text{см.1}} = 37$  °С;  $t_{\text{х.в}}$  – температура холодной водопроводной воды,  $t_{\text{х.в}} = 5$  °С;  $n$  – количество умывальников, шт.;  $b$  – норма расхода горячей воды на умывальник,  $b = 5$  л/ч;  $t_{\text{см.2}}$  – температура смеси горячей и холодной воды в умывальнике,  $t_{\text{см.2}} = 35$  °С;  $c_p$  – теплоемкость воды,  $c_p = 4,19$  кДж/кг·К.

Все расчеты тепловых нагрузок сводятся в табл. 1.1.

## Расчетные тепловые нагрузки предприятия

Обозначение зданий	Назначение зданий	$V, \text{ м}^3$	$Q_{\text{вн}}, \text{ кВт}$	$Q'_{\text{от.мах}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{в.мах}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{г.в}}, \text{ кВт}$	$\Sigma Q, \text{ кВт}$	$D_n, \text{ т/ч}$
<i>Итого</i>								

## 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 – график зависимости суммарных часовых расходов теплоты по различным видам теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха и правой – годовой график расхода теплоты в зависимости от продолжительности стояния наружных температур.

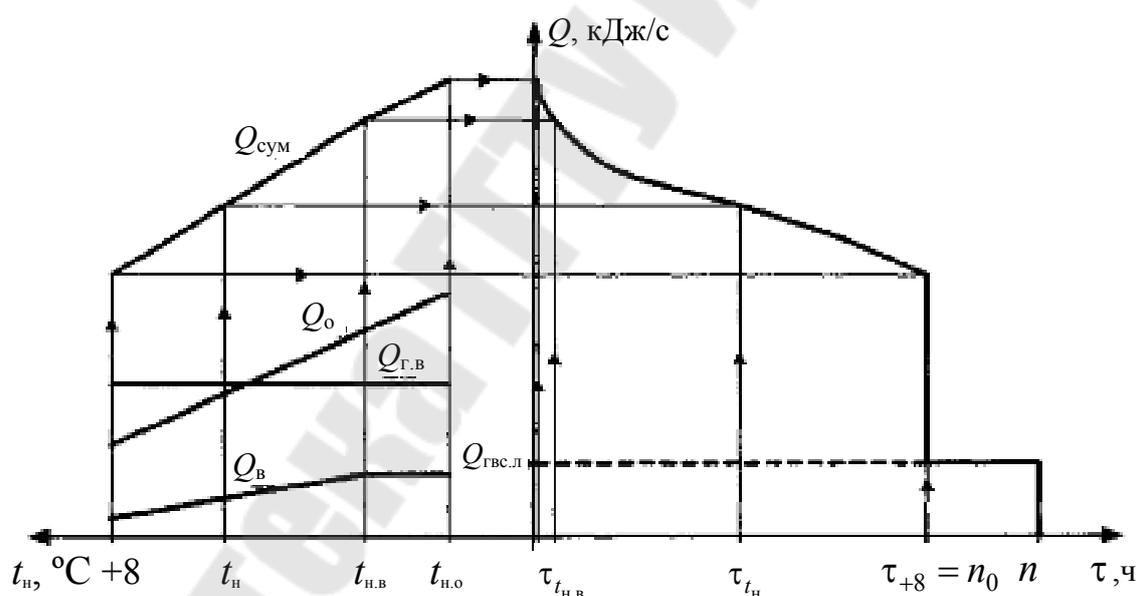


Рис. 2.1. График расхода тепла по продолжительности тепловых нагрузок

Графики расходов тепла по отдельным видам теплоснабжения 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 ( $Q_0$  при  $+8 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{н.в}$ ;  $Q_в$  при  $+8 \text{ }^\circ\text{C}$  (для зданий с вредными тепловыделениями дополни-

тельно при  $t_{н.в}$ )) используют следующие формулы пересчета тепловых нагрузок:

$$Q_o = Q'_{от.маx} \cdot \frac{t_{в.р} - t_{н}}{t_{в.р} - t_{н.о}}; \quad (2.1)$$

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

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

Так как расчетная температура воздуха внутри помещений  $t_{в.р}$  разная для зданий различного назначения, расчеты расходов теплоты на отопление и вентиляцию следует производить отдельно по каждому зданию или по их группе с одинаковой  $t_{в.р}$  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 области [1, Приложение 3], при этом следует заполнить табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Продолжительность стояния среднесуточных температур наружного воздуха за отопительный период**

Температура наружного воздуха $t_{н}$ , °С	$t_{н.о}$	...	...	...	8
Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной					$n_o$

В летний период (диапазон продолжительности стояния  $t_n$  от  $n_0$  до  $n = 8400$  ч) тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию отсутствуют, нагрузка на горячее водоснабжение составит  $0,8 \cdot Q_{г.в.}$

### **3. Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводах 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 магистралях 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 трубопроводах в зависимости от температуры наружного воздуха строится для заданных климатических условий и температурного графика сети в расчетном режиме ( $\tau_n/\tau_0, ^\circ\text{C}$ ) (рис. 3.1).

На ось ординат наносятся точки А и Б, соответствующие расчетной температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах 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 трубопроводах.

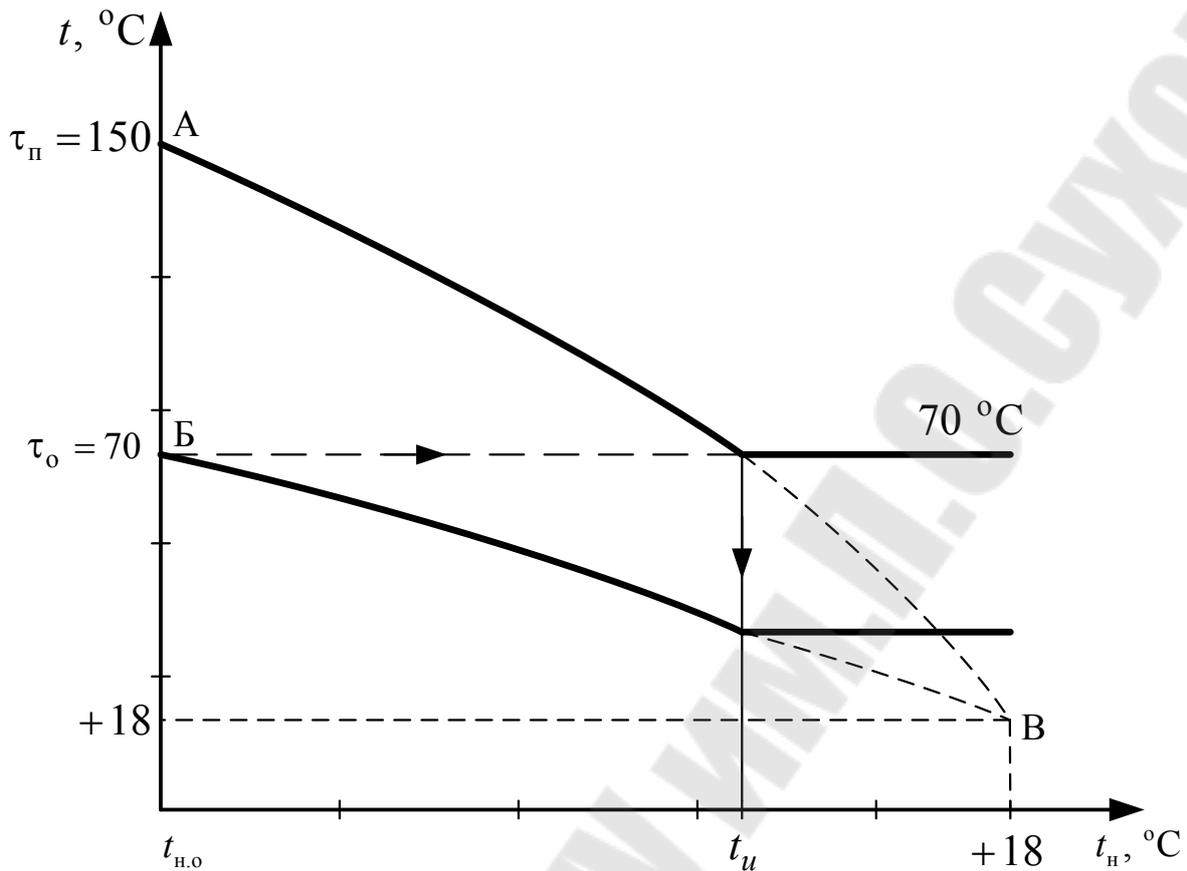


Рис. 3.1. График температур воды в подающем и обратном трубопроводах теплосети в зависимости от температуры наружного воздуха

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

$$\tau'_{\Pi} = t_{\text{в.п}} + \Delta t \cdot \left[ \frac{t_{\text{в.п}} - t'_{\text{H}}}{t_{\text{в.п}} - t_{\text{H.о}}} \right]^{0,8} + (\Delta\tau - 0,5 \cdot \theta) \cdot \left[ \frac{t_{\text{в.п}} - t'_{\text{H}}}{t_{\text{в.п}} - t_{\text{H.о}}} \right]; \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \tau'_{\text{O}} &= t_{\text{в.п}} + \Delta t \cdot \left[ \frac{t_{\text{в.п}} - t'_{\text{H}}}{t_{\text{в.п}} - t_{\text{H.о}}} \right]^{0,8} - 0,5 \cdot \theta \cdot \left[ \frac{t_{\text{в.п}} - t'_{\text{H}}}{t_{\text{в.п}} - t_{\text{H.о}}} \right] = \\ &= \tau'_{\Pi} - \Delta\tau \cdot \left[ \frac{t_{\text{в.п}} - t'_{\text{H}}}{t_{\text{в.п}} - t_{\text{H.о}}} \right], \end{aligned} \quad (3.2)$$

где  $\tau'_n$ ,  $\tau'_o$  – температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети при  $t'_n$ , °С;  $\Delta t$  – температурный напор нагревательного прибора, °С:

$$\Delta t = [(\tau_3 + \tau_o) / 2] - t_{в.р}, \quad (3.3)$$

где  $\tau_3$  – расчетная температура воды, поступающей в отопительные приборы (после смешения в элеваторе), °С, равная

$$\tau_3 = \frac{\tau_n + a \cdot \tau_o}{1 + a}, \quad (3.4)$$

где  $a$  – коэффициент смешения, равный отношению количества обратной воды, подмешиваемой элеватором, к количеству воды, поступающей из теплосети (принимается  $a = 1 \dots 2,5$ );  $\Delta \tau$  – расчетный перепад температур воды в тепловой сети:

$$\Delta \tau = \tau_n - \tau_o, \quad ^\circ\text{С},$$

где  $\tau_n$ ,  $\tau_o$  – температура воды в прямом и обратном трубопроводах 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,  $\theta = \tau_3 - \tau_o$ .

Так как по тепловым сетям одновременно подается 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 отпуская 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:

$$G_{от} = Q'_{от.макс} / (\tau_{п} - \tau_{о}) \cdot c, \quad (4.1)$$

где  $\tau_{п}$ ,  $\tau_{о}$  – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах при температуре  $t_{н.о}$ , °С;  $c$  – теплоемкость воды, кДж/кг·К.

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию, кг/с:

$$G_{в} = Q_{в.макс} / (\tau'_{п} - \tau'_{о}) \cdot c, \quad (4.2)$$

где  $\tau'_{п}$ ,  $\tau'_{о}$  – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах при температуре  $t_{н.в}$  (кроме зданий В, Г, Д, Е, Н, П, для которых расчетные расходы сетевой воды рассчитываются при температуре  $t_{н.о}$ ), °С.

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

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

где  $\tau''_{п}$ ,  $\tau''_{о}$  – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах при температуре  $t_{н.и}$ , °С.

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	$G_{от}$ , кг/с	$G_{в}$ , кг/с	$G_{г.в}$ , кг/с	$\sum G_i$ , кг/с
$\sum G_j$ , 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  $t_{н} = +8$  °С, 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  $t_n = +8$  °С. Кроме того, необходимо определить часовой расход сетевой воды на вентиляцию при  $t_{н.о}$ , но т. к. без дополнительных данных о 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, П равна расчетной);

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

Графики расходов сетевой воды 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 +18 °С до  $t_{н.о}$  со всеми характерными точками, на оси ординат – значения расходов сетевой воды.

## 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 (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  $R_d$ , определяют диаметры трубопроводов  $d_n \times S$ , фактические удельные потери давления  $R'_d$ , 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 компенсато-

ров 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.

На основе имеющихся материалов гидравлических испытаний тепловых сетей и водопроводов в СНиП 2.04.07-86 [5] рекомендуются следующие значения абсолютной эквивалентной шероховатости  $k_s$ , м, для гидравлического расчета тепловых сетей:

Паропроводы.....	0,002
Водяные сети .....	0,005
Конденсатопроводы.....	0,001

## 5.2. Предварительный расчет

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

$$R_{л} = \frac{\Delta p}{\sum l \cdot (1 + \alpha)}, \quad (5.1)$$

где  $\Delta p$  – располагаемый перепад давления, Па;  $\sum l$  – суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления), м;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях:

$$\alpha = 0,019\sqrt{G},$$

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  $R_{л}$  в тепловых сетях могут быть приняты согласно рекомендациям [3]:

- 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:

$$d = A_d^b \cdot G^{0,38} / R_{\text{л}}^{0,19}, \quad (5.2)$$

где  $A_d^b$  – коэффициент, определяется по приложению 7;  $G$  – расход теплоносителя на участке, кг/с.

### 5.3. Проверочный расчет

По полученным значениям выбирается ближайший стандартный диаметр трубопровода для каждого участка [1, Приложение 11]. Диаметр труб независимо от расчетного расхода воды должен приниматься не менее 32 мм. Затем рассчитывается скорость движения теплоносителя, которая не должна превышать 3,5 м/с.

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 6). 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:

$$R'_{\text{л}} = A_R^b \cdot G^2 / d^{5,25}, \quad (5.3)$$

где  $A_R^b$  – коэффициент, определяется по приложению 7.

Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений, м:

$$l_3 = A_l \cdot \sum \xi \cdot d^{1,25}, \quad (5.4)$$

где  $A_l$  – коэффициент, определяется по приложению 7;  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений, установленных на участке (Приложение 8).

Определяются потери давления на участке, Па:

$$\Delta p = R'_d \cdot (l + l_3). \quad (5.5)$$

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.

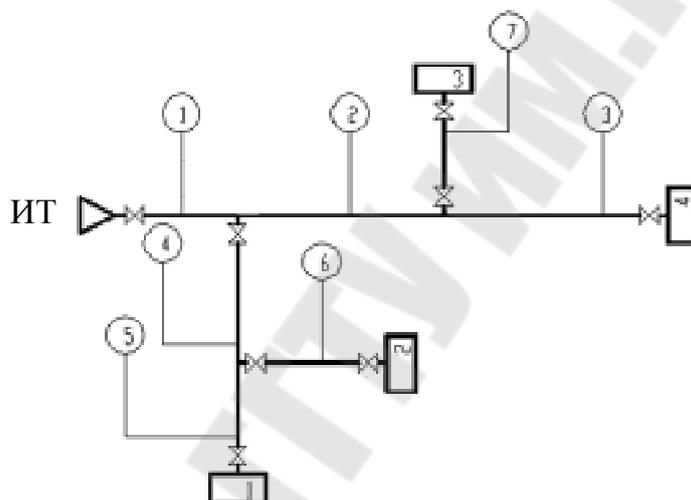


Рис. 5.1. Расчетная схема тепловой сети

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 находятся ориентировочные удельные потери давления для ответвлений по формуле (5.1). Например, для ответвления с участками 4 и 5 получим:

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

По полученному значению находят диаметры трубопроводов, действительные удельные потери давления, скорости теплоносителя, потери давления на участках 4 и 5 (по формулам (5.2)–(5.5)).

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

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

После определения потерь давления на каждом участке теплосети рассчитывают напоры в подающем  $H_{\text{п}i}$  и обратном  $H_{\text{o}i}$  трубопроводах, а также располагаемый напор  $H_{\text{р}i}$  в конце каждого участка:

$$H_{\text{п}i} = H_{\text{п}(i-1)} - \Delta p_i; \quad (5.6)$$

$$H_{\text{o}i} = H_{\text{o}(i-1)} + \Delta p_i; \quad (5.7)$$

$$H_{\text{р}i} = H_{\text{п}i} - H_{\text{o}i}, \quad (5.8)$$

где  $H_{\text{п}(i-1)}$ ,  $H_{\text{o}(i-1)}$  – напоры в подающем и обратном трубопроводах в начале данного участка, м вод. ст.;  $\Delta p_i$  – потеря давления на  $i$ -м участке, м вод. ст.

Результаты гидравлического расчета заносятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Номер участка	$G$ , кг/с	$l$ , м	$l_s$ , м	$d_n \times S$ , мм	$W$ , м/с	$R'_n$ , Па/м	$\Delta p$ , Па (м вод. ст.)	$H_{\text{п}}$ , м вод. ст.	$H_{\text{o}}$ , м вод. ст.	$H_{\text{р}}$ , м вод. ст.

## 6. Построение пьезометрического графика

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

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 теплоснабжения; подобрать сетевые и подпиточные насосы.

Пьезометрические графики строятся для гидростатического и гидродинамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат принимают низшую отметку горизонталей рельефа местности (Приложение 5). 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.

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. 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. 5.1.

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.

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. Гидравлический расчет паропровода

Задачей гидравлического расчета паропроводов является определение диаметров трубопроводов и потерь давления по участкам, исходя из расхода пара, располагаемого перепада давления (разности давления в начале  $P_n$  и конце  $P_k$  паропровода) с учетом изменения плотности пара вследствие падения давления и изменения температуры пара за счет потерь теплоты в окружающую среду.

Для гидравлического расчета разрабатывается расчетная и монтажная схема паропроводов по аналогии со схемами тепловой сети (см. п. 5).

Расчет состоит из предварительного и проверочного.

### 8.1. Предварительный расчет

В предварительном расчете считают, что потери давления по длине паропровода происходят равномерно. Тогда среднее удельное падение давления находят по формуле, Па/м:

$$R_{\text{л}}^{\text{ср}} = \frac{P_n - P_k}{\sum l \cdot (1 + \alpha_{\text{ср}})}, \quad (8.1)$$

где  $P_n, P_k$  – давление пара в начале и в конце паропровода (Приложение 4), Па;  $\sum l$  – длина паропровода (от камеры подключения до самого отдаленного потребителя), м;  $\alpha_{\text{ср}}$  – средний коэффициент местных потерь давления.

Для паропровода, состоящего из участков с различными расходами пара, определяется:

$$\alpha_{\text{ср}} = \sum(\alpha_i \cdot l_i) / \sum l, \quad (8.2)$$

где  $\alpha_i, l_i$  – коэффициент местных потерь давления и длина участка;

$$\alpha_i = z\sqrt{G}, \quad (8.3)$$

где  $z$  – коэффициент, принимаемый для паровых сетей равным 0,05...0,1;  $G$  – расход пара на рассматриваемом участке, т/ч.

Ориентировочное падение давления пара на участке, Па:

$$\Delta P_i = R_{\text{л}}^{\text{ср}} \cdot l_i. \quad (8.4)$$

Давление пара в конце расчетного участка, Па:

$$P_{ki} = P_{ni} - \Delta P_i. \quad (8.5)$$

Гидравлический расчет паропроводов производят по средней плотности пара на расчетном участке, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{ср}} = (\rho_{\text{н}} + \rho_{\text{к}})/2, \quad (8.6)$$

где  $\rho_{\text{н}}$ ,  $\rho_{\text{к}}$  – плотность пара в начале и в конце участка, определяемая по соответствующему давлению и температуре пара, кг/м<sup>3</sup>.

В предварительном расчете падение температуры перегретого пара на каждые 100 м принимают  $\Delta\tau = 2,0 \dots 2,5$  °С.

Температура пара в конце расчетного участка, °С:

$$\tau_{\text{ки}} = \tau_{\text{ни}} - \Delta\tau \cdot l_i / 100. \quad (8.7)$$

Средняя температура пара на участке, °С:

$$\tau_{\text{срi}} = (\tau_{\text{ни}} + \tau_{\text{ки}})/2. \quad (8.8)$$

Диаметр паропровода, м:

$$d = A_d \cdot G^{0,38} / (R_{\text{л}}^{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ср}})^{0,19}, \quad (8.9)$$

где  $A_d$  – коэффициент, определяется по приложению 7.

## 8.2. Проверочный расчет

По аналогии с гидравлическим расчетом тепловой сети, определяется стандартный диаметр паропровода и составляется его монтажная схема.

Находятся действительные значения удельных потерь давления, Па/м:

$$R'_{\text{л}} = A_R \cdot G^2 / (\rho_{\text{ср}} \cdot d^{5,25}), \quad (8.10)$$

где  $A_R$  – коэффициент, определяется по приложению 7.

Далее определяется скорость движения пара на каждом участке. Диаметр паропровода должен быть подобран так, чтобы скорость движения пара не превышала значений, указанных в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Максимальные скорости движения пара, м/с

$d_y$ , мм	Перегретый пар	Насыщенный пар
до 200	50	35
более 200	80	60

По формулам (5.4) и (5.5) определяется эквивалентная длина местных сопротивлений  $l_3$ , действительные потери давления на участках  $\Delta P'$  и давления пара в конце расчетного участка  $P'_k$ .

Действительная температура перегретого пара в конце расчетного участка, °С:

$$\tau'_{ki} = \tau_{ni} - 3,6 \cdot q_i \cdot l_i / c_i \cdot G_i, \quad (8.11)$$

где  $q_i$  – удельные потери теплоты изолированным паропроводом, определяется по приложению 9, кВт/м;  $c_i$  – удельная теплоемкость пара, соответствующая среднему давлению пара на участке, кДж/кг·К;  $G_i$  – расход пара на участке, т/ч.

При  $\tau'_k$  выше температуры насыщения пара, соответствующей давлению  $P'_k$ , конденсации пара не будет. По полученным значениям давления и температуры находится плотность пара в конце расчетного участка  $\rho'_k$  и средняя плотность пара на участке  $\rho'_{cp}$ . Если при проверочном расчете средняя плотность пара на участке и давление в конце паропровода оказались близки к значениям из предварительного расчета, то расчет можно считать законченным. В противном случае необходимо изменить диаметр паропровода и расчет повторить. После расчета всего паропровода расчетное давление пара у конечного потребителя должно оказаться не менее заданного  $P_k$ .

## 9. Гидравлический расчет конденсатопровода

Гидравлический расчет конденсатопроводов производится аналогично трубопроводам водяных тепловых сетей (см. п. 5).

Диаметр конденсатопровода определяют по расходу конденсата и удельному падению давления по длине  $R_{д}$ , которое должно быть не более 100 Па/м.

В первую очередь производят расчет основной расчетной магистрали, затем рассчитывают остальные участки с обязательной увязкой всех ответвлений.

## 10. 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.

Согласно СНиП 2.04.07-86 [5] 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 на рис.10.1.

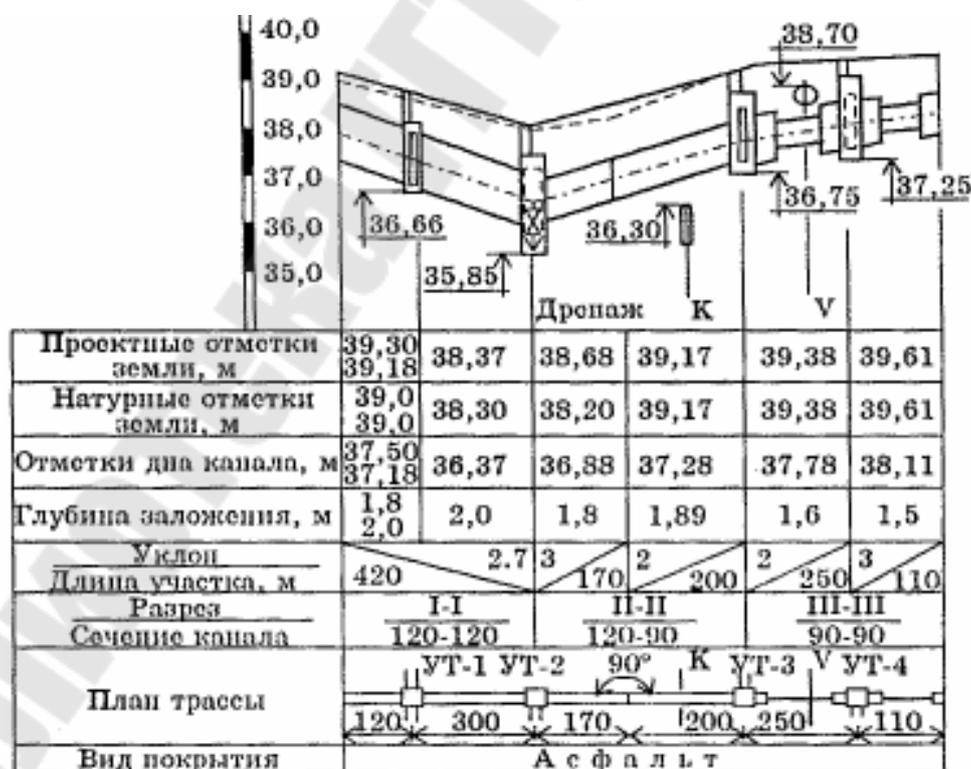


Рис. 10.1. Продольный профиль тепловой сети

## 11. Тепловой расчет

В объеме данной курсовой работы задачей теплового расчета является выбор толщины изоляционного слоя трубопроводов тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов.

В конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурой содержащихся в них веществ в диапазоне от 20 до 300 °С для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м · К).

Для теплоизоляционного слоя трубопроводов при бесканальной прокладке следует применять материалы с плотностью не более 400 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности не более 0,07 Вт/(м · К).

Расчет толщины тепловой изоляции трубопроводов, м, по нормированной плотности теплового потока выполняют по формуле

$$\delta_{и} = d \cdot (e^{2\pi\lambda_{и}R_{и}} - 1)/2, \quad (11.1)$$

где  $d$  – наружный диаметр трубопровода, м;  $e$  – основание натурального логарифма;  $\lambda_{и}$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м · °С);  $R_{и}$  – термическое сопротивление слоя изоляции, м · °С/Вт, величину которого определяют по формуле

$$R_{и} = R_{сум} - \sum R_i, \quad (11.2)$$

где  $R_{сум}$  – суммарное термическое сопротивление слоя изоляции и других дополнительных термических сопротивлений на пути теплового потока, м · °С/Вт, определяемое по формуле

$$R_{сум} = (t_w - t_e)/q_e, \quad (11.3)$$

где  $t_w$  – средняя за период эксплуатации температура теплоносителя, °С;  $t_e$  – среднегодовая температура окружающей среды, °С;  $q_e$  – нормированная линейная плотность теплового потока, Вт/м, принимаемая по [6].

При подземной прокладке  $t_e$  – среднегодовая температура грунта, которая для большинства городов находится в пределах от +1 до +5 °С. При надземной прокладке на открытом воздухе  $t_e$  – средняя за период эксплуатации температура окружающего воздуха.

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

При надземной прокладке:

$$\sum R_i = R_{п.с}. \quad (11.4)$$

При подземной канальной прокладке:

$$\sum R_i = R_{п.с} + (1 + \psi)(R_{п.к} + R_k + R_{гр}). \quad (11.5)$$

При подземной бесканальной прокладке:

$$\sum R_i = R_{гр} + R_o \cdot \psi. \quad (11.6)$$

В формулах (11.4), (11.5)  $R_{п.с}$  – термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя,  $\text{м} \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ , определяемое по формуле

$$R_{п.с} = 1/\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0,1), \quad (11.7)$$

где  $\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности тепловой изоляции в окружающий воздух,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , который согласно [6] принимается: при прокладке в каналах  $\alpha_e = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ; при прокладке на открытом воздухе – в зависимости от скорости ветра  $w$ : при  $w = 5 \text{ м}/\text{с}$   $\alpha_e = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , при  $w = 10 \text{ м}/\text{с}$   $\alpha_e = 26 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , при  $w = 15 \text{ м}/\text{с}$   $\alpha_e = 35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ; при отсутствии данных о скорости ветра принимают значение, соответствующее скорости  $10 \text{ м}/\text{с}$ ;  $d$  – наружный диаметр трубопровода,  $\text{м}$ .

Термическое сопротивление поверхности канала ( $R_{п.к}$ ),  $\text{м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , определяется по формуле

$$R_{п.к} = 1/\alpha_e \cdot \pi \cdot d_{в.э}, \quad (11.8)$$

где  $\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности канала,  $\alpha_e = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $d_{в.э}$  – внутренний эквивалентный диаметр канала,  $\text{м}$ , определяемый по формуле

$$d_{в.э} = 4F/P, \quad (11.9)$$

где  $F$  – внутреннее сечение канала,  $\text{м}^2$ ;  $P$  – периметр сторон сечения канала по внутренним размерам,  $\text{м}$ .

Размеры каналов принимаются по приложению 10.

Термическое сопротивление стенки канала ( $R_k$ ),  $\text{м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , определяется по формуле

$$R_k = \frac{1}{2\pi\lambda_{ст}} \ln \frac{d_{н.э}}{d_{в.э}}, \quad (11.10)$$

где  $\lambda_{ст}$  – теплопроводность стенки канала, для железобетона  $\lambda_{ст} = 2,04$  Вт/(м · °С);  $d_{н.э}$  – наружный эквивалентный диаметр канала, определяемый по наружным размерам канала, м.

Термическое сопротивление грунта ( $R_{гр}$ ), м·°С/Вт, определяется по формуле

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left( \frac{2h}{d_{н.э}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{н.э}^2} - 1} \right), \quad (11.11)$$

где  $\lambda_{гр}$  – коэффициент теплопроводности грунта, зависящий от его структуры и влажности. При отсутствии данных значение  $\lambda_{гр}$  можно принимать для влажных грунтов 2,0–2,5 Вт/(м · °С), для сухих грунтов 1,0–1,5 Вт/(м · °С);  $h$  – глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м.

Добавочное термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при бесканальной прокладке ( $R_0$ ), м · °С/Вт, определяют по формулам:

– для подающего трубопровода:

$$R_{01} = \psi_1 \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}; \quad (11.12)$$

– для обратного трубопровода:

$$R_{02} = \psi_2 \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}, \quad (11.13)$$

где  $h$  – глубина заложения осей трубопроводов, м;  $b$  – расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл. 11.1;  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  – коэффициенты, учитывающие взаимное влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам:

$$\psi_1 = q_{e1}/q_{e2}; \quad (11.14)$$

$$\psi_2 = q_{e2}/q_{e1}, \quad (11.15)$$

где  $q_{e1}$ ,  $q_{e2}$  – нормированные линейные плотности тепловых потоков соответственно для подающего и обратного трубопроводов, Вт/м, формула (11.3).

Таблица 11.1

**Расстояние между осями трубопроводов**

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

Расчетную толщину 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 с номенклатурной толщиной выбранного материала, следует принимать по действующей номенклатуре ближайшую более высокую толщину теплоизоляционного материала.

Допускается принимать ближайшую более низкую толщину теплоизоляционного слоя в случаях расчета по температуре на поверхности изоляции и нормам плотности теплового потока, если разница между расчетной и номенклатурной толщиной не превышает 3 мм.

Предельная толщина теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов приведена в табл. 11.2.

Таблица 11.2

**Предельные толщины теплоизоляционных конструкций  
для оборудования и трубопроводов**

Наружный диаметр, мм	Надземный	В тоннеле	В непроходном канале
	Предельная толщина теплоизоляционного слоя, мм, при температуре, °С		
	20 и более	20 и более	до 150 включительно
32	140	100	80
45	140	100	80
57	150	120	90
76	160	140	90

Окончание табл. 11.2

Наружный диаметр, мм	Надземный	В тоннеле	В непроходном канале
	Предельная толщина теплоизоляционного слоя, мм, при температуре, °С		
	20 и более	20 и более	до 150 включительно
89	170	160	100
108	180	160	100
133	200	160	100
159	220	160	120
219	230	180	120
273	230	180	120
325	240	200	120
377	240	200	120
426	250	220	140
476	250	220	140
530	260	220	140
630	280	240	140
720	280	240	140
820	300	240	140
920	300	260	140
1020 и более	320	260	140

*Примечание.* В случае если расчетная толщина изоляции больше предельной, следует принимать более эффективный теплоизоляционный материал и ограничиться предельной толщиной тепловой изоляции, если это допустимо по условиям технологического процесса.

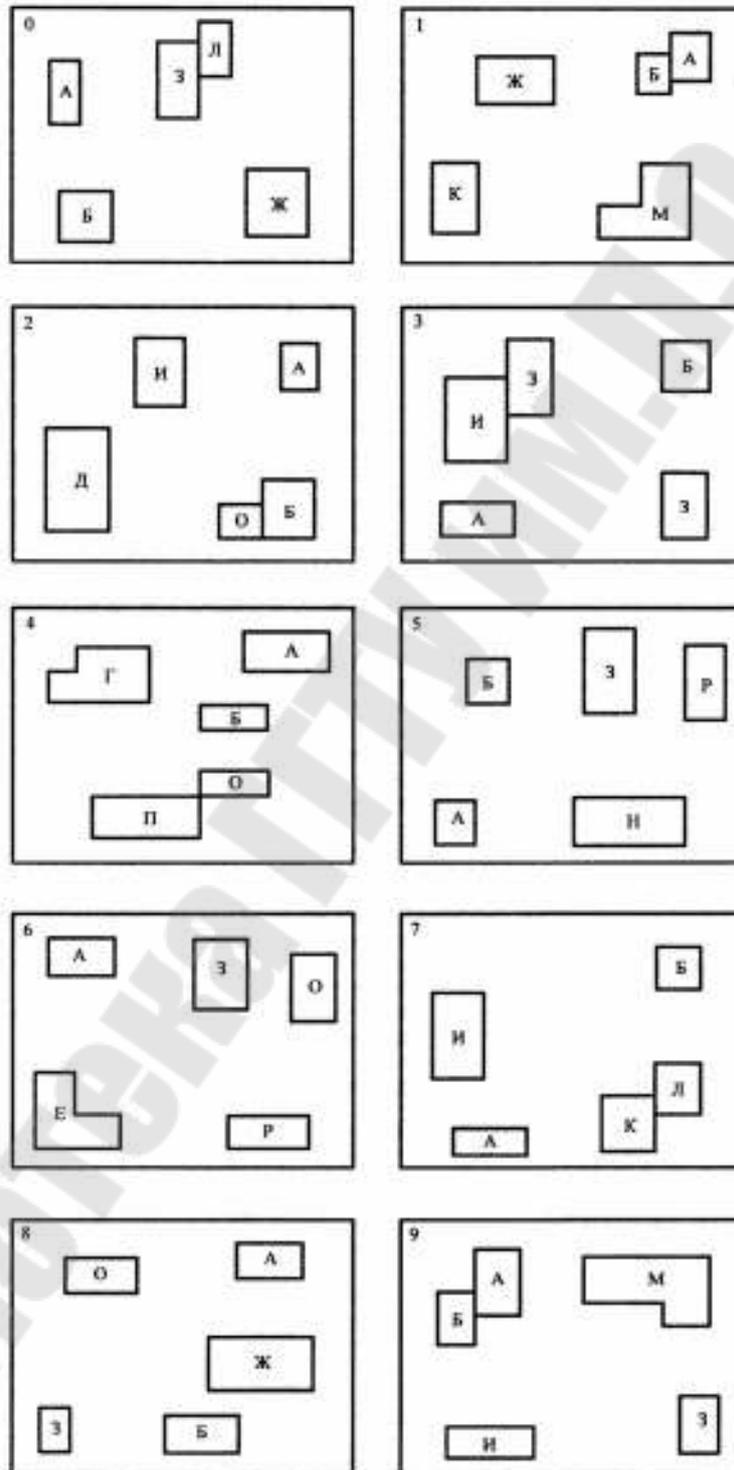
## Литература

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – 7-е изд. – Москва : Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
2. Теплоснабжение: учеб. для вузов / А. А. Ионин [и др.] ; под ред. А. А. Ионина. – Москва : Стройиздат, 1982. – 336 с.
3. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А. А. Николаева. – Москва : Стройиздат, 1965. – 360 с.
4. Теплоснабжение: учеб. пособие для вузов / В. Е. Козин [и др.]. – Москва : Высш. шк., 1980. – 408 с.
5. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 48 с.
6. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Госстрой СССР. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с.

# Приложения

## Приложение 1

### Генплан предприятия (М 1:5 000)



Примечание. Выбирается по последней цифре шифра.

## Приложение 2

Таблица П.2.1

### Экспликация и характеристики зданий

Здание	Назначение здания	Объем здания, м <sup>3</sup>	Количество, шт		Расход пара, т/ч	Внутренние тепловые выделения, кВт	Высота здания, м
			умы-валь-ников	душей			
А	Административное здание	18 750	6	–	–	–	36
Б	Столовая	8 000	10	3	3	90	7
В	Чугунолитейный цех	75 000	10	12	–	420	25
Г	Сталелитейный цех	68 750	8	8	3	350	25
Д	Термический цех	75 000	12	16	4	500	30
Е	Кузнечный цех	64 000	8	10	6	400	20
Ж	Механосборочный цех	40 000	7	5	3	–	5
З	Механический цех	37 500	6	7	2	–	12
И	Ремонтный цех	50 000	14	9	–	–	8
К	Деревообделочный цех	43 700	11	10	–	–	8
Л	Склад	6 250	–	–	–	–	6
М	Цех покрытий металлами	15 000	5	4	3	100	10
Н	Меднолитейный цех	31 000	13	14	–	250	25
О	Слесарные мастерские	25 000	6	6	–	–	8
П	Цех металлических покрытий	45 000	9	9	3	250	15
Р	Бытовые помещения	6 750	15	–	–	–	6

## Приложение 3

Таблица П.3.1

### 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 <sub>в.р.</sub> , °С
		для отопления q <sub>о</sub>	для вентиляции q <sub>в</sub>	
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	

Окончание табл. П.3.1

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 <sub>в.р.</sub> , °С
		для отопления q <sub>о</sub>	для вентиляции q <sub>в</sub>	
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	

## Приложение 4

Таблица П.4.1

Исходные данные (определяются по сумме двух цифр шифра)

Сумма двух последних цифр шифра	Расчетные температуры сетевой воды, $\tau_n / \tau_o, ^\circ\text{C}$	Давление в водяной тепловой сети, кПа		Давление пара, МПа		Город	Тепловая изоляция	Способ прокладки тепловых сетей
		В подающей линии, $H_n$	В обратной линии $H_o$	Начальное $P_n$	Конечное $P_k$			
0	130/70	650	350	0,55	0,32	Архангельск	Армопенобетон	Бесканальная
1	150/70	640	340	0,57	0,34	Брянск	Стекловолоконистые маты	Канальная
2	140/70	630	330	0,59	0,39	Вильнюс	Фенольный поропласт	Надземная
3	140/70	620	320	0,61	0,42	Воронеж	Пеносиликат	Надземная
4	150/70	610	310	0,63	0,44	Волгоград	Битумоперлит	Бесканальная
5	150/70	600	300	0,65	0,48	Гомель	Асфальтокерамзитобетон	Бесканальная
6	140/70	590	290	0,67	0,49	Казань	Минеральная вата	Канальная
7	140/70	580	280	0,69	0,50	Киев	Пеносиликат	Канальная
8	130/70	570	270	0,70	0,52	Курск	Армопенобетон	Надземная
9	150/70	560	260	0,72	0,55	Львов	Минеральная вата	Надземная
10	150/70	550	250	0,74	0,57	Махачкала	Битумоперлит	Бесканальная
11	140/70	540	240	0,75	0,58	Минск	Стекловолоконистые маты	Надземная

Окончание табл. П.4.1

Сумма двух последних цифр шифра	Расчетные температуры сетевой воды, $\tau_{II} / \tau_0, ^\circ\text{C}$	Давление в водяной тепловой сети, кПа		Давление пара, МПа		Город	Тепловая изоляция	Способ прокладки тепловых сетей
		В подающей линии, $H_{II}$	В обратной линии $H_0$	Начальное $P_{II}$	Конечное $P_K$			
12	150/70	530	230	0,80	0,62	Москва	Фенольный поропласт	Надземная
13	150/70	520	220	0,77	0,60	Мурманск	Минеральная вата	Канальная
14	140/70	550	250	0,45	0,25	Одесса	Асфальтоке-рамзитобетон	Бесканальная
15	150/70	640	340	0,47	0,22	Пенза	Армопенобетон	Бесканальная
16	140/70	690	390	0,49	0,28	Самара	Фенольный поропласт	Надземная
17	150/70	700	400	0,51	0,33	Смоленск	Пеносиликат	Надземная
18	150/70	710	410	0,53	0,35	Тбилиси	Минеральная вата	Надземная

## Приложение 5

Таблица П.5.1

### 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	125	85	95	95	155	45	70	135	55	80
В	130	80	100	90	160	50	75	140	60	75
Г	135	75	105	85	155	55	76	135	55	70
Д	130	70	115	90	150	53	75	130	50	65
Е	125	75	110	95	145	45	70	125	45	70
Ж	120	80	118	100	140	40	65	130	40	75
З	115	85	100	105	155	35	68	125	45	80

## Приложение 6

Таблица П.6.1

### Максимальные расстояния между неподвижными опорами трубопроводов

Условный проход труб, мм	Компенсаторы Π-образные	Компенсаторы сальниковые	Самокомпенсация
	Расстояния между неподвижными опорами, м, при параметрах теплоносителя: $P_{раб} = 8 - 16 \text{ кгс/см}^2$ , $t = 100 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$		
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 7

Таблица П.7.1

### Значения коэффициентов $A$ для гидравлического расчета

Коэффициент	Выражение	Абсолютная эквивалентная шероховатость, $k_3$ , м		
		0,0002	0,0005	0,001
$A_R, \text{м}^{0,25}$	$0,0894k_3^{0,25}$	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$13,3 \cdot 10^{-3}$	$15,92 \cdot 10^{-3}$
$A_R^b, \text{м}^{3,25} / \text{кг}$	$0,0894k_3^{0,25} / \rho$	$10,92 \cdot 10^{-6}$	$13,62 \cdot 10^{-6}$	$16,3 \cdot 10^{-6}$
$A_d, \text{м}^{0,0475}$	$0,63k_3^{0,0475}$	0,414	0,435	0,448
$A_d^b, \text{м}^{0,62} / \text{кг}^{0,19}$	$0,63k_3^{0,0475} / \rho^{0,19}$	$111,5 \cdot 10^{-3}$	$117 \cdot 10^{-3}$	$121 \cdot 10^{-3}$
$A_G, \text{м}^{-0,125}$	$3,35/k_3^{0,125}$	9,65	8,62	7,89
$A_G^b, \text{кг}^{0,5} / \text{м}^{1,625}$	$3,35\rho^{0,5} / k_3^{0,125}$	302	269	246
$A_a, \text{м}^{-0,19}$	$5,1/k_3^{0,19}$	25,2	21,4	18,6
$A_a^b, \text{м}^{0,53} / \text{кг}^{0,4}$	$5,1 / (k_3^{0,125} \rho^{0,24})$	4,54	3,82	3,34
$A_l, \text{м}^{-0,25}$	$9,1/k_3^{0,25}$	76,4	60,7	51,1

## Приложение 8

Таблица П.8.1

### Коэффициенты местных сопротивлений

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

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

## Приложение 9

Таблица П.9.1

**Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность паропроводов с конденсатопроводами при их совместной прокладке в непроходных каналах, Вт/м**

Условный проход трубопровода, мм		Паропровод	Конденсатопровод	Паропровод	Конденсатопровод	Паропровод	Конденсатопровод	Паропровод	Конденсатопровод	Паропровод	Конденсатопровод	Паропровод	Конденсатопровод
Паропровод	Конденсатопровод	Расчетная температура теплоносителя, °С											
		115	100	150	100	200	100	250	100	300	100	350	100
25	25	28	22	36	22	49	22	61	22	77	22	95	22
30	25	29	22	38	22	52	22	65	22	83	22	100	22
40	25	31	22	40	22	54	22	70	22	88	22	105	22
50	25	34	22	43	22	62	22	77	22	95	22	113	22
65	30	38	25	51	25	70	25	85	25	105	24	124	24
80	40	44	27	55	27	74	26	90	26	110	26	130	25
100	40	47	27	59	27	79	26	97	26	118	26	140	25
125	50	52	29	64	29	86	28	105	28	128	28	151	28
150	70	56	33	69	32	93	31	113	31	138	31	170	31
200	80	65	35	81	35	107	34	130	34	157	34	184	34
250	100	73	38	90	38	119	37	143	37	176	37	206	37
300	125	80	41	100	40	132	40	159	40	191	40	223	40
350	150	88	46	108	45	142	45	171	44	205	44	240	44
400	180	94	51	115	50	152	50	183	49	219	49	255	49
450	200	101	54	124	53	161	53	194	53	232	52	269	52
500	250	108	61	132	60	171	59	207	59	248	59	287	58
600	300	121	67	147	66	191	66	228	65	272	65	313	64
700	300	131	67	159	66	206	66	244	65	291	64	336	63
800	300	142	67	172	66	222	66	264	65	—	—	—	—

*Примечание.* Промежуточные значения норм плотности теплового потока следует определять интерполяцией.

## Приложение 10

Таблица П.10.1

### 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
600	КЛ 120-120	1200x1200	1400x1370	110	200	180
700	КЛ 210-120	2100x1200	2380x1470	110	200	180
800	КЛ 300-150	3000x1500	3610x1950	120	250	200
900	КЛ 360-180	3600x1800	4300x2280	120	250	300
1000	КЛ 420-210	4200x2100	4940x2640	120	250	300

*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.

## Содержание

Введение.....	3
Задание по курсовой работе .....	4
1. Определение расчетных тепловых нагрузок.....	5
2. Построение графиков расхода теплоты.....	7
3. Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводах теплосети в зависимости от температуры наружного воздуха (графика центрального регулирования отпуска теплоты).....	9
4. Определение часовых расходов сетевой воды.....	12
5. Гидравлический расчет тепловой сети .....	13
5.1. Общие сведения .....	13
5.2. Предварительный расчет .....	14
5.3. Проверочный расчет.....	15
6. Построение пьезометрического графика.....	17
7. Выбор схем присоединений зданий к тепловой сети.....	18
8. Гидравлический расчет паропровода .....	19
8.1. Предварительный расчет .....	19
8.2. Проверочный расчет.....	20
9. Гидравлический расчет конденсатопровода .....	21
10. Построение продольного профиля тепловой сети.....	21
11. Тепловой расчет.....	23
Литература .....	28
Приложения .....	29

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Погарцев Игорь Робертович**  
**Юфанова Татьяна Сергеевна**  
**Звездкина Екатерина Марковна**

## **ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Методические указания  
к курсовой работе и практическим занятиям  
по одноименной дисциплине для студентов  
специальностей 1-43 01 05 «Промышленная  
теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая  
эксплуатация энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *С. Н. Санько*  
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 31.01.08.

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

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,33.

Изд. № 108.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.