Библиотека СОК

А.М. Дубинин

Теплоснабжение промышленных предприятий

(методическое пособие)

2004 г.

Оглавление

Задание на курсовой проект 4

1. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ АБОНЕНТОВ 5

1.1. Расчет тепловой мощности на отопление 5
1.2. Расчет тепловой мощности на вентиляцию 6
1.3. Расчет среднесуточной тепловой мощности на горячее водоснабжение 6
1.4. Расчет годового теплопотребления и топлива 7

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ 10

2.1. Расчет паропровода 10
2.1.1. Предварительный расчет 12
2.1.2. Проверочный расчет 12
2.2. Расчет водяных сетей 14
2.2.1. Предварительный расчет 15
2.2.2. Проверочный расчет 15

3. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СЕТИ 21

3.1. Расчет мощности тепловых потерь теплопроводом 21
3.2. Расчет толщины тепловой изоляции 21

Библиографический список 22

Приложение 23

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
ГОУ ВПО "Уральский Государственный технический университет - УПИ"

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Задается местонахождение промышленного района и абонентов, получающих теплоту от котельной или ТЭЦ. Тип источника теплоснабжения, вид натурального топлива, основное оборудование котельной (ТЭЦ) оговариваются в задании.

Характеристика абонентов

Технологическое потребление водяного пара в количестве $D_п$, кг/с, с параметрами у потребителя P_2, мПа и $t_2=t_{нас}$, °С, к абоненту II (металлургический завод).

X . Завод металлических конструкций, который состоит из следующих цехов:

1. Кузнечный, строительный объем V_1, м^3.
2. Слесарный, строительный объем V_2, м^3.
3. Металлоконструкций, строительный объем V_3, м^3.
4. Склад изделий, строительный объем V_4, м^3.
5. Административный корпус, строительный объем V_5, м^3.

XII . Рабочий поселок с населением m, тыс. чел.

1. Коэффициент охвата ванными b.
2. Максимальная скорость ветра $\omega_в$, м/с.
3. Тепловая водяная сеть двухтрубная, закрытая.
4. Способ прокладки магистральных сетей – надземный.
5. τ'_1 τ'_2 –температуры воды в прямом и обратном трубопроводах сети при расчетной наружной температуре.

В реальном здании номера абонентов могут быть другими. К заданию выдается карта местности с номерами абонентов, масштабом, горизонталями и дорогами (см. рис.2).

Курсовой проект выполняется в следующем порядке:

1. Рассчитывается максимальная тепловая мощность, потребляемая указанными абонентами, на отопление, вентиляцию и среднесуточная на горячее водоснабжение.
2. Строится график годового теплопотребления (см. рис.1) и рассчитывается годовой расход топлива.
3. Прокладывается трасса тепловых сетей на карте местности, причем паропровод и водяные сети трассируются совместно, железные и автомобильные дороги пересекаются под прямым углом.
4. Производится гидравлический расчет паропровода.
5. Производится гидравлический расчет водяных тепловых сетей.
6. Строится пьезометрический график для водяной тепловой сети.
7. Выбираются сетевые и подпиточные насосы для водяных сетей.
8. Рассчитывается мощность тепловых потерь водяными сетями.
9. Рассчитывается толщина тепловой изоляции для паровых и водяных сетей.
10. Выбирается основное и вспомогательное оборудование источника теплоснабжения.

11. Строится температурный график регулирования отпускаемой тепловой мощности.

Курсовой проект оформляется в виде сброшюрованной тетради формата А4. Расчеты иллюстрируются схемами и рисунками. Графическая часть – 2 листа (тепловая схема и план с разрезами источника теплоснабжения).

1. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ АБОНЕНТОВ

1.1. Расчет тепловой мощности на отопление

Мощность тепловых потерь в зданиях восполняется горячей водой, поступающей по водяным тепловым сетям от котельной или ТЭЦ.

Максимальная тепловая мощность на отопление зданий, кВт, рассчитывается по формуле

$$Q_o^{max} = 10^{-3}(1+\mu)q_o \cdot V\beta_t(t_в - t'_н)(1-q_{вт}).$$

Здесь V – объем здания по наружному обмеру (см. задание на курсовой проект), м^3; q_o – отопительная характеристика конкретного здания, Вт/(м^3·К). Выбирается q_o из [1] для расчетной температуры наружного воздуха $t'_н$=-30°С. При другой температуре вводится поправочный коэффициент

$$\beta_t = 0{,}54 + \frac{22}{t_в - t'_н}.$$

Расчетная температура наружного воздуха $t'_н$ зависит от климатического района и выбирается из [1,8,9]; $t_в$ – внутренняя расчетная температура воздуха в здании, °С. Для жилых помещений равна +18°С, административных зданий +16°С, для остальных выбирается из [1]; μ - коэффициент инфильтрации. Для жилых помещений μ=0,03-0,04 и этой величиной пренебрегают. Для промышленных зданий он рассчитывается из выражения

$$\mu = b\sqrt{2gH\left(1 - \frac{273 + t'_н}{273 + t_в}\right) + \omega_в^2}.$$

Здесь b=(35-40)·10^{-3} – для здания из железобетона, b=(8-10)·10^{-3} – для здания, сложенного в 2,5 кирпича и двойном застеклении окон (тип здания студент выбирает самостоятельно); g – ускорение свободного падения (9,8 м/с^2);

H – высота промышленного цеха, м; $\omega_в$ – скорость ветра, м/с (см. здание);

$q_{вт}$ – относительные внутренние тепловыделения. Для чугунолитейных, сталелитейных и меднолитейных цехов $q_{вт}$ равны 0,5-0,75, термических и кузнечных – 0,3-0,5.

Для остальных цехов, жилых и административных зданий $q_{вт}$ принимаются равными нулю.

При отсутствии списка и назначения зданий (рабочий поселок) расчет тепловой мощности на отопление производится по максимальным расходам тепловой мощности на отопление и вентиляцию, кВт, на одного жителя заданного района q^{max}, кВт/человека из [1] и количеству жителей – m из выражения:

$$Q_o^{max} = 0{,}9q^{max} \cdot m.$$

Тепловую мощность на отопление находят для каждого абонента отдельно и сводят в табл.1.1.

Таблица 1.1

Тепловая мощность на отопление по абонентам

Абонент №	X	X11	Сумма
Тепловая мощность на отопление, кВт			

1.2. Расчет тепловой мощности на вентиляцию

Максимальная тепловая мощность на вентиляцию помещений, кВт, определяется из выражения

$$Q_в^{max} = q_в \cdot V(t_в - t'_н)10^{-3}.$$

Здесь $q_в$ – вентиляционная характеристика здания, Вт/м^3·К. Выбирается из [1].

Остальные обозначения использовались ранее (см. 1.1).

Вентиляцию предусматривают для производственных и административных помещений [1]. В жилых помещениях приточной вентиляции не делают.

При отсутствии списка и назначения зданий (рабочий поселок) расчет тепловой мощности на вентиляцию производится по нормам максимальной тепловой мощности на отопление и вентиляцию, кВт, на одного жителя района теплоснабжения q^{max}, кВт/человека, из [1] и количеству жителей – m по формуле

$$Q_в^{max} = 0{,}1 \cdot q^{max} \cdot m.$$

Тепловую мощность на вентиляцию находят для каждого абонента отдельно и вписывают в табл.1.2.

Таблица 1.2

Тепловая мощность на вентиляцию по абонентам

Абонент №	X	X11	Сумма
Тепловая мощность на вентиляцию, кВт			

1.3. Расчет среднесуточной тепловой мощности на горячее водоснабжение

Среднесуточная тепловая мощность на горячее водоснабжение бытовых потребителей (рабочий поселок), кВт, определяется из выражения [4]

$$Q_{гвс}^{ср} = \frac{1{,}2 \cdot m \cdot g' \cdot c}{m_c \cdot 3600}(t_г - t_х).$$

Здесь m – число жителей (см. задание); g'=105·b+25 – среднесуточная норма расхода горячей воды на человека, кг/(сутки чел.); b – коэффициент охвата ванными (см. задание); c – удельная теплоемкость воды (4,19 кДж/(кг·К); m_c – расчетная длительность подачи воды на горячее водоснабжение, ч/сут. При круглосуточной подаче воды m_c равна 24 (студент выбирает самостоятельно);

$t_г$ – температура воды на горячее водоснабжение, принимается 55°С; $t_х$ – температура холодной воды, принимается +5°С.

Среднесуточная тепловая мощность на горячее водоснабжение производственными цехами, кВт, определяется из выражения:

$$Q_{гвс}^{ср} = \frac{P \cdot z \cdot a \cdot c(t_г - t_х)}{3600}.$$

Здесь P – число душевых сеток в цехе, шт. Обычно P=10÷20 (число принимает студент); a – максимальный расход воды через одну сетку в смену. Согласно [1] a=270 кг/(ч·сетку·смену); c – удельная теплоемкость воды (4,19 кДж/кг·К); z – число смен в цехе (принимается студентом). Остальные параметры использовались ранее.

Для сглаживания пиков нагрузки горячего водоснабжения (г.в.с.) в производственных цехах устанавливают бойлеры-аккумуляторы для подогрева водопроводной воды в течение 8 часов, а на ЦТП – баки-аккумуляторы. Среднесуточную тепловую мощность на г.в.с. находят для каждого абонента отдельно и выписывают в табл.1.3.

Таблица 1.3

Среднесуточная тепловая мощность на горячее водоснабжение по абонентам

Абонент №	X	X11	Сумма
Среднесуточная тепловая мощность на г.в.с., кВт			

1.4. Расчет годового теплопотребления и топлива

Тепловая мощность на отопление и вентиляцию зависит от температуры наружного воздуха (сезонная нагрузка).

Для определения годового теплопотребления абонентами на отопление и вентиляцию строится график (см.рис.1).

При построении графика по оси ординат откладывают величины суммарных максимальных тепловых мощностей $\left(Q_о^{max} + Q_в^{max}\right)$ по всем абонентам $Q_{общ}^{max}$ (см. табл. 1.1-1.2) и минимальных мощностей, кВт, рассчитанных из выражения

$$Q_{общ}^{min} = Q_{общ}^{max} \frac{t_в - 8}{t_в - t'_н}.$$

На оси абсцисс (в правой части графика) – значения температур, начиная от расчетной наружной $t'_н$ и заканчивая температурой конца отопительного сезона +8°С. Температуре $t'_н$ соответствует $Q_{общ}^{max}$, а +8 соответствует $Q_{общ}^{min}$. Соединяем точки прямой линией. В левой части графика по оси абсцисс откладывается число часов стояния n_i тех или иных среднесуточных температур наружного воздуха $t_н$, которые находятся из [1] или [8,9]. Каждой температуре наружного воздуха $t_н$ соответствует своя мощность, кВт,

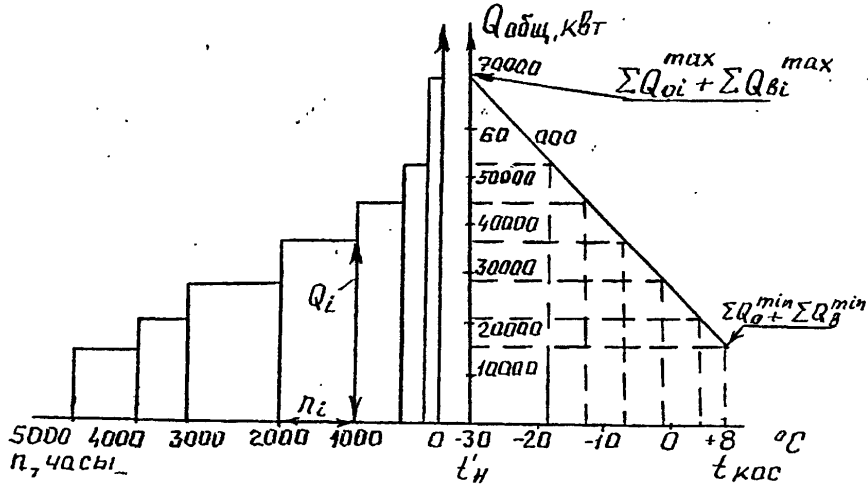


Рис.1. Годовой график тепловой нагрузки:
n_i – число часов стояния данной наружной температуры воздуха, ч;
$t'_н$, $t_{кос}$ – расчетные температуры наружного воздуха для отопления и конца отопительного сезона, °С; $Q_{общ}$ – суммарная тепловая мощность на отопление и вентиляцию, кВт

$$Q_i = Q_{общ}^{max} \frac{t_в - t_н}{t_в - t'_н}$$

и продолжительность в часах этой мощности n_i. Произведение $Q_i n_i$ дает площадь i–го прямоугольника. Эти прямоугольники строятся в левой части графика. Сумма площадей упомянутых прямоугольников, умноженная на 3600, равна годовому отпуску теплоты абонентам на отопление и вентиляцию, кДж/год,

$$N_{год}^{о,в} = \sum_{1}^{к} Q_i \cdot n_i \cdot 3600,$$

где $к$ – число прямоугольников на графике. Годовой отпуск теплоты, кДж/год, можно найти и при помощи средней температуры отопительного периода $\bar{t}_н$, которая представлена в [1] или [8,9]:

$$N_{год}^{о,в} = Q_{общ}^{max} \cdot n \frac{t_в - \bar{t}_н}{t_в - t'_н} \cdot 3600.$$

Здесь n – число часов отопительного периода, ищется в [1].
Годовой расход натурального топлива на отопление и вентиляцию, т/год (тыс.м^3/год), найдется из выражения

$$B_{год}^{о.в} = N_{год}^{о.в} / \left(Q_р^н \cdot \eta_к \cdot 10^3\right)$$

Здесь $Q_р^н$ - теплота сгорания натурального топлива (см. «Нормативный метод расчета котельных агрегатов»), кДж/кг (кДж/м^3). Вид топлива см. в задании; $\eta_к$ – коэффициент полезного действия котлов [10]. Тип котлов дан в задании.

Годовой отпуск теплоты на г.в.с. (круглогодовая нагрузка), кДж/год, определяется так:

$$N_{год}^{г.в.с} = Q_{г.в.с}^{ср}\left(8760 - \tau_р\right) \cdot 3600.$$

Здесь $Q_{г.в.с}^{ср}$ - суммарная тепловая мощность г.в.с. по всем абонентам; $\tau_р$ – число часов на ремонт и опрессовку тепловых сетей (принимается 100-200 часов).

Годовой расход топлива на г.в.с., т/год (тыс.м^3/год),

$$B_{год}^{г.в.с} = N_{год}^{г.в.с} / \left(Q_р^н \cdot \eta_к \cdot 10^3\right).$$

Годовой отпуск теплоты с промышленным паром, кДж/год,

$$N_{год}^{п} = D_п\left(i_п'' - 4{,}19 t_к \cdot \beta\right)\left(8760 - \tau_р\right) \cdot 3600.$$

Здесь $i''_п$ и $t_к$ – энтальпия пара и температура возвращаемого конденсата с производства, кДж/кг и °С; $i''_п$ – находится по P_2 и t_2 у потребителя (см. задание), $t_к$ принимается 95°С; β - доля возврата конденсата с производства (принимается студентом от 0 до 1); $D_п$ – потребление водяного пара абонентом, кг/с (см. задание).

Годовой расход натурального топлива на отпуск промышленного пара, т/год (тыс.м^3/год),

$$B_{год}^{п} = N_{год}^{п} / \left(Q_р^н \cdot \eta_к \cdot 10^3\right).$$

Суммированием находят годовой отпуск теплоты источником теплоснабжения, кДж/год,

$$N_{год} = \sum_1^к N_{год}^i$$

и годовой расход топлива, т/год (тыс.м^3/год),

$$B_{год} = \frac{1}{\eta_{тр}} \cdot \sum_1^к B_{год}^i .$$

Здесь $\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия транспорта энергии, принимается 0,9-0,93, $к$=3.

При отпуске теплоты от ТЭЦ дополнительно определяют расход топлива, связанный с выработкой электрической энергии.

Для этого рассчитывают количество паротурбинных установок (ПТУ) на ТЭЦ, шт.,

$$n_т = \frac{\left(Q_{общ}^{max} + Q_{общ}^{г.в.с}\right)\alpha}{Q^э \cdot \eta_{тр}} .$$

Здесь $Q^э$ - мощность теплофикационного отбора ПТУ (тип ПТУ определен заданием), кВт, определяется из [1]; α - коэффициент теплофикации (принимается 0,5).

Рассчитывают годовую выработку электроэнергии на ТЭЦ, кВт·час/год

$$Э_{год} = Q^э \cdot n_т \cdot n.$$

Здесь $Q^э$ – мощность электрогенератора ПТУ (берется из марки ПТУ), кВт;

n – число часов использования установленной электрической мощности на ТЭЦ. Принимается 4000 ч/год. Расход топлива, связанный с отпуском электроэнергии, т/год (тыс.м^3/год),

$$B^{э}_{год} = \frac{Э_{год} \cdot 3600}{Q^{н}_{р} \cdot \eta_{к} \cdot 10^3 \cdot \eta^{э}_{тр}}.$$

Здесь $\eta_к$ – коэффициент полезного действия энергетических котлов (принимается 0,9); $\eta^{э}_{тр}$ - КПД транспорта электроэнергии. Принимается 0,88. Тогда годовой расход топлива ТЭЦ будет складываться из расхода топлива, связанного с отпуском теплоты и электроэнергии, т/год (тыс.м^3/год),

$$B^{ТЭЦ}_{год} = B_{год} + B^{э}_{год}.$$

Полученные значения используются для определения топливной составляющей в себестоимости продукции – теплоты в котельной или ТЭЦ, руб./ГДж,

$$C_т = \frac{B_{год} \cdot Ц_т \cdot 10^6}{N_{год}},$$

и электроэнергии на ТЭЦ, руб./кВт·ч,

$$C_э = \frac{B^{э}_{год} \cdot Ц_т}{Э_{год}}.$$

Здесь $Ц_т$ – цена топлива, руб./т (руб./тыс.м^3).

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

2.1. Расчет паропровода

Для расчета паропровода необходимо знать следующие исходные данные.

1. Расход промышленного пара, поступающего к абоненту - $D_п$, кг/с.
2. Параметры пара в конце участка у абонента – давление P_2 и температуру t_2, МПа, °С (см. задание).
3. Расстояние от источника теплоснабжения до абонента – l, м. Определяется по карте местности (рис.2) умножением длины участка на масштаб карты.
4. Коэффициенты местных сопротивлений П-образных компенсаторов $\xi_к$=2,5÷1,76, задвижек $\xi_з$=0,3÷0,5 и поворотов $\xi_п$=0,5.
5. Температуру монтажа паропровода – $t_о$, °С. (принимается +15-20°С).
6. Допустимые напряжения на изгиб для стали паропровода – [σ], МПа (принимается 35 МПа).
7. Скорость возвращаемого конденсата в конденсатопроводе - $\omega_к$, м/с (принимается 0,5÷0,7 м/с).

В результате расчета необходимо определить:

1. Параметры пара на выходе из котельной (ТЭЦ): давление P_1 и температуру t_1, МПа, °С.
2. Внутренний диаметр паропровода - $d_в$, м.
3. Число компенсаторов – $n_к$.
4. Число задвижек – $n_з$.
5. Длину вылета компенсаторов – $h_к$, м.

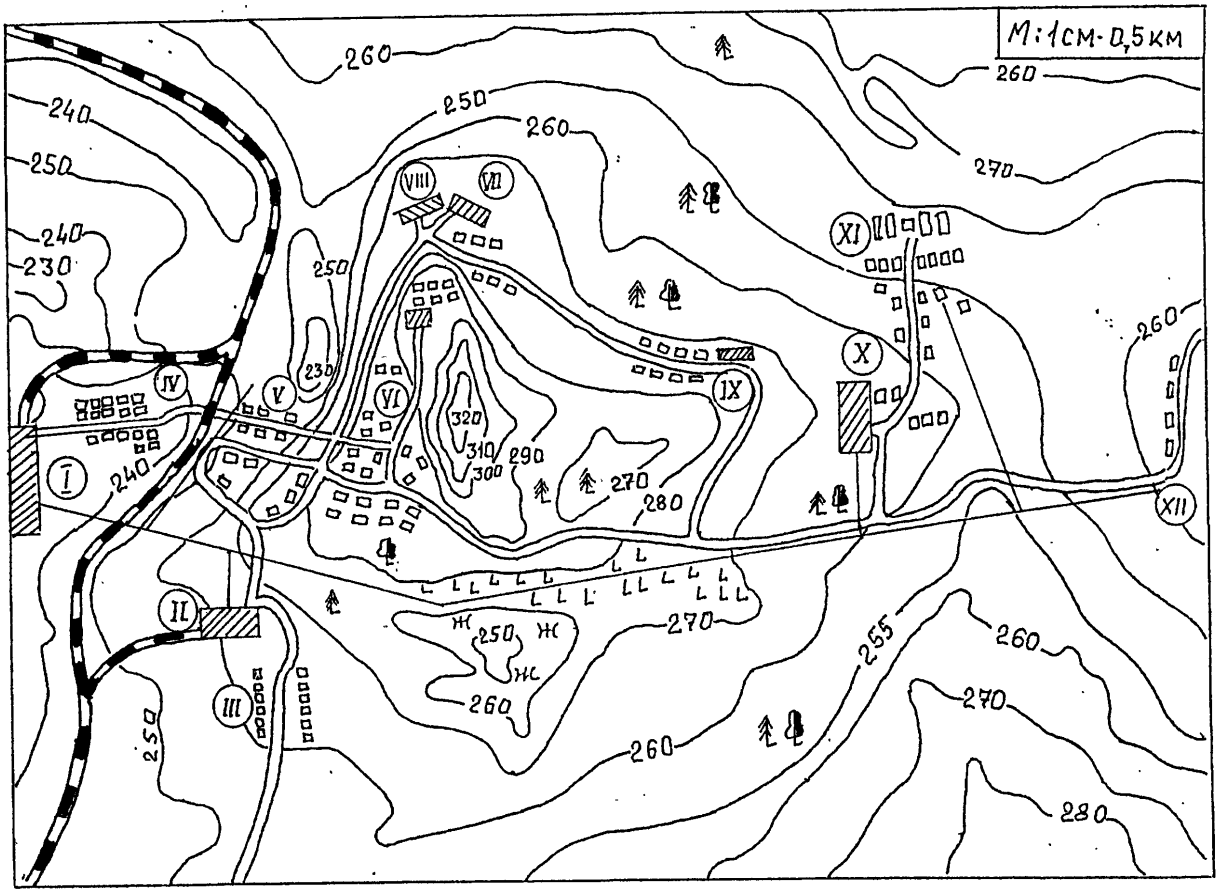


Рис.2. Карта местности

6. Число неподвижных и скользящих опор – $n_н$, $n_с$.

2.1.1. Предварительный расчет

1. Предварительно задают удельные линейные потери давления, Па/м, и температуры пара, К/м, на участке

$$R'_l=(60\div80),$$

$$\Delta t'=0{,}01.$$

2. Предварительно определим параметры пара на выходе из котельной (ТЭЦ).

Давление, мПа, $P'_1=P_2+R'_l\ l/10^6$.

Температура, °С, $t'_1=t_2+\Delta t'l$.

3. Находим плотность пара на выходе из котельной (ТЭЦ) ρ'_1, кг/м^3, по предварительно рассчитанным параметрам P'_1 и t'_1 из таблиц [7] ($\rho=1/v$).

4. Находим плотность пара в конце участка (у абонента) ρ_2, кг/м^3, по заданным параметрам P_2 и t_2 из таблиц [7] ($\rho=1/v$).

5. Определим среднюю плотность, кг/м,

$$\rho'_{ср}=0{,}5(\rho'_1+\rho_2).$$

6. Определим внутренний диаметр паропровода

$$d'_в=0{,}412\cdot D_п^{0{,}38}/\left(\rho'_{ср}\cdot R'_l\right)^{0{,}19},\ м.$$

7. Округляем полученный диаметр до следующего диаметра стандартной трубы [1,9] $d_в$:

0,033; 0,04; 0,051; 0,079; 0,082; 0,1; 0,125; 0,15; 0,184; 0,207; 0,259; 0,309; 0,359; 0,408;0,414; 0,466; 0,514; 0,612; 0,898; 0,996; 1,096; 1,192; 1,392, м.

2.1.2. Проверочный расчет

1. Уточним удельную линейную потерю давления пара R_l, Па/м, по округленному значению диаметра $d_в$:

$$R_l=0{,}0094\cdot D_п^2/\left(\rho'_{ср}\cdot d_в^{5{,}26}\right).$$

2. Определим среднюю температуру пара на участке, °С,

$$t_{ср}=0{,}5(t'_1+t_2)$$

и среднее давление, мПа,

$$P_{ср}=0{,}5(P'_1+P_2).$$

3. Определим предельное расстояние между неподвижными опорами – L, м по диаметру $d_в$, средней температуре и давлению из табл. П.1.

4. Определяем число компенсаторов, шт., на участке

$$n'_к=l/L.$$

5. Округляем $n'_к$ до целого числа $n_к$, шт.

6. Зададим число задвижек $n_з$ на участке паропровода. Обычно на паропроводах ставят задвижки в начале, в конце участка, на ответвлениях к абонентам и у самих абонентов.

7. Определяем длину, м, прямого участка по сопротивлению, эквивалентную всем местным сопротивлениям паропровода с компенсаторами, задвижками и поворотами

$$l_{экв} = 60{,}7\left(n_к \xi_к + n_з \xi_з + n_п \xi_п\right) d_в^{1{,}25}.$$

8. Определим расчетное тепловое удлинение паропровода, м, между неподвижными опорами

$$\Delta x = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot L\left(t_{ср} - t_о\right).$$

9. Определим длину вылета компенсатора, м, при условии, что длины спинки вылета равны

$$h_к = \sqrt{\frac{0{,}3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot d_в \cdot \Delta x}{[\sigma]}}.$$

10. Найдем удлинение магистрали, м, за счет длины вылетов компенсаторов

$$l_к = 2 \cdot n_к h_к.$$

11. Уточним падение давления в паропроводе, Па, на участке

$$\Delta P = R_l\left(l + l_{экв} + l_к\right).$$

12. Уточним давление пара, мПа, в начале участка

$$P_1 = P_2 + \Delta P / 10^6.$$

13. Из [2, табл.П.2] для диаметра трубы $d_в$ и средней температуре пара на участке $t_{ср}$ определим удельную линейную потерю мощности с одного метра длины паропровода – q_l, Вт/м.

14. Из [7, см. таблицы] по $t_{ср}$ и $P_{ср}$ определим удельную теплоемкость пара $C_р$, кДж/(кг·К) (не забывать переводить из единицы измерения кДж/(кг·К) в Дж/(кг·К)).

15. Найдем удельную потерю температуры пара вдоль паропровода, °С/м, за счет тепловых потерь в окружающую среду

$$\Delta t = q_в / \left(D_п \cdot C_р\right).$$

Здесь $D_п$ подставляется в кг/с.

16. Определим уточненное значение температуры пара в начале участка, °С (на выходе из котельной или ТЭЦ).

$$t_1 = \Delta t\left(l + l_к\right) + t_2.$$

17. Из [7, см. таблицы] определим плотность водяного пара в начале участка ρ_1 по уточненным параметрам P_1 и t_1, (ρ=1/v).

18. По уточненным параметрам P_1 и t_1 находим среднее значение плотности пара на участке, кг/м^3,

$$\rho_{ср} = 0{,}5\left(\rho_1 + \rho_2\right).$$

19. Сравниваем $\rho_{ср}$ с $\rho'_{ср}$, найденную в п.5 предварительного расчета. Если

$$\frac{\left|\rho'_{ср} - \rho_{ср}\right|}{\rho'_{ср}} \cdot 100 < 5\%,$$

то расчет паропровода заканчивается, если больше 5%, то возвращаемся к п.1 предварительного расчета, перезадавая R'_l и $\Delta t'$ до тех пор, пока условие п.19 будет выполняться.

20. Количество неподвижных опор на участке

$$n_н = n_к + 1.$$

21. Количество скользящих опор на участке

$$n_{\text{о}} = \left(l / l^{*}\right) - 1.$$

Здесь l^{*} - расстояние между скользящими опорами, м. Находится из [1].

22. Определяем диаметр конденсатопровода

$$d_{\text{к}} = \sqrt{4D_{\text{п}} \cdot \beta / \left(10^{3} \cdot \pi \cdot \omega_{\text{к}}\right)}, \text{ м.}$$

Полученные результаты сводим в табл.2.1.

Таблица 2.1

Сводные расчетные данные паропровода

Символ	P_1	t_1	$h_{\text{к}}$	$d_{\text{в}}$	$d_{\text{к}}$	$n_{\text{к}}$	$n_{\text{з}}$	$n_{\text{н}}$	$n_{\text{с}}$
Величина									

На этом заканчивается расчет участка паропровода.

2.2. Расчет водяных сетей

Сначала определяют расходы сетевой воды по всем абонентам, начиная с самого удаленного от источника теплоснабжения.

Расход воды, кг/с, к рассматриваемому абоненту складывается из расходов воды на отопление и вентиляцию

$$G_{\text{о,в}} = \mathrm{Q}_{\text{о,в}}^{\max} / \left[c\left(\tau_1' - \tau_2'\right)\right],$$

на горячее водоснабжение, кг/с,

$$G_{\text{гвс}} = \mathrm{Q}_{\text{гвс}}^{\text{ср}} / \left[c\left(t_{\text{г}} - t_{\text{х}}\right)\right].$$

Расчетный расход воды только к этому абоненту равен их сумме

$$G_{\text{р}} = \left(\mathrm{Q}_{\text{о,в}} + \mathrm{Q}_{\text{гвс}}\right) / \eta_{\text{тр}}.$$

Здесь $\mathrm{Q}_{\text{о,в}}^{\max}$ - сумма максимальных тепловых мощностей на отопление и вентиляцию данного абонента, кВт (см. табл.1.1 и 1.2); $\mathrm{Q}_{\text{гвс}}^{\text{ср}}$ - среднесуточная тепловая мощность на горячее водоснабжение того же абонента, кВт (см. табл.1.3); $\eta_{\text{тр}}$ - КПД транспорта тепловой энергии по водяным тепловым сетям (принимается 0,9–0,93); τ_1' и τ_2' - температуры в прямом и обратном трубопроводах сети при расчетной наружной температуре воздуха, °С (см. задание).

Все остальные параметры использовались ранее.

Аналогично рассчитывают расходы воды ко всем остальным абонентам, только подставляют в них тепловые мощности следующего конкретного абонента.

Затем определяют расходы воды на отдельных магистральных участках. На самом дальнем от источника магистральном участке расход воды будет равен расходу к последнему абоненту. По мере приближения магистральных участков к котельной расходы воды в них будут нарастать, складываясь из расходов воды в ответвления к другим абонентам. И только в самом ближнем к источнику магистральном участке расход будет равен сумме расходов воды ко всем абонентам.

Гидравлический расчет начинают с конечного магистрального участка до ответвления. Затем переходят к следующему магистральному участку между ответвлениями и так доходят до источника теплоснабжения.

Исходные данные для расчета

1. Длина участка, l_1, м (берется из карты рис.2).
2. Коэффициенты местных сопротивлений П-образных компенсаторов $\xi_к$=1,76÷2,5, задвижек $\xi_з$=0,3÷0,5 и поворотов $\xi_п$=0,5.
3. Допустимые напряжения стали на изгиб [σ]=35 мПа.
4. Температура монтажа трубопровода t_0. Принимается 15-20°С.
5. Доля местных потерь давления в ответвлениях - α (принимается 0,1-0,3).
6. Падение давления воды в водогрейных котлах или сетевых подогревателях $\Delta H_к$ или $\Delta H_{сп}$, м вод.ст. Берется из [10].
7. Располагаемое давление у всех абонентов $\Delta H_{аб}$, м. Для нормальной работы абонентских вводов принимается 20 м вод.ст.
8. Длина ответвлений $l_{отв}$, м (берется из карты местности). У некоторых абонентов она может быть равна нулю.

В результате расчетов необходимо определить, выбрать и построить следующее:
1. Внутренний диаметр сетей по всем магистральным участкам и ответвлениям.
2. Падение давления на всех магистральных участках и ответвлениях - ΔH_i, м вод.ст.
3. Число компенсаторов, неподвижных и скользящих опор - $n_к$, $n_н$, $n_с$.
4. Построить пьезометрический график тепловой водяной сети (рис.3).
5. Выбрать сетевые и подпиточные насосы.

2.2.1. Предварительный расчет

1. Предварительно зададим удельную линейную потерю давления, Па/м, на рассматриваемом магистральном участке (на длинных участках меньшее значение, на коротких – большее значение)

$$R_l' = (20 \div 60).$$

2. Предварительно определим внутренний диаметр трубы на участке, м,

$$d_в' = 0{,}1173 \cdot G_р^{0{,}38} / (R_l')^{0{,}19}.$$

3. Округлим внутренний диаметр $d_в'$ в соответствии со следующими значениями: 0,033; 0,04; 0,051; 0,07; 0,082; 0,1; 0,125; 0,15; 0,184; 0,207; 0,259; 0,309; 0,359; 0,408; 0,414; 0,466; 0,514; 0,612; 0,898; 0,996; 1,096; 1,192; 1,392, м.
4. По округленному внутреннему диаметру $d_в$ уточним удельную линейную потерю давления на участке, Па/м,

$$R_l = 12{,}72 \cdot 10^{-6} \cdot G_р^2 / d_в^{5{,}26}.$$

2.2.2. Проверочный расчет

1. Определим предельное расстояние между неподвижными опорами на рассматриваемом участке прямой сети L, м, на основании $d_в$ и τ'_1 по [2,3, табл. П.1].

2. Определим количество компенсаторов на участке. Если водяная теплосеть прокладывается совместно с паровой, то число компенсаторов и место их установки принимается равным таковому на паровой магистрали (см. 2.1.2). В том случае, если водяная сеть прокладывается без паровой, то число компенсаторов, шт., рассчитывается

$$n'_к = l_1 / L .$$

3. Округляем число $n'_к$ до целого значения $n_к$.

4. Определим количество секционирующих задвижек, шт.,

$$n'_з = l_1 / 1000 .$$

5. Округляем число задвижек $n'_з$ до целого значения $n_з$.

6. Определим длину, м, прямого участка по сопротивлению, эквивалентную всем местным сопротивлениям водопровода с компенсаторами, задвижками и поворотами

$$\ell_{экв} = 60{,}7\left(n_з \cdot \xi_з + n_к \cdot \xi_к + n_п \cdot \xi_п\right) d_в^{1{,}25} .$$

7. Определим расчетное тепловое удлинение водопровода, м, между неподвижными опорами

$$\Delta x = 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot L\left(\tau'_1 - t_o\right).$$

8. Определим высоту вылета П-образного компенсатора, м, при условии, что длины вылета и спинки равны

$$h_к = \sqrt{\frac{0{,}3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot d_в \cdot \Delta x}{[\sigma]}} .$$

Здесь $d_в$, Δx подставляются в м, а $[\sigma]$ в мПа.

9. Найдем удлинение участка за счет вылетов компенсаторов, м,

$$l_к = 2h_к \cdot n_к .$$

10. Определим падение давления воды на участке в прямом и обратном трубопроводах сети вместе, мПа,

$$\Delta P_1 = 2R_l\left(l_1 + l_{экв} + l_к\right) \cdot 10^{-6} .$$

11. Переведем падение давления на участке в м вод.ст.

$$\Delta H_1 = \Delta P_1 \cdot 10^2 .$$

12. Располагаемое давление, м вод.ст., в начале рассматриваемого (первого конечного) магистрального участка (в точке ответвления к другому абоненту)

$$\Delta H_{P_{01}} = \Delta H_{аб} + \Delta H_1 .$$

Далее по п.п.1-11 рассчитывается следующий второй магистральный участок, на котором расход воды будет другой и равный сумме расходов уже к двум абонентам.

Располагаемое давление, м вод.ст. в начале второго магистрального участка будет равно

$$\Delta H_{р2} = \Delta H_{P_{01}} + \Delta H_2 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_{аб},$$

где ΔH_2 - падение давления на втором участке.

Потом переходят к следующему магистральному участку и так доходят до источника теплоснабжения.

Располагаемое давление у источника теплоснабжения, м вод.ст., будет равно

$$\Delta H_{\text{рп}} = \sum_{1}^{m} \Delta H_i + \Delta H_{\text{аб}},$$

где m – количество магистральных участков.

Если к располагаемому давлению $\Delta H_{\text{рп}}$ прибавить потерю давления в водогрейных котлах или сетевых подогревателях, то получим располагаемое давление сетевых насосов, м вод.ст.,

$$\Delta H_{\text{сн}} = \Delta H_{\text{рп}} + \Delta H_{\text{к(сп)}}.$$

По расчетному расходу воды на выходе из котельной (ТЭЦ), м^3/ч, равному сумме расходов воды ко всем абонентам, $G_{\text{сн}} = \sum_{1}^{\kappa} G_{Pi} \cdot 3{,}6$, и $\Delta H_{\text{сн}}$ из [1] выбирают сетевые насосы.

Теперь можно перейти к расчету ответвлений.

13. Задается удельная потеря давления, Па/м, на рассматриваемом ответвлении

$$R'_{\text{отв}_i} = (20-60).$$

Далее переходят к п.п.(2-4) параграфа 2.2.1 до п.п.11 параграфа 2.2.2 включительно. Причем $G_{\text{р}}$ – расчетный, расход воды в ответвлении, кг/с.

14. Определяется действительное располагаемое давление в конце ответвления у абонента, м вод.ст.,

$$\Delta H'_{\text{аб}} = \Delta H_{\text{рi}} - \Delta H_i.$$

Здесь ΔH_i - потеря давления в ответвлении (см. п.11 параграфа 2.2.2).

$\Delta H_{\text{рi}}$ – располагаемое давление в начале ответвления, м вод.ст. Если получится $\Delta H'_{\text{аб}}$ больше 20 м вод.ст., то на входе труб к абоненту в прямой или обратной устанавливается дроссельная шайба, которая должна погасить избыточное давление, м вод.ст.,

$$\Delta H_{\text{избыт}} = \Delta H'_{\text{аб}} - 20.$$

Внутренний диаметр дроссельной шайбы равен, мм,

$$d_{\text{ш}} = 21{,}4 \frac{\sqrt{G_{P_i}}}{\sqrt[4]{\Delta H_{\text{избыт}}}}.$$

Здесь G_{P_i} - расчетный расход воды к рассматриваемому абоненту, кг/с.

Если $\Delta H'_{\text{аб}}$ получается меньше 20 м вод.ст., то необходимо еще раз перезадать диаметр стандартной трубы в большую сторону и расчеты повторить до тех пор, пока будет выполняться условие $\Delta H'_{\text{аб}} \geq 20$ м вод.ст. В случае, когда длина ответвления равна нулю, то на вводе к абоненту также рассчитывается и ставится дроссельная шайба. В этом случае избыточное давление, которое должна погасить шайба, м вод.ст., будет равно

$$\Delta H_{\text{избыт}} = \Delta H_{\text{P}_i} - 20.$$

Здесь ΔH_{P_i} - располагаемое давление в месте подключения абонента к магистральному участку (см. п.12 параграфа 2.2.2).

Далее переходят к расчету следующего ответвления.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
ГОУ ВПО "Уральский Государственный технический университет - УПИ"

В конце находят количество неподвижных и скользящих опор на всех участках (см. пп.20 и 21 параграфа 2.1.2).

Следует еще раз подчеркнуть, что по изложенной методике рассчитывают отдельно по участкам между ответвлениями всю магистраль от конечного абонента до источника теплоснабжения. Причем на каждом участке будет свой секундный расход воды, нарастающий к источнику, а следовательно, и разные диаметры, увеличивающиеся при приближении к источнику.

Существует и другой метод гидравлического расчета водяных тепловых сетей, суть которого заключается в следующем.

1. По расчетному расходу воды на выходе из котельной $G_р$, м^3/ч, (см. параграф 2.2) из литературы [1] подбирают сетевой насос. Находят располагаемое давление этого насоса $\Delta H_{сн}$, м вод.ст.

2. Отнимают от значения этого давления потерю давления в водогрейных котлах (сетевых подогревателях) $\Delta H_{к(сп)}$ из [1] и получают располагаемое давление в сети на выходе из источника, м вод.ст.,

$$\Delta H_{рк} = \Delta H_{сн} - \Delta H_{к(сп)}.$$

3. От $\Delta H_{рк}$ отнимают значение располагаемого давления у самого удаленного от источника абонента $\Delta H_{аб}$=20 м вод.ст. и эту разницу делят на две длины всей магистрали и (1+α). Получают удельную потерю давления для всей магистрали, Па/м,

$$R_l' = \frac{\left(\Delta H_{рк} - \Delta H_{аб}\right)\cdot 10^4}{2\cdot l\cdot\left(1+\alpha\right)}.$$

Далее переходят к пп.(2-4) параграфа 2.2.1 и заканчивают пунктом 14 параграфа 2.2.2.

Построение пьезометрического графика (рис.3).

1. Необходимо построить профиль прокладки магистральной тепловой сети и ответвлений в системе координат *H-l*, м. По оси *l* откладываются расстояния между соседними горизонталями l_i по линии прокладки сети, замеренные по карте (рис.2) от котельной и далее до конечного потребителя. По оси *H* откладываются высотные отметки этих горизонталей, обозначенные на карте. Общая длина l_i равна длине всей магистрали.
2. На профиле вычерчивается в масштабе высота присоединяемых к сети зданий (высота задается студентом 10-30 м).
3. Выбирается (в соответствии с табл. П.3 в зависимости от температуры воды в прямой сети τ'_1) и наносится уровень *s-s* статического давления на расстоянии $H_{s\text{-}s}$ эквидистантно профилю прокладки сети исходя из условия обеспечения невскипания воды в любой точке района.
4. Проводим касательную к линии *s-s* в самой высокой точке и одновременно перпендикулярную к оси *H*.
5. Откладываем от касательной к линии s-s располагаемое давление у самого удаленного от источника абонента $\Delta H_{аб}$=20 м вод.ст.
6. Находим точку в середине отрезка $\Delta H_{аб}$ и через нее проводим ось будущего пьезометрического графика параллельно оси *l*.

7. Откладываем расчетные располагаемые давления ΔH_{P_i} по участкам магистрали в местах ответвлений. Половину от ΔH_{P_i} - вниз, другую половину ΔH_{P_i} - вверх от оси графика в точках ответвлений.

8. Соединяем полученные точки прямой линией.

9. Наносятся пьезометрические графики ответвлений к абонентам.

Причем половина действительного располагаемого давления $\Delta H'_{аб}$ откладывается вверх, другая половина – вниз от оси графика в конце ответвления (у абонента). Точки концов отрезков ΔH_{P_i} и $\Delta H'_{аб}$ соединяют прямыми линиями и получают пьезометрические графики ответвлений. На линии $\Delta H'_{аб}$ наносятся отрезки $\Delta H_{избыт}$ и располагаемого давления $\Delta H_{аб}$ у абонента (20 м вод.ст.).

10. К располагаемому давлению в сети на выходе от источника добавляем гидравлическую потерю давления в котлах или сетевых подогревателях $\Delta H_{к(сп)}$.

Полученное давление называется располагаемым давлением сетевых насосов.

Полученный график называется пьезометрическим.

Из графика берутся данные для выбора сетевых и подпиточных насосов по величинам $\Delta H_{сн}$ и $\Delta H_{пн}$ и расходам воды соответственно из [1]. Расход подпиточной воды в закрытых системах теплоснабжения берется 0,005 от объема воды, находящейся в магистральном трубопроводе и ответвлениях, $м^3/ч$, или 0,02 от расхода воды на выходе от источника $G_р$, кг/с.

При теплоснабжении от ТЭЦ используют не только сетевые подогреватели, а и пиковые водогрейные котлы, включенные последовательно. Бустерные (вспомогательные) насосы устанавливают перед сетевыми подогревателями, а сетевые – перед пиковыми водогрейными котлами. Бустерные насосы выбирают на такое давление $\Delta H_{бн}$, которое выдерживают водяные камеры сетевых подогревателей $H_{вк}$ [1], за вычетом давления, создаваемого подпиточными насосами $\Delta H_{пн}$. Сетевые насосы выбирают по давлению $\Delta H_{сн} = \Delta H_{рк} - \Delta H_{би} + \Delta H_{сп} + \Delta H_{пвк}$, м вод.ст. и расходу воды, равному $G_р$ на выходе из ТЭЦ. Здесь $\Delta H_{рк}$ - располагаемое давление в сети на выходе из источника; $\Delta H_{сп}$, $\Delta H_{пвк}$ - потери давления в сетевых подогревателях (их может быть 2 штуки включенных последовательно) и пиковых водогрейных котлах, м вод.ст.

Далее анализируется пьезометрический график и решается вопрос о способе присоединения абонентов к сети. В случае пересечения графика с профилем прокладки сети график поднимают на необходимую высоту, чтобы пересечения не было, или ставят повысительную насосную подстанцию на обратном трубопроводе в месте его пересечения с профилем. Если давление в обратной магистрали у какого-либо абонента превышает 60 м вод.ст.(предельное давление, на которое рассчитаны чугунные радиаторы), то абонента присоединяют по независимой схеме или ставят дроссельную

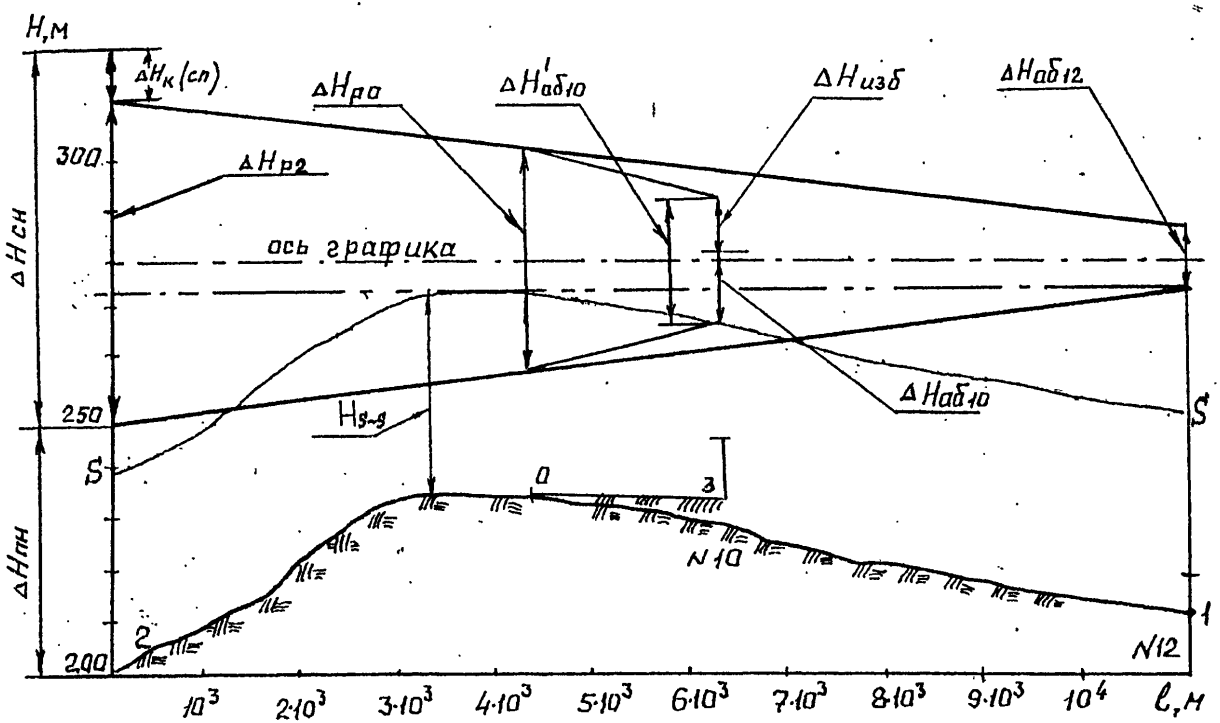


Рис.3. Пьезометрический график водяной тепловой сети:

$\Delta H_{к(сп)}$ - потеря давления в котле (сетевом подогревателе); $\Delta H_{Р_0}$ - располагаемое давление в месте ответвления; $\Delta H_{аб}$ - располагаемое давление у абонентов; $\Delta H_{пн}$ - располагаемое давление подпиточных насосов; Т – высота и место зданий абонентов; $\Delta H_{сн}$ - располагаемое давление сетевых насосов; $\Delta H_{избыт}$ - избыточное давление у абонента; $H_{з-д}$ - уровень статического давления вскипания воды при температуре τ'_1

подстанцию на прямой магистрали. Если меньше 60 м вод.ст., то по зависимой – через элеватор или ЦТП. Напор в обратной магистрали у источника должен быть больше 5 м вод.ст. для предупреждения кавитации в сетевых насосах. При необходимости график поднимается на нужную высоту или устанавливается повысительная подстанция на обратном трубопроводе. На трубопроводах устанавливают дренажи, воздушники, перемычки между прямой и обратной линиями. Линия давления в обратной магистрали должна лежать выше высоты присоединяемых зданий с целью заполнения их систем водой при запуске перед отопительным сезоном.

3. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СЕТИ

3.1. Расчет мощности тепловых потерь теплопроводом

Потеря мощности всем теплопроводом в окружающую среду, кВт, подсчитывается по формуле

$$Q_{т} = \sum_{1}^{к} q_{l_i} \left(l_i + l_{э}\right)(1+\beta')10^{-3},$$

как для прямого, так и обратного трубопроводов; β' - коэффициент местных потерь опорами и арматурой (принимается 0,2); l_i, $l_э$ -длины магистральных участков, ответвлений и вылетов компенсаторов, м (см. главу 2.2.2); q_{l_i} - удельная мощность тепловых потерь на участке прямого или обратного трубопроводов, Вт/м (зависит от температуры теплоносителя и диаметра трубопровода), выбирается из табл.П.2 [5,6]; к – количество участков тепловой сети. Мощность тепловых потерь прибавляется к максимальной тепловой мощности на отопление, вентиляцию и среднесуточной на г.в.с. абонентов, таким образом получают необходимую мощность источника теплоснабжения, отпускаемую в водяные тепловые сети.

3.2. Расчет толщины тепловой изоляции

1. Термическое сопротивление основного слоя изоляции, К·м/Вт, на участке прямого или обратного трубопровода рассчитывается по формуле

$$R = \frac{\tau' - t'_{н}}{q_{l_i}}.$$

Здесь τ' - максимальная температура в трубопроводе при расчетной температуре наружного воздуха $t'_{н}$, °С.

2. Пренебрегая термическим сопротивлением защитного покрытия по сравнению с сопротивлением основного слоя (ошибка не превышает 20%), определим толщину основного слоя изоляции для всех участков сети, которая обеспечит расчетную мощность тепловых потерь, м,

$$\Delta_{из} = \frac{d_{н}}{2}\left(e^{2\pi\lambda_{из}R} - 1\right).$$

Здесь $d_н$ – наружный диаметр трубопровода, равен внутреннему плюс две толщины стенки, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности основного слоя изоляции, Вт/(м·К), берется в [1].

Выбор основного и вспомогательного оборудования источников производится согласно методическим указаниям к курсовому проектированию для котельных [10,11] и ТЭЦ]12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. 7 изд. стереот. М.: Издательство МЭИ, 2001. 472 с.
2. Проектирование тепловых сетей: Справочник проектировщика / Под ред. Николаева А.А. М.: Стройиздат, 1965. 359 с.
3. Захаренко С.Е. Справочник строителя тепловых сетей. М.: Энергия, 1967. 400 с.
4. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.07.86. Тепловые сети. М.: Минстрой России, 1996. 82 с.
5. Центер Ф.Г. Проектирование тепловой изоляции электростанций. М.: Энергия, 1966. 232 с.
6. Нормы проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования электростанций и тепловых сетей. М.: Энергоиздат, 1959. 48 с.
7. Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Изд-во стандартов, 1969. 408 с.
8. Строительные нормы и правила СНИП2.01.01.82. Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат, 1983. 85 с.
9. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию/ И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина М.: Энергоатомиздат, 1988. 376 с.
10. Роддатис К.Ф., Полтарицкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности / Под ред. К.Ф. Роддатиса М.: Энергоатомиздат, 1989. 488 с.
11. Дубинин А.М. Производственные и отопительные котельные: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промпредприятий». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. 28 с.
12. Дубинин А.М. Промышленные теплоэлектроцентрали (ТЭЦ): Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промпредприятий». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1994. 19 с.

Приложение

Таблица П.1

Предельные расстояния между неподвижными опорами (L, м) [2,3]

Внутренний диаметр трубы, $d_в$, м	П-образные компенсаторы				
	Теплоноситель				
	Вода	Пар			
	P=0,8÷1,6 мПа τ'_1=100÷150°С	$P_{ср}$=0,6 мПа $t_{ср}$=250°С	$P_{ср}$=1,3 мПа $t_{ср}$=300°С	$P_{ср}$=1,6 мПа $t_{ср}$=350°С	$P_{ср}$=3,7 мПа $t_{ср}$=425°С
0,033	50	50	50	50	50
0,040	60	60	60	60	60
0,050	60	60	60	60	60
0,069	70	70	70	70	70
0,082	80	80	80	80	80
0,100	80	80	80	80	80
0,125	90	90	90	80	80
0,150	100	100	90	80	80
0,184	100	100	100	90	80
0,207	120	120	100	100	80
0,259	120	120	100	100	80
0,309	120	120	120	120	100
0,359	140	120	120	120	100
0,404	160	140	140	120	100
0,466	160	140	140		
0,517	180	160	160		
0,616	200	160	160		
0,706	200	160	160		
0,804	200	160	160		
0,902	200	160	160		
1,000	200	160	160		

Таблица П.2

Нормы потерь мощности изолированными теплопроводами на открытом воздухе

Внутренний диаметр трубы, $d_в$, м	Температура теплоносителя, τ, °С																	
	70	130	150	160	200	225	250	300	350	360	400	410	450	500	510	540	550	570
	Потеря мощности, qℓ, Вт/м																	
0,033	31	38	46	49	62	69	77	93	108	111	124	127	140	156	159	168	172	178
0,040	36	45	53	58	72	81	90	108	125	129	144	148	162	180	184	195	198	205
0,050	40	49	58	62	78	87	96	115	134	138	153	157	173	192	196	207	210	218
0,069	45	55	66	70	86	97	108	128	148	153	170	173	190	210	215	227	232	240
0,082	50	60	71	75	93	103	114	136	158	163	180	185	202	223	228	241	245	254
0,100	55	67	77	82	101	113	125	148	172	175	195	200	218	242	246	260	265	274
0,125	60	74	85	90	111	124	196	162	188	193	212	217	239	164	270	285	290	300
0,150	65	80	94	100	120	135	148	175	205	210	230	235	260	287	294	308	315	327
0,184	73	88	103	108	130	146	162	192	223	228	250	256	280	312	318	336	342	353
0,207	78	95	110	116	140	158	175	208	240	245	270	275	302	336	342	361	369	380
0,259	87	107	125	132	160	180	198	233	268	276	305	313	340	378	385	406	414	428
0,309	100	120	140	148	180	200	220	260	300	308	340	350	380	420	428	452	460	475
0,359	114	135	156	199	220	240	283	326	334	370	379	410	455	455	464	490	498	515
0,404	128	150	173	181	208	240	260	306	352	360	398	403	440	490	500	526	535	553
0,466	136	160	185	195	235	258	280	330	375	384	420	430	470	520	530	560	570	590
0,517	145	170	196	206	245	273	350	400	400	410	450	460	500	550	560	590	600	620
0,616	160	190	218	228	275	302	385	440	440	452	500	510	555	610	620	655	665	687
0,706	176	206	238	249	297	327	420	480	480	492	542	554	602	664	675	713	725	750
0,804	200	233	266	280	330	365	464	535	535	542	600	608	665	732	741	776	800	818
0,902	225	260	296	310	370	405	515	585	585	600	655	670	725	800	815	855	870	898
1,000	255	292	330	345	407	446	565	640	640	650	720	734	793	865	881	929	945	975

Примечание. Приведенные нормы определены по среднегодовой температуре окружающего воздуха $t_н$=15°С, но с допустимым приближением могут применяться при среднегодовой температуре воздуха от 0°С до +15°С

Таблица П.3

Зависимость избыточного давления насыщения от температуры воды

Расчетная температура воды τ', °С	Давление м вод.ст. (высота линии $H_{s\text{-}s}$)
110	5
120	10
130	20
140	30
150	40
160	55
170	72
180	93

