

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальностей
1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»,
7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Витебск
2025

УДК 658.264

Составители:

И. А. Тимонов, С. В. Жерносек, С. А. Рудаков

Одобрено кафедрой «Теплоэнергетика»
УО «ВГТУ», протокол № 8 от 22.05.2025.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 28.05.2025.

Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий :
методические указания к практическим занятиям / сост. И. А. Тимонов,
С. В. Жерносек, С. А. Рудаков – Витебск : УО «ВГТУ», 2025. – 50 с.

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой для студентов специальностей 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» и 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника». В пособии изложен материал, необходимый студентам для выполнения практических занятий по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий».

УДК 658.264

© УО «ВГТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК.....	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ	7
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3	
ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО ГРАФИКА, ВЫБОР СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ АБОНЕНТОВ К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ, ПОДБОР НАСОСОВ .	13
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4	
ПРОКЛАДКА ТРАССЫ, ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ.....	21
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5	
РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ	26
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6	
МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ	31
ЛИТЕРАТУРА.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Вариант генплана промышленного предприятия.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Эксплуатация и характеристики зданий	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Удельные отопительные и вентиляционные характеристики зданий, расчетная температура воздуха внутри помещений	46
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Исходные данные	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Значения коэффициентов А для гидравлического расчета	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Коэффициенты местных сопротивлений	49

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Цель занятия: ознакомиться с видами тепловых нагрузок, влияющими на них факторами и приобрести практические навыки их расчета.

Общие сведения

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) круглогодовая.

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 круглогодического характера. К круглогодической 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.

Расчет тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение теплопотребителей, присоединенных к источникам (ТЭЦ, котельная), предшествует тепловому расчету источников систем теплоснабжения и гидравлическому расчету тепловых сетей. Точность расчета тепловых нагрузок будет определять достоверность результатов расчета системы теплоснабжения в целом.

Расчетная отопительная нагрузка, Вт:

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

где q_0 – величина удельной теплопотери здания, Вт/м³·град (прил. В); V – объем здания по наружному обмеру, м³ (прил. В); $t_{\text{в.р}}$ – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С (прил. В); $t_{\text{н.о}}$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления, равная средней температуре наиболее холодных пятидневок, взятых из восьми наиболее холодных зим за пятидесятилетний период, °С (2, прил. А).

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 промышлен-

ных 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,

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

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

Расчетная вентиляционная нагрузка, Вт:

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

где $q_{\text{в}}$ – удельный расход теплоты на вентиляцию, Вт/м³·град (прил. В); $t_{\text{н.в}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С (2, прил. А).

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, $t_{х.в} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$; n – количество умывальников, шт.; b – норма расхода горячей воды на умывальник, $b = 5\text{ л/ч}$; $t_{см.2}$ – температура смеси горячей и холодной воды в умывальнике, $t_{см.2} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$; c_p – теплоемкость воды, $c_p = 4,19\text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$.

ЗАДАЧА

В соответствии с заданием рассчитать отопительную, вентиляционную расчетные нагрузки и расчетную нагрузку горячего водоснабжения.

Задания для выполнения практических занятий выдает преподаватель.

Исходными данными являются:

Генплан промышленного предприятия и местоположение камеры подключения предприятия к тепловой сети (прил. А).

Вариант генплана промышленного предприятия и камеры подключения тепловой сети берется из выданного задания (размер территории предприятия $350 \times 300\text{ м}$, масштаб 1:1000).

Вариант расположения камеры подключения промышленного предприятия к магистральным тепловым сетям берется из выданного задания.

Город, где расположено промышленное предприятие (прил. Г).

Расчетные температуры наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции, средняя температура наружного воздуха за отопительный период, продолжительность отопительного периода (2, прил. А, В).

Отметки горизонталей рельефа местности (прил. А).

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 (прил. Г).

Экспликация и высоты зданий, количество умывальников и душей, расход пара, внутренние тепловыделения, наличие выделения вредностей в рабочую зону (прил. Б).

Объемы зданий, удельные расходы тепла на отопление и вентиляцию, расчетная температура воздуха внутри помещений (прил. В).

Все расчеты тепловых нагрузок сводятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Расчетные тепловые нагрузки предприятия

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

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель занятия: ознакомиться с методикой определения расчетных расходов теплоносителя, изучить основные положения гидравлического расчета трубопроводов тепловых сетей.

Общие сведения

Гидравлическому расчету предшествует определение расчетных расходов теплоносителя.

Расчетные расходы сетевой воды определяются отдельно для каждого вида нагрузки.

Расчетные расходы воды на отопление $G_{o \text{ макс}}$, кг/с:

$$G_{om} = \frac{Q'_{om.max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)} \quad (2.1)$$

где τ_1, τ_2 – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах при температуре $t_{н.о}$, °С; c – теплоемкость воды, кДж/кг·град.

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию $G_{в.мах}$, кг/с:

$$G_v = \frac{Q_{в.мах}}{c \cdot (\tau'_1 - \tau'_2)} \quad (2.2)$$

где τ'_1, τ'_2 – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах при температуре $t_{н.в}$, °С; (кроме зданий В, Г, Д, Е, Н, П, для которых расчетные расходы сетевой воды рассчитываются при температуре $t_{н.о}$), °С.

Расчетные расходы воды на горячее водоснабжение кг/с:

$$G_{г.в} = \frac{Q_{г.в}}{c \cdot (\tau''_1 - \tau''_2)} \quad (2.3)$$

где τ''_1 и τ''_2 – температура воды соответственно в подающем и обратном трубопроводе в точке излома графика температур воды $t'_{н}$, °С.

Все значения τ определяются по графику центрального регулирования отпуска теплоты.

Суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании определяется по отопительной нагрузке:

$$G_p = G_{от} + G_v + G_{г.в.} \quad (2.4)$$

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. Основные формулы для выполнения гидравлического расчета приведены в ЭУМК (теоретический раздел, тема 5).

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_l , определяют диаметры трубопроводов $d_n \times S$, фактические удельные потери давления R'_l , Па/м, а также скорость движения теплоносителя W , м/с. Условный проход труб независимо от расчетного расхода теплоносителя должен приниматься в тепловых сетях не менее 32 мм. Скорость движения воды не должна быть более 3,5 м/с. Определив диаметры трубопроводов, находят количество компенсаторов на участках и другие виды местных сопротивлений.

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

На основе имеющихся материалов гидравлических испытаний тепловых сетей и водопроводов в СН 4.02.01–2019 [3] рекомендуются следующие значения абсолютной эквивалентной шероховатости k_z , м, для гидравлического расчета тепловых сетей:

- паропроводы – 0,002;
- водяные сети – 0,005;
- конденсатопроводы – 0,001.

ЗАДАЧА

В соответствии с заданием (см. практическое занятие 1) рассчитать расходы теплоносителя и выполнить гидравлический расчет тепловой сети.

Полученные по формулам (2.1–2.4) расчетные расходы сетевой воды для каждого здания сводятся в таблицу 2.

Таблица 2.1 – Расчетные расходы сетевой воды

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

Гидравлический расчет производится следующим образом. Сначала выполняется предварительный, а затем проверочный расчеты.

Предварительный расчет

При известном располагаемом давлении Δp для всей сети, а также для ответвлений предварительно определяют ориентировочные средние удельные потери давления R_l , Па/м:

$$R_l = \frac{\Delta p}{\Sigma l \cdot (1 + \alpha)} \quad (2.5)$$

где Δp – располагаемый перепад давления, Па; Σl – суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления), м; α – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях:

$$\alpha = 0,0019 \cdot \sqrt{G}, \quad (2.6)$$

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

При неизвестном располагаемом перепаде давления в начале и конце теплотрассы удельные потери давления R_l в тепловых сетях могут быть приняты согласно рекомендациям:

- 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:

$$d = \frac{A_a^b \cdot G^{0,38}}{R_{\text{л}}^{0,38}} \quad (2.7)$$

где A_a^b – коэффициент, определяется по приложению Д; G – расход теплоносителя на участке, кг/с.

Проверочный расчет

По полученным значениям выбирается ближайший стандартный диаметр трубопровода для каждого участка (2, прил. А). 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 запорнорегулирующей 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 (прил. И). В каждой узловой камере устанавливают неподвижную опору. На участке между двумя неподвижными опорами предусматривают компенсатор. Повороты трассы теплосети под углом 90–130° используют для самокомпенсации температурных удлинений, а в местах поворотов под углом более 130° устанавливаются неподвижные опоры. Неподвижные опоры располагают на теплопроводах большего диаметра, запорную арматуру устанавливают на всех ответвлениях и на магистральных участках через одно–два ответвления. В камерах на ответвлениях к отдельным зданиям при диаметре ответвлений до 50 мм и длине до 30 м запорную арматуру допускается не устанавливать. При этом должна предусматриваться арматура, обеспечивающая отключение группы зданий с суммарной тепловой нагрузкой до 0,6 МВт.

Действительное линейное удельное падение давления, Па/м:

$$R'_l = \frac{A_R^b \cdot G^2}{d^{5,25}} \quad (2.8)$$

где A_R^b – коэффициент, определяется по приложению Д.

Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений, м:

$$l_3 = A_l \cdot \sum \xi \cdot d^{1,25} \quad (2.9)$$

где A_l – коэффициент, определяется по приложению Д; $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, установленных на участке (прил. Е).

Определяются потери давления на участке, Па:

$$\Delta p = R'_l \cdot (l + l_3) \quad (2.10)$$

После расчета главной магистрали приступают к расчету ответвлений. По принципу увязки потери давления Δp 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 рисунке 2.1.

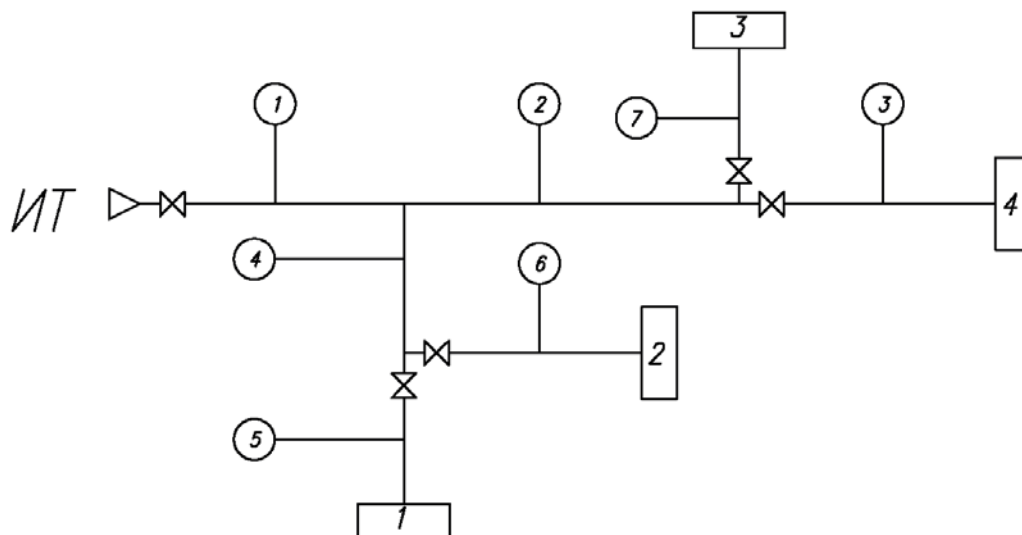


Рисунок 2.1 – Расчетная схема тепловой сети

Согласно вышесказанному, необходимо стремиться к выполнению следующих условий:

$$\Delta p(4 + 5) = \Delta p(2 + 3); \Delta p_6 = \Delta p_5; \Delta p_7 = \Delta p_3.$$

В соответствии с этими условиями находятся ориентировочные удельные потери давления для ответвлений по формуле (2.5). Например, для ответвления с участками 4 и 5 получим:

$$R_{л(4,5)} = \frac{\Delta p_{(2+3)}}{l_{(4+5)} \cdot (1 + \alpha)} \quad (2.11)$$

По полученному значению находят диаметры трубопроводов, действительные удельные потери давления, скорости теплоносителя, потери давления на участках 4 и 5 (по формулам (2.7)–(2.10)).

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

$$\delta = \frac{\Delta p_{(2+3)} - \Delta p_{(4+5)}}{\Delta p_{(2+3)}} \cdot 100\% \leq 10\% \quad (2.12)$$

После определения потерь давления на каждом участке теплосети рассчитывают напоры в подающем H_{ni} и обратном H_{oi} трубопроводах, а также располагаемый напор H_{pi} , в конце каждого участка:

$$\begin{aligned} H_{ni} &= H_{n(i-1)} - \Delta p_i \\ H_{oi} &= H_{o(i-1)} - \Delta p_i \\ H_{pi} &= H_{ni} + H_{oi} \\ H_{pi} &= H_{ni} + H_{oi} \end{aligned} \quad (2.13)$$

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

Результаты гидравлического расчета заносятся в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты гидравлического расчета

Номер участка	G , кг/с	l , м	l_o , м	$D_H \times S$, мм	W , м/с	R'_l , Па/м	Δp , Па, м вод. ст.	H_n , м вод. ст.	H_o , м вод. ст.	H_p , м вод. ст.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО ГРАФИКА, ВЫБОР СХЕМЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ АБОНЕНТОВ К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ, ПОДБОР НАСОСОВ

Цель занятия: ознакомиться с основными элементами пьезометрического графика, условиями и требованиями к его построению. Научиться выбирать рациональные схемы присоединения абонентских теплоиспользующих установок к тепловой сети. Получить практические навыки по определению параметров сетевых и подпиточных насосов и их выбора по рабочим характеристикам.

Общие сведения

Пьезометрический график. Пьезометрические графики показывают распределение давления (напора) в подающем и обратном трубопроводах по всей тепловой сети, а также располагаемые давления (напоры) в местах присоединения абонентских систем.

Графики строятся для основной магистрали и основных характерных ответвлений для зимнего и летнего режимов.

Рассмотрим основные элементы пьезометрического графика, изображенного на рисунке 3.1. Считается, что ось трубопровода теплосети совпадает с поверхностью земли (в принимаемом вертикальном масштабе эта ошибка очень незначительна).

Пьезометрические напоры в трубопроводах теплосети будут равны соответственно:

- в т. 2 подающего трубопровода $H_{2п} - z_2$, обратного $H_{2о} - z_2$;
- в т. 4 подающего трубопровода $H_{4п} + z_4$, обратного $H_{4о} + z_4$.

В динамическом режиме, т. е. при работе сетевых насосов, напор, развиваемый подпиточными насосами, дросселируется регулятором давления РД (подпитки РП) до уровня H_{10} . При остановке сетевых насосов подпиточные поддерживают в теплосети напор, равный статическому $H_{ст}$.

До начала гидравлического расчета теплосети необходимо наметить возможный уровень статических напоров, линии максимальных и минимальных значений гидродинамических напоров в системе и в процессе гидравлического расчета необходимо следить за тем, чтобы действительные значения напоров на участках сети и в ответвлениях не выходили за предельные значения.

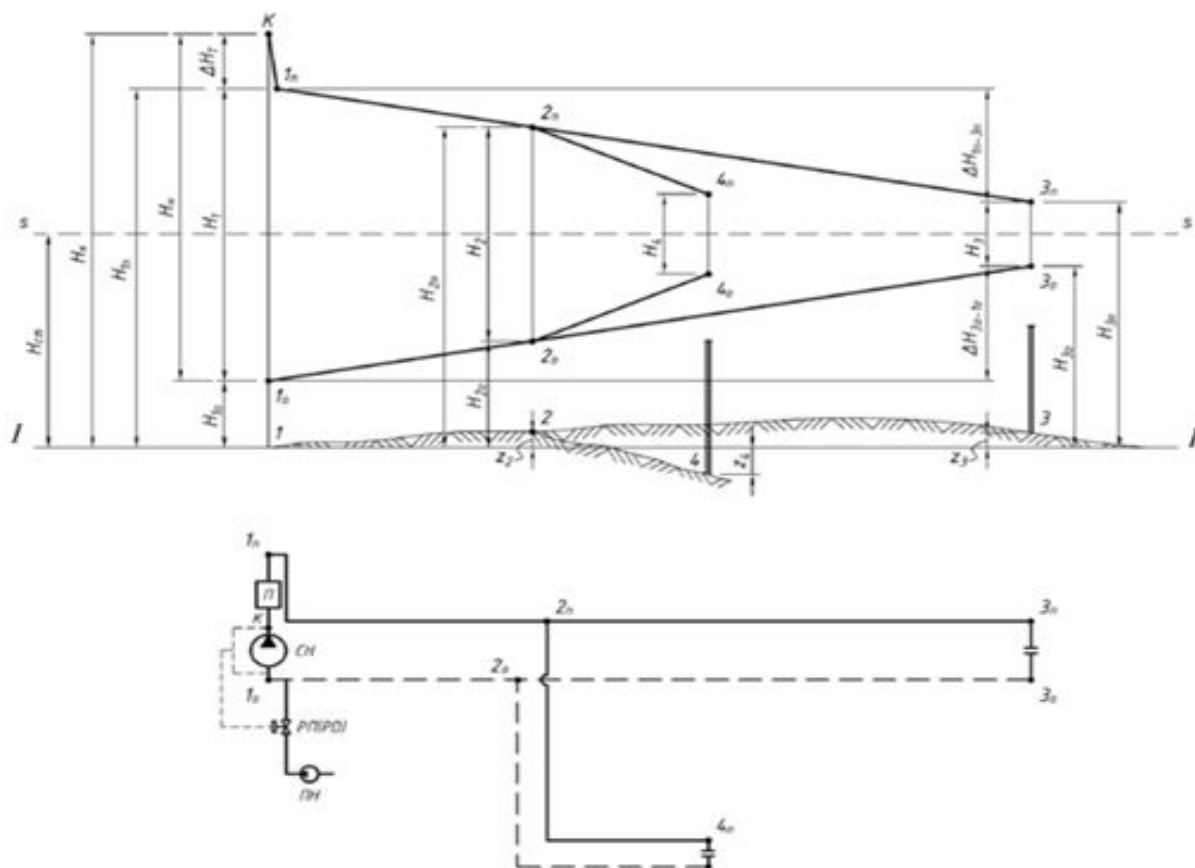


Рисунок 3.1 – Схема и пьезометрический график двухтрубной тепловой сети: 3, 4 – здания, подключаемые к теплосети; СН – сетевой насос; ПН – подпиточный насос; РП (РД) – регулятор подпитки (регулятор давления); П – подогреватель сетевой воды; I–I – горизонтальная линия отсчета напоров; 1п–3п – линия напоров в подающем трубопроводе теплосети; 3о–1о – линия напоров в обратном трубопроводе; Нк – полный напор на нагнетательном патрубке сетевого насоса в т. К; Н1п – полный напор в подающем коллекторе теплосети; Н1о – то же в обратном коллекторе теплосети; Нн – напор, развиваемый сетевым насосом; ΔH_t – потери напора в теплоприготовительной установке источника тепла (в водоподогревателях сетевой воды); Нст – статический напор в теплосети (напор, создаваемый подпиточным насосом); Н1, ..., Н4 – располагаемые напоры на коллекторе станции и в соответствующих точках тепловой сети $H = H_n - H_o$; Н2п, Н3п, Н2о, Н3о – полные напоры в соответствующих точках подающего и обратного теплопроводов; $\Delta H_{1п-3п}$, $\Delta H_{3о-1о}$ – потери напора соответственно в подающем и обратном трубопроводах от станции до конечного потребителя в т. 3; $\Delta H_{1п-3п} = H_{1п} - H_{3п}$; $\Delta H_{3о-1о} = H_{3о} - H_{1о}$; $z_2, \dots, z_4$ – геодезическая высота оси трубопровода относительно линии I–I.

Основные требования к гидродинамическому режиму в тепловых сетях:

1. Непревышение допустимых давлений в оборудовании источника теплоты, в тепловой сети и в оборудовании абонентских установок. Допустимое

избыточное давление в теплосети составляет порядка 1,6–2,5 МПа и зависит от типа оборудования, например:

- подогреватели сетевой воды 1,4 МПа (140 м);
- пароводяные и водоводяные кожухотрубные подогреватели 1,0 МПа (100 м);
- стальные водогрейные котлы 2,5 МПа (250 м);
- системы отопления с чугунными нагревательными приборами 0,6 МПа (60 м);
- системы отопления с конвекторами 0,9 МПа (90 м);
- системы вентиляции с калориферами 0,8 МПа (80 м);
- системы горячего водоснабжения с водонагревателями – 1,0 МПа (100 м).

2. Обеспечение избыточного давления во всей системе для недопущения кавитации сетевых насосов и защиты системы теплоснабжения от подсоса воздуха. Минимальная величина избыточного давления принимается 0,05 МПа (5 м).

3. Обеспечение не вскипания воды при гидродинамическом режиме системы теплоснабжения. Избыточное давление в системе должно быть не менее давления сухого насыщенного пара при $t_{\text{нас}}$ (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Обеспечение не вскипания воды

Расчётная температура сетевой воды, °С	110	120	130	140	150	160	170	180
Максимальное давление, кПа	50	100	200	300	400	550	720	930
Напор, м	5	10	20	30	40	55	72	93

При построении пьезометрических графиков следует иметь в виду, что при зависимом присоединении абонентских систем важно не допускать пересечения линией гидродинамических пьезометрических напоров подающего трубопровода линии статических напоров, т. к. в противном случае необходимо сооружение повысительных насосных станций в сети.

Линия действительных гидродинамических напоров в обратной магистрали может пересекать линию статических напоров и располагаться ниже верхних отметок зданий. В этом случае для поддержания необходимого пьезометрического напора у абонентских установок по сравнению с напором в обратной линии на обратном трубопроводе абонентской установки регулятор давления устанавливают «до себя».

Располагаемый напор у абонентских систем на конечных участках сети должен быть равным или несколько большим потерь напора в абонентских системах, чтобы избежать дополнительной установки насосов.

Выбор схем присоединения абонентских установок. Пьезометрический график дает наглядное представление о действующих напорах в системе при

гидродинамическом режиме, статическом состоянии системы теплоснабжения, о взаимном расположении зданий с учетом их высот относительно линий напоров в трубопроводах теплосети и геодезических отметок поверхности земли по трассе. Это имеет существенное значение при выборе рациональных схем присоединения абонентских теплоиспользующих установок.

На рисунке 3.2 показан пьезометрический график двухтрубной водяной теплосети.

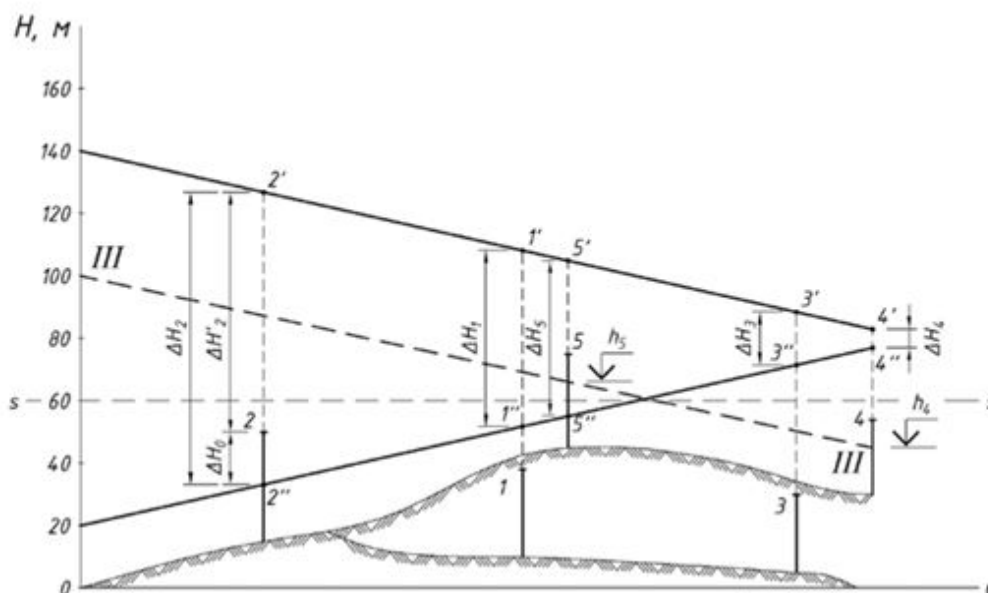


Рисунок 3.2 – Выбор схем присоединения отопительных установок зданий к теплосети:

1–5 – здания в масштабе по высоте; h_4 , h_5 – геодезические отметки; ΔH_1 – ΔH_5 – располагаемые напоры в теплосети в местах присоединения зданий.

Напор в подающем трубопроводе не допускает вскипания в нем воды, так как линия III–III не пересекает поверхности земли. Однако эта линия пересекает абоненты 5 и 4 на отметках h_5 и h_4 , следовательно, водонагреватели и калориферы, присоединенные к теплосети, не могут находиться выше отметок h_5 и h_4 .

Для абонента 2 пьезометрический напор в подающем трубопроводе около 113 м, для абонента 1–98 м, следовательно, водонагреватели горячего водоснабжения и калориферы вентиляционных систем должны присоединяться к тепловой сети с обязательной установкой регуляторов давления на подающем трубопроводе, понижающих давление до допустимой величины, не допускающей «раздавливания» нагревательных устройств.

Система отопления здания 1 может присоединяться к теплосети по зависимой схеме с элеваторным смешением, т. к. располагаемый напор больше требуемого для работы элеватора, а статический напор и гидродинамический в обратном трубопроводе не превышают допустимого – 60 м.

Система отопления абонента 2 также находится в статической зоне (статический напор менее 60 м). Однако в гидродинамическом режиме система отопления будет частично опорожняться через обратный трубопровод, т. к. гидродинамический напор в обратном трубопроводе ниже высоты здания. С целью повышения напора в обратном трубопроводе системы отопления следует установить регулятор давления «до себя» на обратном трубопроводе. Регулятор давления будет выполнять роль клапана подпора, локально повышающего давление в обратном трубопроводе системы отопления на величину ΔH_0 .

В месте присоединения системы отопления здания 3 статическое давление не превышает 60 м, однако пьезометрический гидродинамический напор в обратном трубопроводе теплосети – более 60 м.

Возможно присоединение системы отопления по зависимой схеме с установкой насоса на обратной линии после системы отопления, который понизит напор в обратном трубопроводе системы отопления, одновременно увеличивая располагаемый напор для работы элеваторного узла. Однако при внезапной остановке насоса система отопления будет поставлена под недопустимое давление со стороны обратного трубопровода теплосети, что приведет к аварийной ситуации. Следовательно, лучшим вариантом будет присоединение системы отопления по независимой схеме.

Здание 4 находится в благоприятных условиях, т. е. в статической зоне, и пьезометрический напор в обратном трубопроводе теплосети менее 60 м. Однако располагаемый напор является недостаточным для работы элеватора, следовательно, возможен вариант подключения системы отопления по зависимой схеме со смесительным насосом вместо элеватора.

Система отопления здания 5 будет опорожняться как при статическом, так и при динамическом режимах. Теоретически возможно присоединение системы отопления по зависимой схеме с установкой регулятора давления до себя на обратном трубопроводе после системы отопления как для абонента 2 и установкой обратного клапана на подающем трубопроводе перед элеватором, который не допустит опорожнения системы отопления через подающий трубопровод при статическом режиме. Однако лучшим вариантом будет присоединение системы отопления абонента 5 по независимой схеме.

Определение параметров сетевых и подпиточных насосов для закрытой и открытой схем теплоснабжения. В водяных тепловых сетях насосы используются для создания заданных давлений и подачи необходимого количества воды к потребителям теплоты. В паровых сетях насосами перекачивается конденсат от потребителей к тепловому центру.

Сетевые насосы создают циркуляцию воды в системе теплоснабжения при гидродинамическом режиме, а подпиточные компенсируют утечки воды и поддерживают необходимый уровень пьезометрических линий как при статическом, так и при динамическом режимах.

Количество сетевых насосов принимается не менее двух, из которых один резервный. Если для работы сети при расчетных условиях требуется установка

четырёх насосов, то резервные насосы не предусматриваются. В закрытых системах теплоснабжения устанавливается не менее двух подпиточных насосов, а в открытых – не менее трех, из которых один является резервным.

Напор сетевых насосов водяной тепловой сети определяется по выражению:

$$H_{CH} = \Delta H_{um} + \Delta H_{mc} + \Delta H_{аб}, \quad (3.1)$$

где ΔH_{um} – потери напора, м, в водоподогревательной установке источника теплоты; $\Delta H_{mc} = \Delta H_n + \Delta H_o$ – потери напора в подающем и обратном теплопроводах сети, м; принимаются из гидравлического расчета; $\Delta H_{аб}$ – располагаемый напор на вводе конечного абонента, м.

Напор сетевых насосов для летнего режима:

$$H_{CH}^S = H_{CH} \cdot \left(\frac{G_d^S}{G_d}\right)^2 \quad (3.2)$$

где G_d^S и G_d – расходы сетевой воды соответственно в летний и зимний периоды, кг/с.

Подача сетевых насосов принимается равной расчетным расходам сетевой воды для зимнего и летнего периодов.

Напор подпиточных насосов в закрытой системе определяется из условия поддержания в сети требуемого статического напора, а также поддержания заданного напора на всасывающем коллекторе сетевых насосов:

$$H_{ПН} = H_{СТ} - H_б + \Delta H_{подп}, \quad (3.3)$$

где H_{cm} – статический напор в тепловой сети, уровень статической линии, м; $H_б$ – превышение уровня воды в баках подпитки по отношению к оси подпиточных насосов, м, принимается с условием недопущения кавитации подпиточных насосов; $\Delta H_{подп}$ – потери напора в подпиточных трубопроводах, м.

Напор подпиточных насосов в открытых системах теплоснабжения принимается исходя из статического напора и летнего режима работы подпиточных насосов, выполняющих роль сетевых:

$$H_{ПН}^S = H_{СТ} + \Delta H_{l,tot}^S - H_б, \quad (3.4)$$

где $\Delta H_{l,tot}^S$ – суммарные потери напора в подпиточной линии и тепловой сети при летнем режиме работы системы.

По известным параметрам работы насосов (G и H) с помощью рабочих характеристик подбирают насосы по общепринятой методике.

ЗАДАЧА

В соответствии с заданием (см. практическое занятие 1) построить пьезометрический график, выбрать схему присоединения абонентских установок (зданий) к тепловой сети, выбрать сетевые и подпиточные насосы.

Исходными данными для построения пьезометрического графика являются результаты гидравлического расчета тепловой сети, поэтому к построению графика приступают после выполнения гидравлического расчета.

Пьезометрический график выполняется для двух режимов работы – статического и динамического. Статический режим характеризуется давлениями в сети при отключенных сетевых насосах, но включенных подпиточных насосах. Динамический режим характеризуется давлениями в сети и в местных системах потребителей при работающих сетевых насосах и циркуляции теплоносителя.

График строят по двум осям – вертикальной и горизонтальной. На вертикальной оси откладывают напоры в любой точке тепловой сети, высоты присоединенных потребителей (зданий), наносится рельеф местности. Условно считают, что ось трубопроводов совпадает с поверхностью земли. По горизонтальной оси наносятся длины отдельных участков сети, показано взаимное расположение по горизонтали потребителей теплоты (зданий).

График строится в определенных масштабах:

– горизонтальный масштаб 1:2000 (1 мм – 2 м);

– вертикальный масштаб 1:500 (2 мм – 1 м).

Можно использовать и другие масштабы.

За начало координат принимают низшую отметку рельефа местности.

Построение пьезометрического графика рекомендуется начинать с гидростатического режима (циркуляция отсутствует и температура воды до 100 °С). Строится линия статического напора, величина которого должна быть выше местных систем теплопотребления (зданий) 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. На графике линия статического напора представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс.

Выбираем статический напор тепловой сети $H_{ст} = 50$ м и наносим его на пьезометрический график (линия S-S).

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 промышленного предприятия к магистральной сети, затем откладывают величины начального и конечного напоров подающей и обратной линий тепловой сети, которые даны в задании (см. практическое занятие 1).

Используя результаты гидравлического расчета, строятся линии потерь напора подающего и обратного трубопроводов.

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

Выбор схем присоединения абонентов (зданий) к тепловой сети производят, исходя из пьезометрического графика.

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

Выбор центробежного насоса, как и насосов других марок, осуществляют по заданным напорам H и расходам G . На сводном графике откладывается точка с координатами H и G . Если эта точка попадает внутрь флажка, то выбирается данный насос, но если точка расположена между двумя, верхним и нижним флажками, то принимают верхний насос. Затем по рабочей характеристике данного насоса определяют требуемый диаметр рабочего колеса, мощность (N), КПД.

Пример подбора насоса по сводному графику рабочих полей.

Необходимо выбрать марку насоса для подачи $G = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре $H = 35 \text{ м}$, а также определить диаметр рабочего колеса, развиваемую мощность, КПД.

1. На сводном графике откладываем точку с координатами $H = 35 \text{ м}$ и $G = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$. Точка попадает в рабочее поле насоса 1K100-80-160, следовательно, насос соответствует заданным параметрам.

2. На характеристике выбранного насоса наносим точку с такими же координатами ($H = 35 \text{ м}$ и $G = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$). Для этой точки выбираем ближайшую верхнюю характеристику $H-G$, которой соответствует рабочее колесо с диаметром $D_k = 180 \text{ мм}$.

3. Поднимая из точки на оси ординат, соответствующей подаче $G = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$, перпендикуляр, находим его точки пересечения с характеристиками, относящимися к выбранному диаметру рабочего колеса $H-G$, $N-G$. Рабочие параметры насоса – мощность $N = 9,7 \text{ кВт}$, КПД = 76%.

Исходные данные для выбора насоса приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Исходные данные для выбора насоса

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, \text{ м}$	15	20	30	25	50	35	65	45	55	40
$G, \text{ м}^3/\text{ч}$	15	20	10	50	45	60	100	80	220	115

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

ПРОКЛАДКА ТРАССЫ, ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Цель занятия: получить практические навыки по выполнения схемы трассы и продольного профиля тепловой сети.

Общие сведения

Выбор схемы прокладки трассы тепловой сети. При проектировании тепловых сетей направление (трасса) выбирается с учетом следующих факторов:

- материалов геодезической съемки, т. е. генплана с нанесением геодезических отметок и горизонталей;
- плана существующих и намечаемых для строительства подземных коммуникаций (водопроводы, газопроводы, электрические и телефонные кабели, канализация, водостоки и т. п.);
- данные о характере грунтов и грунтовых водах.

Следует стремиться к наименьшей длине тепловой сети и минимальному объему работ при ее сооружении. При этом учитывают возможность прокладки теплосети совместно с другими коммуникациями (водопроводом, электрическими кабелями и др.). Совместная прокладка может выполняться в проходных каналах, коллекторах (при подземной прокладке), а также на эстакадах, многоярусных опорах по территории промышленных предприятий и по незастраиваемой территории. Также допускается прокладка теплопроводов по ограждающим конструкциям промышленных зданий.

При обосновании допускается прокладывать трассу под проезжей частью улиц, дорог и под тротуарами. Распределительные сети диаметром $D_y < 300$ мм также допускается прокладывать в технических подпольях, коридорах и тоннелях высотой не менее 1,6 м в жилых и общественных зданиях (кроме школ и дошкольных учреждений).

При пересечении с инженерными коммуникациями тепловые сети могут располагаться над или под ними. Электрокабели, как правило, располагаются над теплосетями. Расстояния регламентированы.

В населенных пунктах, как правило, должна предусматриваться бесканальная прокладка тепловых сетей, за исключением детских дошкольных, школьных и лечебных учреждений, в которых предусматривается только канальная прокладка.

Заглубление тепловых сетей от поверхности земли до верха оболочки бесканальной прокладки 0,7 м. На вводах в здания допускается уменьшать заглубление до верха перекрытия каналов до 0,3 м и до верха оболочки бесканальной прокладки 0,5 м.

Уклоны трубопроводов независимо от способа прокладки должны быть не менее 0,002.

Максимальное заглубление трубопровода принимается из условия прочности его конструкции. При прокладке тепловых сетей бесканальным способом трубы укладываются на песчаное основание толщиной не менее 0,1 м с песчаной подсыпкой не менее 0,1 м. После засыпки песок должен быть утрамбован для обеспечения равномерного трения между оболочкой трубопровода и грунтом.

Технология бесканальной прокладки industriально изолированных трубопроводов теплоснабжения является прогрессивным способом экономии ресурсов. Трубопроводы предварительно изолированные пенополиуретаном (ППУ) в гидрозащитной трубе-оболочке представляют собой жесткую конструкцию «Труба в трубе», состоящую из стальной трубы, изолирующего слоя из жесткого пенополиуретана и внешней защитной трубы-оболочки из полиэтилена (ПЭ) низкого давления для подземной прокладки или спирально-навивной трубы-оболочки из тонколистовой оцинкованной стали – для наземной прокладки.

Следующим этапом является разработка монтажной схемы тепловой сети.

Разработка монтажной схемы заключается в расстановке на трассе неподвижных опор, компенсаторов, камер и запорной арматуры.

Подающий трубопровод на схеме располагают с правой стороны по ходу теплоносителя от источника теплоты, а обратный – с левой.

Расстояние между камерами разбивают неподвижными опорами на компенсационные участки.

На всех ответвлениях от магистрали и ответвлениях к потребителям необходимо устанавливать запорную арматуру.

В высших точках трубопроводов необходимо разместить воздушники, а в нижних – спускники.

Правила разработки монтажной схемы:

- трубопроводы обозначаются: подающий – Т1, обратный – Т2;
- подающая магистраль (трубопровод) показывается по ходу движения теплоносителя от источника тепла до потребителя;
- на схеме присваиваются номера теплофикационным камерам: ТК1, ТК2,...ТК_n; компенсаторам К1, К2 и т.д.; неподвижным опорам НО1, НО2 и т. д. Нумерация производится от источника.
- На всех участках тепловой сети указывается диаметр подающего и обратного трубопровода с учетом толщины стенки (т. е. наружный диаметр) и длину участка.

Пример монтажной схемы участка тепловой сети показан на рисунке 4.1

По трассе тепловых сетей строится продольный профиль на основе натурной съемки и проекта вертикальной планировки местности. На продольном профиле показываются черные и планировочные (красные) отметки земли, уровень грунтовых вод, существующие и проектируемые коммуникации и сооружения с указанием их отметок, уклоны трубопроводов. При проектировании дренажа его показывают на профиле. Показывают также пересекаемые другие

инженерные сооружения с указанием расстояния до них от конструкций тепло-сети по вертикали или их геодезических отметок. На рисунке 4.2 показан продольный профиль участка тепловой сети.

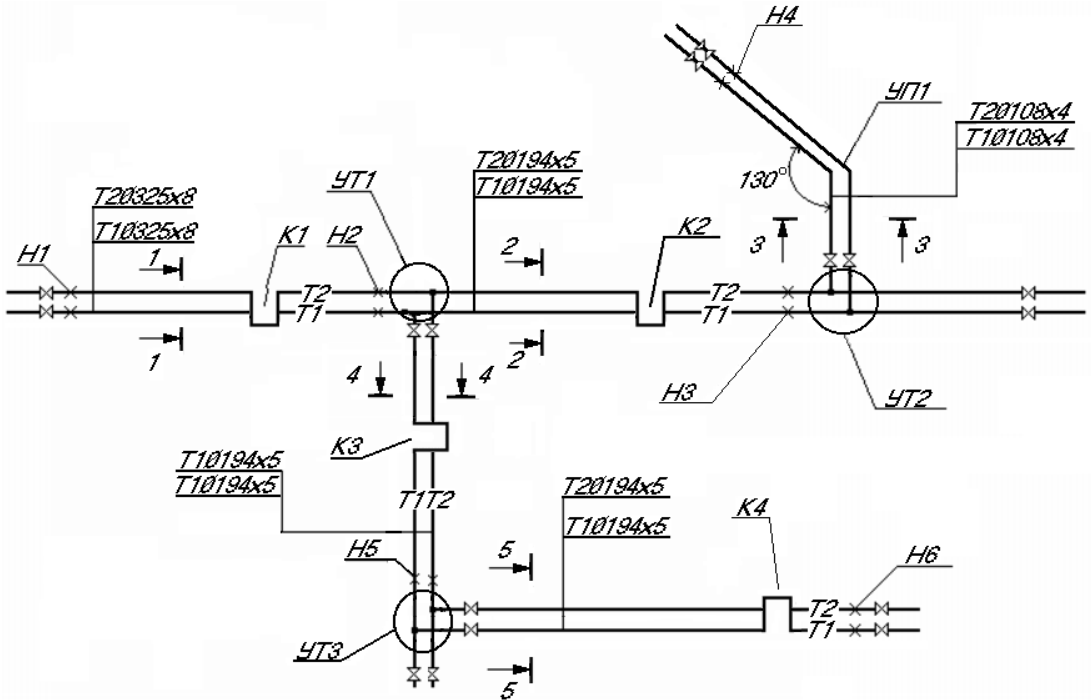


Рисунок 4.1 – Монтажная схема участка тепловой сети

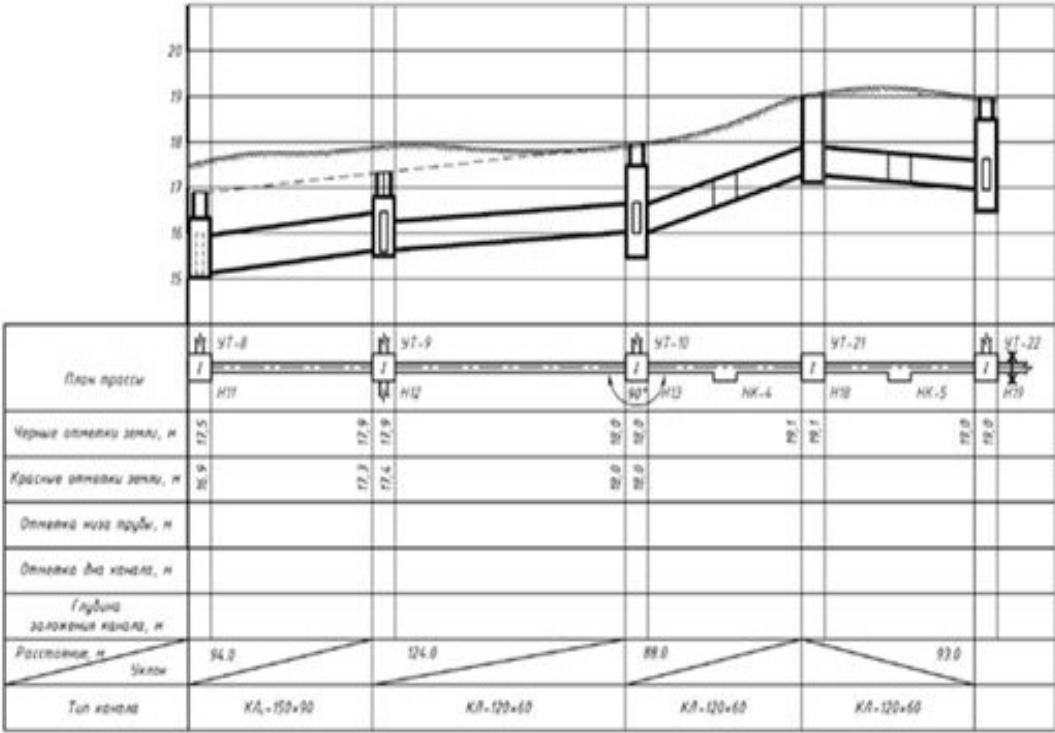


Рисунок 4.2 – Продольный профиль участка тепловой сети

ЗАДАЧА

В соответствии с заданием (см. практическое занятие 1) выполнить монтажную схему, построить продольный профиль участка тепловой сети.

Предлагается следующий порядок разработки монтажной схемы бесканально прокладываемых ПИ-трубопроводов:

- 1) вычертить трассу сети с указанием диаметров участков, указать расстояния между углами поворота трассы;
- 2) построить вдоль трассы предварительный продольный профиль, определить с его помощью глубину заложения оси трубопровода, низкие и высокие точки, места перегиба профиля;
- 3) расставить реальные физические неподвижные опоры;
- 4) определить места размещения компенсаторных изделий, если самокомпенсации недостаточно или она нецелесообразна;
- 5) расставить запорную и отключающую арматуру (секционирующую и на ответвлениях);
- 6) разбить трассу на ряд прямолинейных участков, ограниченных с каждой стороны углами поворотов или компенсаторами, для чего, при необходимости, добавить углы поворотов;
- 7) с учетом намеченного продольного профиля трассы и расположения секционирующей запорной арматуры определить места устройства спускных устройств (дренажей) и устройств для выпуска воздуха (воздушников);
- 8) отметить на монтажной схеме границы отдельных ПИ-элементов (труб, их отрезков, переходов, отводов, запорной арматуры, компенсаторов других примененных элементов) и обозначить эти элементы с указанием их параметров и характеристик, необходимых для составления спецификации;
- 9) выполнить чертеж монтажной схемы, указав расстояния до отдельных элементов трубопроводов тепловой сети от характерных точек (начала сети, опор, углов поворота).

Чертеж монтажной схемы выполняется в масштабе 1:500 или 1:1000.

Порядок построения продольного профиля:

- отмечают черные и красные отметки поверхности земли: проектные («красные») – сплошной линией, натурные («черные») – штриховой);
- показывают все пересекаемые инженерные сети и сооружения с отметками верха их конструкции при расположении проектируемой тепловой сети сверху и с отметками низа инженерных сетей и конструкций при нижнем расположении тепловой сети;
- показывают каналы, камеры, ниши П-образных компенсаторов, дренажные колодцы, коверы, бесканально проложенные трубопроводы – упрощёнными контурными очертаниями внутренних и наружных габаритов с указанием осей труб (трубопроводы, располагаемые в каналах, камерах и нишах на продольном профиле не изображают);
- показывают неподвижные опоры – условным графическим изображением.

Продольный профиль участка теплосети строится в вертикальном масштабе 1:100, в горизонтальном масштабе 1:1000.

Под профилями сетей помещают таблицу, в которой указывают:

- проектную отметку земли;
- натурную отметку земли;
- отметку верха изоляции трубопровода бесканальной прокладки;
- отметку оси трубопровода;
- уклон и длину участка трубопровода;
- номер поперечного разреза и диаметр оболочки;
- развернутый в линию план трассы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Цель занятия: изучить основные положения и получить практические навыки по расчету тепловой изоляции трубопроводов тепловой сети.

Общие сведения

Одним из способов экономии тепловой энергии в тепловых сетях является тепловая изоляция трубопроводов. Исходя из этого важным моментом является правильное проектирование тепловой изоляции, выбор теплоизоляционной конструкции и ее тепловой расчет.

В задачу теплового расчета изоляции входит:

- а) определение требуемой толщины основного слоя изоляционной конструкции по заданным (нормированным) теплопотерям;
- б) определение потерь тепла теплопроводом при известной конструкции тепловой изоляции и толщине ее основного слоя;
- в) расчет температур на поверхности теплоизоляционной конструкции и воздуха в канале;
- г) расчет температурного поля грунта вокруг теплопровода;
- д) определение падения температуры теплоносителя по длине теплопровода;
- е) расчет экономической толщины основного слоя изоляционной конструкции.

Тепловой расчет изоляции может вестись:

- а) по нормированной плотности теплового потока через изолированную поверхность теплопровода (нормированные теплопотери);
- б) заданной величине понижения температуры пара (паропроводы);
- в) заданному количеству конденсата в паропроводах;
- г) заданной температуре на поверхности изоляции.

Исходными данными при тепловых расчетах являются температура теплоносителя, теплофизические характеристики слоев теплоизоляционной конструкции, грунта и канала при подземной прокладке, температура окружающей среды (грунта, воздуха).

$$\Delta Q = \frac{\tau - t_0}{\sum R} l \cdot \beta \quad (5.1)$$

В этой формуле β – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла изолированными опорами, арматурой, фасонными частями, компенсаторами. Величину β следует принимать:

- при бесканальной прокладке в предизолированных трубах $\beta = 1,00$.

Длина теплопровода l , м, принимается по генплану как расчетная длина участка. При наличии П-образных компенсаторов при расчете значения l следует учитывать реальную длину теплопровода с учетом вылетов компенсаторов.

За расчетную температуру теплоносителя τ , °С, следует принимать:

– для водяных сетей – среднегодовую температуру сетевой воды (для подающей магистрали – 90–100 °С, для обратной – 50 °С).

За расчетную температуру t_o , °С, окружающей среды необходимо принимать:

– подземной прокладке в каналах или бесканально – среднегодовую температуру грунта на глубине заложения оси трубопроводов.

ΣR является суммарным термическим сопротивлением, (м °С)/Вт, на пути потока тепла от теплоносителя в канал или окружающую среду.

Термические сопротивления слоев изоляции, покровного слоя, стенок канала определяют по уравнению Фурье:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_n}{d_b}, \quad (5.2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности слоя изоляции, покровного слоя или стенки канала, Вт/(м °С), определяется по справочным данным.

При бесканальной прокладке коэффициент теплопроводности основного слоя теплоизоляционной конструкции $\lambda_{из}$ определяется по формуле:

$$\lambda_{из} = \lambda \cdot K_y, \quad (5.3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности сухого материала основного слоя, Вт/(м °С); K_y – поправочный коэффициент, учитывающий увеличение теплопроводности от увлажнения. Для бесканальной прокладки с ПИ-трубами $K_y = 1$.

В приведенной формуле d_b и d_n – соответственно внутренний и наружный диаметры слоя изоляции и покровного слоя.

При отношении $h/d_n > 2$ термическое сопротивление грунта может определяться по приближенному выражению:

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \frac{4h}{d_n}, \quad (5.4)$$

h – глубина заложения оси трубопровода, м; d_n – наружный диаметр поверхности теплопровода, находящегося в соприкосновении с грунтом, м.

Для сухих грунтов $\lambda_{гр} = 0,85 \dots 2,3$ Вт/(м °С).

Термическое сопротивление изоляционной конструкции ΣR определяется также исходя из нормированной плотности теплового потока q_H :

$$\sum R = \frac{\tau_{cp} - t_o}{q_H} \quad (5.5)$$

При нормируемой линейной плотности теплового потока через поверхность изоляции 1 м теплопровода q_H , Вт/м, толщина основного слоя теплоизоляционной конструкции определяется по выражениям

$$\delta_{BH} = \frac{d_H}{2} \cdot (B - 1), \quad (5.6)$$

$$\ln B = 2\pi\lambda_{из} \left[\sum R - \frac{1}{\alpha_{\pi}\pi \cdot (d_H + 0,1)} \right], \quad (5.7)$$

где $B = d_{\pi}/d_H$ – отношение наружного диаметра изоляционного слоя к наружному диаметру трубы.

При бесканальной прокладке в грунте вокруг каждой трубы создается температурное поле, в которое попадает соседняя труба, т.е. имеет место взаимное влияние тепловых потоков. Это учитывается введением дополнительного термического сопротивления $R_{1,2}$.

$$R_{1,2} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2 + 1}, \quad (5.8)$$

где b – расстояние между осями труб по горизонтали, м.

На основе формул для определения термических сопротивлений и при разностях температур сетевой воды и грунта для подающего и обратного трубопровода, равных $\Delta\tau_1 = \tau_1 - t_0$ и $\Delta\tau_2 = \tau_2 - t_0$, получены выражения для определения удельных потерь тепла:

$$q_1 = \frac{\Delta\tau_1 \cdot R_2 - \Delta\tau_2 \cdot R_{1,2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1,2}^2}, \quad (5.9)$$

$$q_2 = \frac{\Delta\tau_2 \cdot R_1 - \Delta\tau_1 \cdot R_{1,2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1,2}^2}. \quad (5.10)$$

В этих выражениях R_1 и R_2 – суммарные термические сопротивления изоляции и грунта соответственно для подающего и обратного трубопроводов;

$R_{1,2}$ – термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние тепловых потоков, (м °С)/Вт.

Расчетные значения q_1 и q_2 сравниваются с нормативными q_n . Отличие не должно превышать 5 %.

ЗАДАЧА

Определить толщину тепловой изоляции для трубопроводов тепловой сети Т1, Т2 подземной бесканальной прокладки одного из участков тепловой сети (практическое занятие 4), продолжительность работы менее 5000 ч в год.

Последовательность выполнения задания:

1. Принимаем температуру грунта на глубине заложения теплопровода $t_0 = 5$ °С;

2. Задаемся теплопроводностью грунта $\lambda_{гр} = 1,8$ Вт/(м °С);

3. Задаемся теплопроводностью изоляции $\lambda_{из} = 0,03$ Вт/(м °С);

4. Задаемся среднегодовой температурой теплоносителя (вода) для подающей магистрали – $\tau_1 = 90$ °С, для обратной $\tau_2 = 50$ °С;

5. Нормированная плотность теплового потока через изолированную поверхность: для подающего трубопровода $q_n = 46$ Вт/м, для обратного трубопровода $q_n = 24$ Вт/м.

6. Расстояние между осями труб по горизонтали $b = 0,275$ м.

7. Задаемся толщиной тепловой изоляции $\delta_{из} = (0,8...0,9) \delta_{пред}$. При бесканальной подземной прокладке предельную толщину изоляции можно принимать по прил. Д ТКП 45-4.02-129.

8. Рассчитываем термическое сопротивление грунта для глубокой прокладки трубопроводов по формуле (5.4) $h/d_{п} > 2$:

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \frac{4h}{d_{п}}$$

9. Найдем термическое сопротивление изоляции подающего и обратного трубопроводов по формуле (5.2) $R_{из1}$ и $R_{из2}$:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_n}{d_b},$$

10. Полное термическое сопротивление, формула (5.11):

$$R_1 = R_{из1} + R_{гр} \quad R_2 = R_{из2} + R_{гр}$$

11. Найдем термическое сопротивление взаимного влияния двух трубопроводов друг на друга по формуле (5.8):

$$R_{1;2} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2 + 1},$$

12. Определяем линейные удельные теплотери подающего и обратного трубопроводов по формулам (5.9), (5.10):

$$q_1 = \frac{\Delta\tau_1 \cdot R_2 - \Delta\tau_2 \cdot R_{1;2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1;2}^2},$$

$$q_2 = \frac{\Delta\tau_2 \cdot R_1 - \Delta\tau_1 \cdot R_{1;2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1;2}^2}.$$

13. Сравним расчетные удельные линейные теплотери с нормативными: если q_1 больше q_n , то даем приращение толщины тепловой изоляции 5 мм и повторяем расчеты до совпадения $q_1 = q_n$, $q_2 = q_n$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Цель занятия: закрепить полученные теоретические знания и приобрести практические навыки по расчету и подбору механического оборудования и строительных конструкций тепловых сетей.

Общие сведения

В действующем теплопроводе возникают многочисленные напряжения. Внутреннее давление теплоносителя вызывает в стенках труб растягивающие напряжения, направленные по оси трубы и по радиусу. Под действием собственной массы трубы, массы теплоносителя и тепловой изоляции в трубопроводе образуются изгибающие напряжения. Температурные деформации трубопровода вызывают сжимающие и изгибающие напряжения от трения опор, усилий гнутых компенсаторов и участков естественной компенсации. С целью компенсации этих напряжений в тепловых сетях предусмотрено механическое оборудование и строительные конструкции.

Опорные конструкции тепловых сетей по своему назначению подразделяют на подвижные и неподвижные. При бесканальной подземной прокладке подвижные опоры не применяют, трубопровод укладывается в траншее на песчано-гравийную подушку. Для восприятия реакций компенсаторов температурных удлинений, горизонтальных реакций подвижных опор и неуравновешенных сил внутреннего давления устанавливают *неподвижные опоры*. Они фиксируют (закрепляют) трубопровод в определенных местах, воспринимая выше-названные усилия и направляя линейные удлинения в сторону компенсаторов. Неподвижные опоры устанавливают в местах ответвлений трубопроводов, размещения запорной арматуры, а также установки сальниковых компенсаторов. На трубопроводах с П-образными компенсаторами неподвижные опоры размещают между компенсаторами. На участках с углами поворота трассы неподвижные опоры размещают таким образом, чтобы обеспечить самокомпенсацию участков.

Для восприятия температурных удлинений и их компенсации применяют устройства, называемые компенсаторами.

Устройства, воспринимающие и компенсирующие линейные температурные удлинения, можно разделить на две группы:

1) радиальные и гибкие устройства, воспринимающие удлинения изгибом (плоских) или изгибом с кручением (пространственных) криволинейных участков труб;

2) осевые устройства скользящего или упругого типов, у которых удлинения воспринимаются взаимным перемещением телескопически соединенных труб или сжатием пружинящих вставок.

Наибольшее распространение в теплосетях получила радиальная компенсация, которая может использоваться при любой конфигурации теплопровода. При проектировании теплосетей в первую очередь используют естественную компенсацию или самокомпенсацию участков теплосетей, т. е. компенсацию за счет поворотов трассы.

К устройству искусственных компенсаторов следует обращаться после использования приемлемых возможностей естественной компенсации на длинных участках трубопровода и в стесненных условиях.

Широкое применение получили компенсаторы П-образной формы. Их применяют при всех способах прокладки труб, независимо от диаметра трубопровода и параметров теплоносителя.

При бесканальных прокладках с предварительно изолированными трубами поверхность трубопроводов на участках в местах поворотов трассы участки П-образных компенсаторов покрывают специальными матами из сжимаемого материала или укладывают амортизирующие подушки для обеспечения свободного перемещения при температурных удлинениях.

В качестве осевых компенсационных устройств широкое распространение получили стальные сальниковые компенсаторы скользящего типа. Их рекомендуется применять при давлении теплоносителя до 2,5 МПа и температуре не более 300 °С для трубопроводов диаметром 100 мм и более при подземной прокладке и надземной на низких опорах.

Рассмотрим некоторые теоретические сведения, необходимые при проектировании, а также для расчета и подбора механического оборудования и строительных конструкций тепловых сетей.

Расчетный участок – это прямолинейный отрезок трубопровода, границами которого служат естественные компенсаторы или неподвижные опоры (при необходимости).

При бесканальной прокладке трубопроводы тепловых сетей в нагретом состоянии находятся под давлением грунта, которое препятствует их тепловому перемещению. Проектируемую теплотрассу надо разбить на отдельные участки так, что температурные удлинения каждого участка не будут оказывать влияния на соседние. Такое разделение позволит сделать расчёт прочности и схем компенсации каждого участка независимо от работы участков, расположенных рядом.

Условная неподвижная опора. При нагревании прямого участка трубопровода бесканальной прокладки, засыпанного грунтом, концы которого заканчиваются компенсатором, возникает неподвижная точка, не имеющая перемещений, от которой труба расширяется в разные стороны. Эта точка получила название условной неподвижной опоры (УНО). Нет никакой необходимости устанавливать в этом месте реальную неподвижную опору.

Максимальная длина L_m – это максимально возможное расстояние между условно неподвижной опорой и компенсатором, при котором осевое напряжение в стальной трубе не превышает допускаемого ($\sigma_{доп}$).

Допускаемое осевое напряжение ($\sigma_{доп}$) МПа, трубопроводов:

- из низколегированных сталей 17Г1С, 17Г1СУ (ГОСТ 19281) – 170;
- из сталей Ст10, Ст20 (ГОСТ 1050) – 150;
- из сталей ВСт 3сп4-5 (ГОСТ 380) – 130;

Максимальная длина (L_m), м, прямого отрезка трубопровода определяется по формуле (6.1).

$$L_m = \frac{S \cdot \sigma_{\text{доп}}}{F} \quad (6.1)$$

где S – площадь поперечного сечения стенки стальной трубы, мм^2 ; $\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое осевое напряжение, МПа; F – сила трения между грунтом и трубой-оболочкой, Н/м.

Сила трения F , Н/м между грунтом и трубой-оболочкой возникает вследствие давления грунта на наружную поверхность труб. За счет сил трения частично компенсируются температурные удлинения, которые возникают в трубопроводах бесканальной прокладки при увеличении температуры теплоносителя.

Трубопроводы в ППУ-изоляции при бесканальной прокладке работают в условиях знакопеременных нагрузжений, обусловленных изменениями температуры теплоносителя. Давление грунта препятствует свободному расширению стальной трубы, создавая силу трения между полиэтиленовой оболочкой трубопровода в ППУ-изоляции и грунтом.

Сила трения между грунтом и трубопроводом, действующая на единицу длины трубопровода (т. е. на один метр), определяется по формуле 6.2.

$$F = \frac{\pi \cdot D \cdot \rho \cdot \mu \cdot g \cdot (1 + K_0)}{2} \times h \quad (6.2)$$

где D – наружный диаметр полиэтиленовой трубы-оболочки, м; h – расстояние от поверхности почвы до оси трубопровода, м; ρ – плотность грунта, кг/м^3 ; μ – коэффициент трения; K_0 – коэффициент бокового давления грунта; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Сила трения F , площадь поперечного сечения стенки трубы S , максимальная длина L_m при $h = 1,0$ м приведены в таблице 6.1.

Для обеспечения прочности трубопровода, длина прямых отрезков не должна превышать $2L_m$, причем в центре прямого участка удлинение $\Delta l = 0$, и здесь возникает условная неподвижная опора, где трубопровод фиксируется, а на его свободных концах появляется удлинение Δl .

Таблица 6.1. – Основные характеристики труб в ППУ-изоляции подземной бесканальной прокладки

Условный диаметр трубы, d_u , мм	Наружный диаметр трубы, d , мм	Толщина стенки трубы, 5 ст, мм	Внутренний диаметр трубы $d_{вн}$, мм	Наружный диаметр трубы оболочки D , мм	Сила трения, F , Н/м	Площадь поперечного сечения стенки трубы, S , мм ²	Максимальная длина, L_m , м
32	38	3	32	110	1828	330	27
40	45	3	39	110	1828	396	32
50	57	3	51	125	2077	509	37
65	76	3	70	140	2326	688	44
80	89	3,5	82	160	2659	940	53
100	108	4	100	200	3323	1306	59
100	114	4	106	200	3323	1382	62
125	133	4	125	225	3739	1620	65
150	159	4,5	150	250	4154	2183	79
200	219	6	207	315	5234	4013	115
250	273	6	261	400	6647	5030	114
300	325	6	313	450	7478	6010	120
350	377	7	363	500	8308	8133	147
400	426	7	412	560	9305	9210	148
500	530	7	516	710	11798	11496	146
600	630	8	614	800	13294	15625	176
700	720	8	704	900	14955	17885	179

Примечание: в расчете принято $h = 1,0$ м; $\rho = 1800$ кг/м³; $\mu = 0,4$; $g = 9,8$ м/с². При $h > 1,0$ м расстояние L_m уменьшается пропорционально глубине заложения трубопровода.

Максимальная длина прямых участков трубопроводов теплосети (на которых компенсация температурных расширений не требуется) показана на рисунке 6.1.

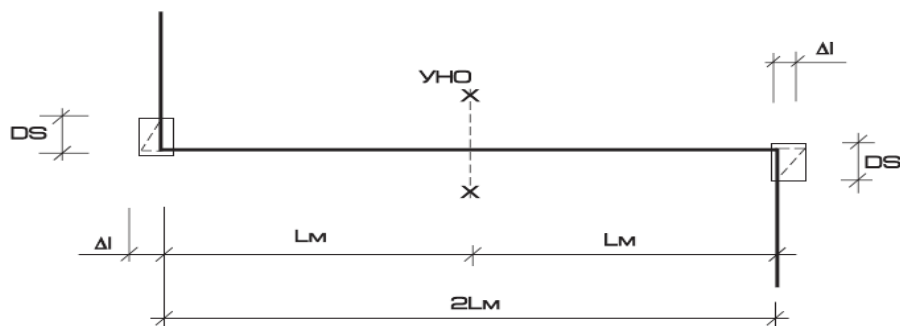


Рисунок 6.1 – Максимальная длина прямых участков трубопроводов теплосети

Если длина прямого участка составляет больше $2L_m$, то следует предусматривать на этом участке дополнительную компенсацию за счет естественных углов поворота.

Температурное удлинение (Δl), м, участка трубопровода длиной L , м, засыпанного грунтом, определяется по формуле 6.3.

$$\Delta l = \alpha(T - T_0) \cdot L - \frac{F \cdot L^2}{2 \cdot E_t \cdot S} \quad (6.3)$$

где T – расчетная температура теплоносителя, °С; T_0 – температура наружного воздуха при монтаже трубопровода, °С; минимальная температура наружного воздуха, при которой допускается осуществлять монтаж трубопроводов, 10 °С; α – коэффициент линейного расширения стальной трубы, 1/°С,

для сталей Ст 10, Ст20, ВСт3сп 4-5 для диапазона температур:

от 0 до 100°С – $1,18 \cdot 10^{-5}$;

от 0 до 150°С – $1,25 \cdot 10^{-5}$.

E_t – модуль продольной упругости стальной трубы с учетом влияния температуры, $E_t = 0,204 \cdot 10^6$ Н/мм².

Компенсация температурных удлинений трубопроводов осуществляется за счет естественных изменений направления трассы с помощью углов поворота Г-образной, П-образной и Z-образной формы (рис. 6.2). Для самокомпенсации Г-образных участков трубопроводов тепловых сетей используются изменения направления трассы под углом от 45° до 90°.

Длина плеч компенсации (DS_1) и (DS_2) (рис. 6.2 а) Г-образной формы при угле изменения трассы $\alpha = 90^\circ$ определяют по формулам 6.4 и 6.5:

$$D_{s1} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_t}{\sigma_{доп}}} \cdot \sqrt{D_n \cdot \Delta l_2} \quad (6.4)$$

$$D_{s2} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_t}{\sigma_{доп}}} \cdot \sqrt{D_n \cdot \Delta l_1} \quad (6.5)$$

где D_n – наружный диаметр стальной трубы, м; Δl_1 – температурное удлинение трубопровода в ППУ-изоляции, засыпанного грунтом, длиной (l_1), м; Δl_2 – температурное удлинение трубопровода в ППУ-изоляции, засыпанного грунтом, длиной (l_2), м.

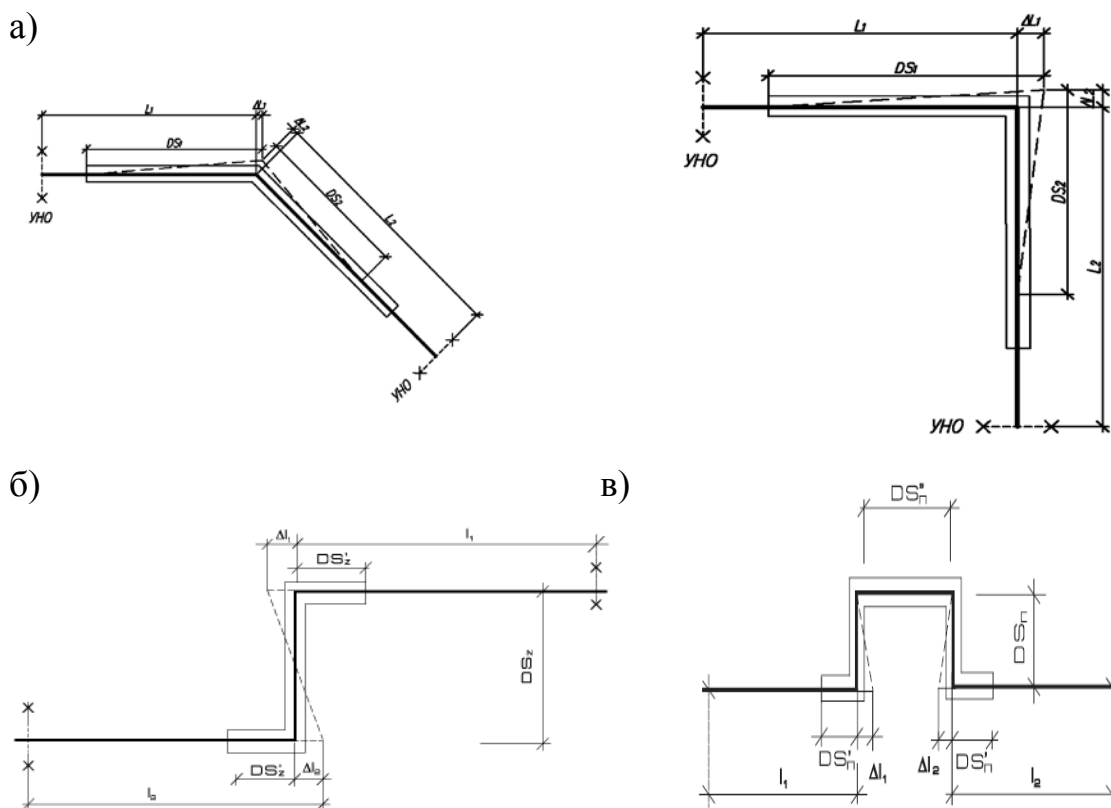


Рисунок 6.2 – Формы компенсации:

а – Г-образные участки; б – Z-образные участки; в – П-образные участки компенсации

Длина плеча компенсации (DS_z) (рис. 6.2 б) Z-образной формы при угле изменения трассы $\alpha = 90^\circ$ определяют по формуле 6.10:

$$D_{s1} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_t}{\sigma_{доп}}} \cdot \sqrt{D_H \cdot \sum \Delta L} \quad (6.6)$$

где $\sum \Delta l$ – суммарное удлинение участков трубопроводов (Δl_1) и (Δl_2), м при Z-образной форме компенсации, определяется по формуле 6.7:

$$\sum \Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (6.7)$$

где ΔL_1 – температурное удлинение трубопровода в ППУ-изоляции, засыпанного грунтом, длиной (l_1), м; ΔL_2 – температурное удлинение трубопровода в ППУ-изоляции, засыпанного грунтом, длиной (l_2), м;

Длина плеча компенсации DS' , м, участков трубопроводов длиной (l_1) и (l_2) вычисляется по формуле 6.8:

$$D'_{sz} = 0,1 \cdot \sqrt{D_H \cdot D_{sz}} \quad (6.8)$$

где D_n – наружный диаметр стальной трубы, мм; D_s – длина плеча компенсации, м;

Длина плеча компенсации $D_{сп}$, м (рис. 6.2 в) П-образной формы компенсации определяется по формуле 6.9:

$$D_{сп} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot E_t}{\sigma_{доп}}} \cdot \sqrt{D_n \cdot \sum \Delta L} \quad (6.9)$$

где $\sum \Delta l$ – суммарное удлинение участков трубопроводов (Δl_1) и (Δl_2) при П-образной форме компенсации, определяется по формуле 6.7.

Длина плеча компенсации $D'_{сп}$, м, вычисляется по формуле 6.10:

$$D'_{сп} = 0,1 \cdot \sqrt{D_n \cdot D_{сп}} \quad (6.10)$$

где D_n – наружный диаметр стальной трубы, мм; $D_{сп}$ – длина плеча компенсации, м;

Неподвижные опоры при бесканальной прокладке устанавливаются в случаях необходимости ограничить перемещение трубопроводов. Рассмотрим основные случаи установки неподвижных опор:

- на вводе в здание, если длина прямого участка более 12 м и нет возможности предусмотреть естественную компенсацию в здании рисунок 6.3 (а, б, в);
- если при Z-образной форме компенсации длина (L, м) перпендикулярного участка имеет величину, недостаточную для восприятия удлинений (рис. 6.4);
- если при Г-образной форме компенсации длина плеча L_2 недостаточна для восприятия перемещений (рис. 6.5).

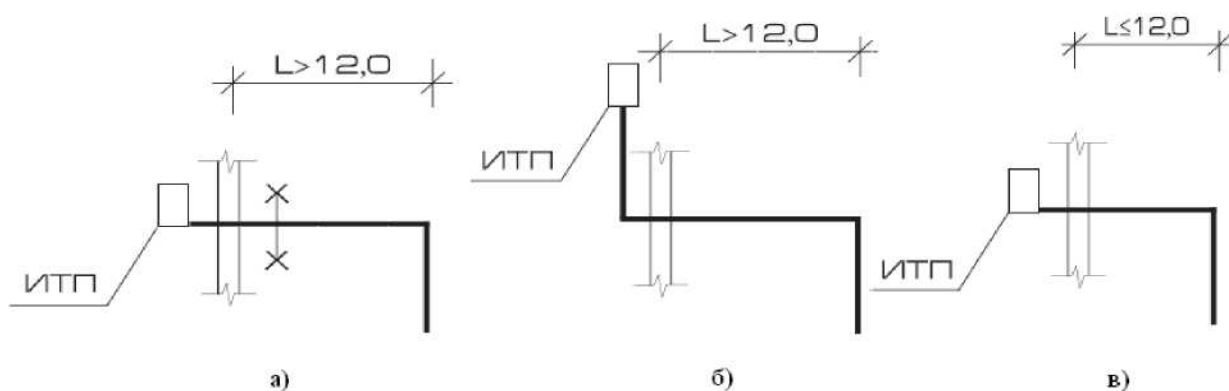


Рисунок 6.3 – Варианты ввода теплосети в здание

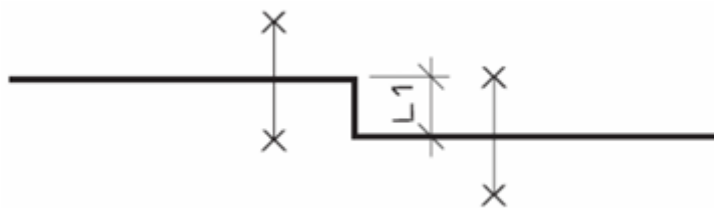


Рисунок 6.4 – Вариант установки неподвижных опор при Z-образной форме компенсации.



Рисунок 6.5 – Вариант установки неподвижных опор при Г-образной форме компенсации.

При использовании реальных неподвижных опор необходимо помнить, что элемент неподвижной опоры, выпускаемый заводами изготовителями, должен быть вмонтирован в железобетонный блок, который разрабатывается по индивидуальным чертежам в конструкторской части проекта. Приварка стальной арматуры ж/б конструкции к опорной плите неподвижной опоры не допускается.

Максимальная длина участков теплопроводов между неподвижными опорами при подземной прокладке приведена в справочной литературе.

ЗАДАЧА

Определить максимальное расстояние от условно неподвижной опоры до угла поворота, тепловое удлинение трубопровода и длины зон компенсации для различных компенсаторов одного из участков тепловой сети (практическое задание 4).

Пример 1: Определить максимальное расстояние от условно неподвижной опоры (УНО) до угла поворота 90° для трубопроводов теплосети в ППУ-изоляции $\varnothing 89/160$ мм согласно следующим исходным данным:

Наружный диаметр трубы оболочки D , м – 0,16

Расстояние от поверхности земли до оси трубопровода h , м – 1,4

Допустимое осевое напряжение для ст20 $\sigma_{\text{доп}}$, МПа – 150

Площадь поперечного сечения стенки стальной трубы, S , мм² – 940

В расчете принято:

Плотность грунта ρ , кг/м³ – 1800

Коэффициент трения, μ = 0,4

Коэффициент бокового давления грунта, $k_o = 0,5$

Ускорение свободного падения g , $\text{м/с}^2 - 9,8$

Определяем

1) Силу трения F по формуле (6.2):

$$F = ((3,14 \cdot 0,16 \cdot 1800 \cdot 0,4 \cdot 9,8(1 + 0,5)/2) \cdot 1,4 = 3722 \text{ Н/м}$$

2) Максимальную длину прямого отрезка трубопровода $L_{\max}$ по формуле (6.1): $L_{\max} = (940 \cdot 150)/3722 = 38 \text{ м}$

Пример 2: Определить тепловое удлинение и длину плеча компенсации для трубопровода в ППУ-изоляции $\varnothing 89/160$ мм при Г-образной компенсации.

Исходные данные:

Угол поворота – 90°

Расстояние от условно неподвижных опор (УНО) до угла поворота, м

$$L_1 = 32$$

$$L_2 = 14$$

Расчетная температура теплоносителя, T , $^\circ\text{C} - 130$

Температура монтажа, T_o , $^\circ\text{C} - 10$

Глубина залегания от поверхности земли до оси трубы, h , м – 1

Коэффициент линейного расширения стальной трубы, α , $1/^\circ\text{C} - 1,37 \cdot 10^{-5}$

Модуль продольной упругости, E , $\text{Н/мм}^2 - 0,204 \cdot 10^6$

Площадь поперечного сечения стенки стальной трубы, S , $\text{мм}^2 - 940$

Допустимое осевое напряжение для трубопроводов Ст.20, $\sigma_{\text{доп}}$, МПа -150

Наружный диаметр стальной трубы, d , м - 0,089

Внешний диаметр трубы-оболочки, D , м – 0,16

Определяем:

1) Силу трения F по формуле (6.2):

$$F = ((3,14 \cdot 0,16 \cdot 1800 \cdot 0,4 \cdot 9,8(1 + 0,5)/2) = 2659 \text{ Н/м}$$

2) Тепловое удлинение по формуле (6.3)

$$\Delta L_1 = 1,37 \cdot 10^{-5} (130 - 10) \cdot 32 - (2659 \cdot 32^2) / (2 \cdot 204000 \cdot 940) = 0,052 \text{ м}$$

$$\Delta L_2 = 1,37 \cdot 10^{-5} (130 - 10) \cdot 14 - (2659 \cdot 14^2) / (2 \cdot 204000 \cdot 940) = 0,022 \text{ м}$$

3) Длину плеча компенсации по формулам (6.4, 6.5)

$$D_{S1} = 1,2 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 204000}{150}} \cdot \sqrt{0,089 \cdot 0,052} = 3,7 \text{ м}$$

$$D_{S2} = 1,2 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 204000}{150}} \cdot \sqrt{0,089 \cdot 0,022} = 2,4 \text{ м}$$

Пример 3: Определить тепловое удлинение, длины зон компенсации, вылет П-образного компенсатора для трубопровода в ППУ-изоляции $\varnothing 219/315$ мм.

Исходные данные:

Значения ρ , μ , k_o , g , $\sigma_{\text{доп}}$, E , α , T , T_o берем из предыдущих примеров.

Наружный диаметр стальной трубы d , мм (м) – 219 (0,219)

Внешний диаметр трубы-оболочки D , мм – 315

Расстояние от поверхности земли до оси трубопровода h , м – 1,4

Расстояние от условно неподвижных опор до П-образного компенсатора

$$L_1, L_2, \text{ м} - L_1 = L_2 = 37$$

Площадь поперечного сечения стенки стальной трубы, $S, \text{ мм}^2 - 4013$

Определяем:

1) Силу трения F , по формуле (6.2)

$$F = ((3,14 \cdot 0,315 \cdot 1800 \cdot 0,4 \cdot 9,8(1 + 0,5)/2) \cdot 1,4 = 3739 \text{ Н/м}$$

2) Тепловое удлинение $\Delta l_1 = \Delta l_2$ определяем по формуле (6.3)

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = 1,37 \cdot 10^{-5}(130 - 10) \cdot 37 - (3739 \cdot 37^2)/(2 \cdot 204000 \cdot 4013) = 0,058 \text{ м}$$

$$\sum \Delta l = 0,058 \cdot 2 = 0,116 \text{ м}$$

3) Длину плеча компенсации (вылет компенсатора) по формуле (6.9)

$$D_{\text{sn}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot 204000}{150}} \cdot \sqrt{0,219 \cdot 0,116} = 5 \text{ м}$$

4) Длину плеча компенсации по формуле (6.10)

$$D_{\text{sn}}' = 0,1 \cdot \sqrt{0,219 \cdot 5} = 3,3 \text{ м}$$

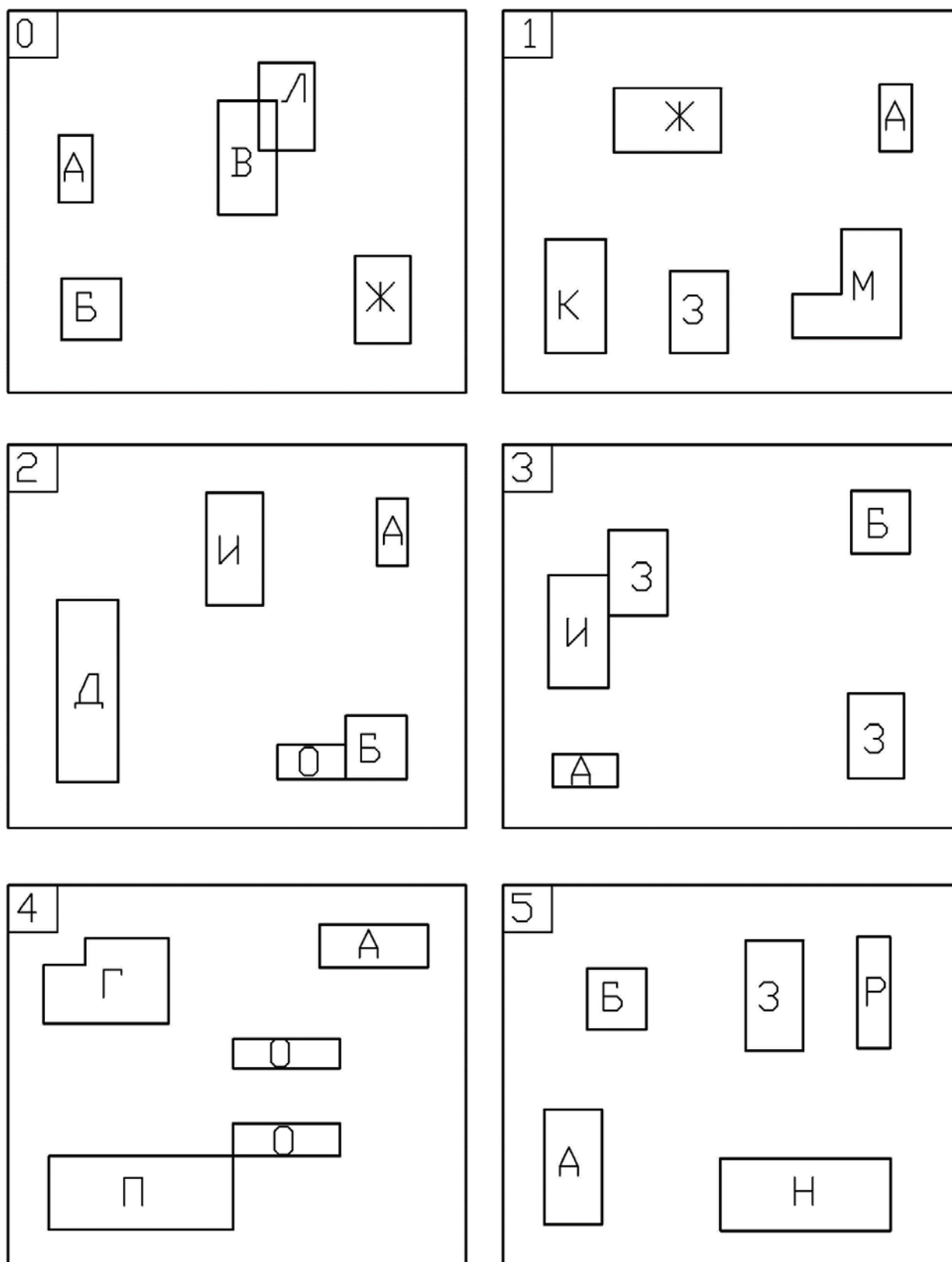
Длина полочки равна двойной длине стандартного отвода

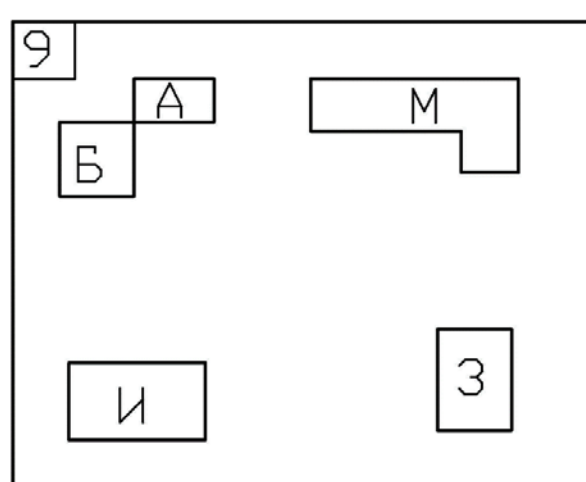
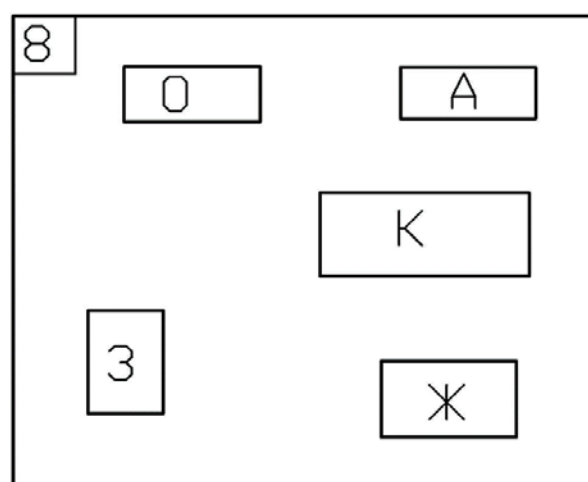
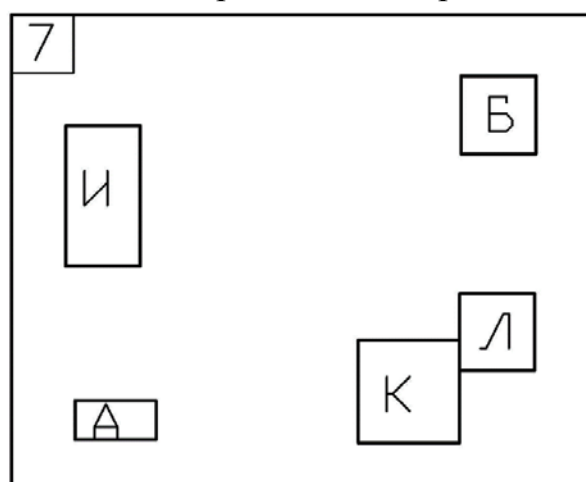
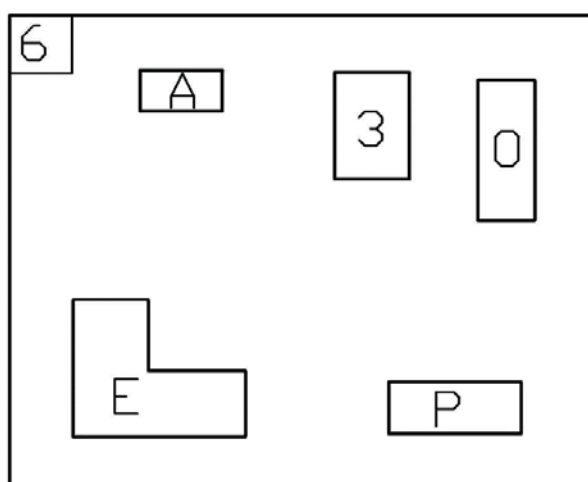
ЛИТЕРАТУРА

1. Теплоснабжение и вентиляция : учебное пособие для вузов / под ред. Б. М. Хрусталева. – Москва : АСВ, 2007. – 783 с.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети : учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – 9-е изд. – Москва: МЭИ, 2009. – 472 с.
3. Тепловые сети. Строительные нормы проектирования : СН 4.02.01–2019 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 48 с.
4. Системы внутреннего водоснабжения и канализации зданий. Строительные нормы проектирования: СН 4.01.03–2019 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 38 с.
5. Теплоснабжение : учебник для вузов / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А. А. Иониной. – М : Стройиздат, 1982. – 336 с.
6. Теплоснабжение : учебное пособие для студентов вузов / В. Е. Козин и др. – М. : Высшая школа, 1980. – 408 с.
7. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Строительные нормы проектирования: СН 4.02.02–2019 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 27 с.
8. Тепловые сети. Строительные правила: СП 4.02.02–2022 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2022. – 40 с.

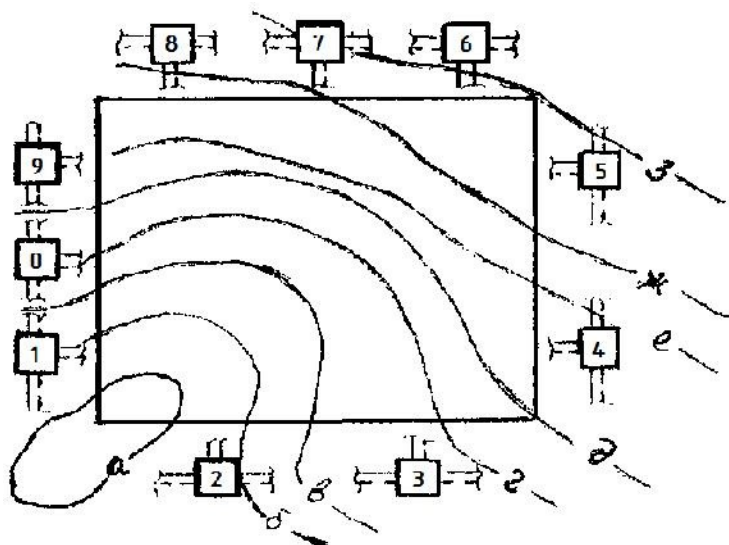
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Вариант генплана промышленного предприятия





Вариант расположения камеры подключения промышленного предприятия к магистральным тепловым сетям



Отметки горизонталей рельефа местности

Обозначение горизонталей	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а	120	90	90	100	150	40	65	130	50	85
б	121	89	91	99	151	41	66	131	51	84
в	122	90	92	98	152	42	67	132	52	83
г	121	91	91	97	151	43	68	131	51	82
д	120	92	90	98	150	42	67	130	50	83
е	119	91	91	99	149	41	66	129	49	84
ж	118	90	92	100	148	40	65	130	48	83
з	117	89	93	101	149	41	64	129	49	84

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Эксплуатация и характеристики зданий

Здание	Назначение здания	Количество, шт.		Внут- ренние тепловыделения, кВт	Высота здания, м
		умы- валь- ников	душей		
А	Административное здание	6	–	–	36
Б	Столовая	10	3	90	7
В	Чугунолитейный цех	10	12	420	25
Г	Сталелитейный цех	8	8	350	25
Д	Термический цех	12	16	500	30
Е	Кузнечный цех	8	10	400	20
Ж	Механосборочный цех	7	5	–	5
З	Механический цех	6	7	–	12
И	Ремонтный цех	14	9	–	8
К	Деревообделочный цех	11	10	–	8
Л	Склад	–	–	–	6
М	Цех покрытий металлами	5	4	100	10
Н	Меднолитейный цех	13	14	250	25
О	Слесарные мастерские	6	6	–	8
П	Цех металлических покрытий	9	9	250	15
Р	Бытовые помещения	15	–	–	6

ПРИЛОЖЕНИЕ В

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

Здание	Назначение зданий	Строительный объем зданий, тыс. m^3	Удельная характеристика, $Dж/с \cdot m^3 \cdot град$		Расчетная температура воздуха внутри помещений, $t_{в.р.}, ^\circ C$
			для отопления q_o	для вентиляции q_v	
А	Административное здание	18750	0,2975	0,1125	18
Б	Столовая	8000	0,4500	0,8000	16
В	Чугунолитейный цех	75000	0,2700	1,1100	16
Г	Сталелитейный цех	68750	0,2750	0,9250	16
Д	Термический цех	75000	0,2400	0,7000	16
Е	Кузнечный цех	64000	0,2592	0,5156	16
Ж	Механосборочный цех	40000	0,4850	0,2000	16
З	Механический цех	37500	0,4888	0,2075	16
И	Ремонтный цех	50000	0,4500	0,0900	18
К	Деревообделочный цех	43700	0,4795	0,4795	17
Л	Склад	6250	0,6575	0,4900	10
М	Цех покрытий металлами	15000	0,4200	1,2700	18
Н	Меднолитейный цех	31000	0,2350	1,3320	16
О	Слесарные мастерские	25000	0,5075	0,2450	16
П	Цех металлических покрытий	45000	0,4530	0,6180	17
Р	Бытовые помещения	6750	0,3760	0,1365	18

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Исходные данные (вариант определяется по сумме двух цифр из задания)

Вариант	Расчетные температуры сетевой воды	Давление в водяной		Давление пара, МПа		Город	Способ прокладки тепловых сетей
		в подающей линии	в обратной линии	Начальное p_n	Конечное p_k		
1	130/70	650	350	0,55	0,32	Астрахань	Бесканальная Армопенобетон
2	150/70	640	340	0,57	0,34	Брянск	Бесканальная Стекловолоконистые маты
3	140/70	630	330	0,59	0,39	Вильнюс	Бесканальная Фенольный порошлат
4	140/70	620	320	0,61	0,42	Владивосток	Бесканальная Пеносиликат
5	150/70	610	310	0,63	0,44	Волгоград	Бесканальная Битумоперлит
6	150/70	600	300	0,65	0,48	Воронеж	Бесканальная Асфальтокерамзитобетон
7	140/70	590	290	0,67	0,49	Киев	Бесканальная Минеральная вата
8	140/70	580	280	0,69	0,50	Курск	Бесканальная Пеносиликат
9	130/70	570	270	0,70	0,52	Луганск	Бесканальная Армопенобетон
10	150/70	560	260	0,72	0,55	Львов	Бесканальная Минеральная вата
11	150/70	550	250	0,74	0,57	Минск	Бесканальная Битумоперлит
12	140/70	540	240	0,75	0,58	Москва	Бесканальная Стекловолоконистые маты
13	150/70	530	230	0,80	0,62	Одесса	Бесканальная Фенольный порошлат
14	150/70	520	220	0,77	0,60	Рига	Бесканальная Минеральная вата
15	140/70	550	250	0,45	0,25	Ростов на Дону	Бесканальная Асфальтокерамзитобетон
16	150/70	640	340	0,47	0,22	Санкт-Петербург	Бесканальная Армопенобетон
17	140/70	690	390	0,49	0,28	Саратов	Бесканальная Фенольный порошлат
18	150/70	700	400	0,51	0,33	Таллин	Бесканальная Пеносиликат
19	150/70	710	410	0,53	0,35	Харьков	Бесканальная Минеральная вата

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Значения коэффициентов A для гидравлического расчета

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Коэффициенты местных сопротивлений

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

Учебное издание

ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Методические указания к практическим занятиям

Составители:

Тимонов Иван Афанасьевич
Жерносек Сергей Васильевич
Рудаков Святослав Андреевич

Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *С.А. Рудаков*

Подписано к печати 08.07.2025. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 3,1.
Уч.-изд. листов 3,9. Тираж 30 экз. Заказ № 135.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017