

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. О. СУХОГО**

Энергетический факультет

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовой работе

по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий»

на тему: **«ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ОТ ТЭЦ»**

Исполнитель: студент группы ЗЭН-31с
Ющенко С.Ю.

Руководитель: преподаватель
Киселевич В.В.

Дата проверки: _____

Дата допуска к защите: _____

Дата защиты: _____

Оценка работы: _____

Подписи членов комиссии
по защите курсовой работы: _____

Гомель 2021

Содержание

Введение.....	3
Исходные данные.....	4
1. Определение расчетных тепловых нагрузок.....	5
2. Построение графиков расхода теплоты.....	6
3. Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводах теплосети.....	7
4. Определение часовых расходов сетевой воды.....	8
5. Гидравлический расчет водяной тепловой сети.....	9
5.1. Общие сведения.....	10
5.2. Предварительный расчет.....	11
5.3. Проверочный расчет.....	12
6. Построение пьезометрического графика.....	13
7. Выбор схем присоединений зданий и тепловой сети.....	14
8. Гидравлический расчет паропровода.....	14
8.1. Предварительный расчет.....	15
8.2. Проверочный расчет.....	16
9. Гидравлический расчет конденсатопровода.....	18
10. Построение продольного профиля тепловой сети.....	18
11. Тепловой расчет.....	18
11.1. Тепловой расчет подающего теплопровода.....	19
11.2. Тепловой расчет обратного теплопровода.....	20
11.3. Тепловой расчет паропровода.....	25
11.4. Тепловой расчет конденсатопровода.....	25
11.5. Выбор стандартной толщины теплоизоляционного слоя.....	30
Заключение.....	45
Литература.....	45
Приложения.....	50

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	Лист
												2

Введение

В данной курсовой работе рассматривается теплоснабжение промышленного предприятия от ТЭЦ. Все трубопроводы предприятия присоединяются к магистральным сетям в камере, местоположение которой выбирается согласно заданию. В системе теплоснабжения, обеспечивающей тепловую нагрузку на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, в качестве теплоносителя применяется вода. Система теплоснабжения закрытая двухтрубная. Для удовлетворения технологической нагрузки к предприятию подведен паропровод. Место ввода паропровода на территорию предприятия условно совпадает с местоположением камеры водяной тепловой сети. Результатами проделанной курсовой работы должны служить следующие основные вопросы:

1. Определение расходов тепла и сетевой воды по отдельным видам теплопотребления к каждому зданию.
2. Гидравлические расчеты водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов.
3. Построение пьезометрического графика водяной тепловой сети и выбор схемы присоединения зданий к тепловой сети.
4. Построение продольного профиля водяной тепловой сети.
5. Тепловой расчет водяной тепловой сети и паропровода.

Необходимо отметить, что все технические решения должны приниматься согласно действующим в настоящее время в РБ нормативным документам (ТКП).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Лист	3
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	

Исходные данные

1. Генплан промышленного предприятия №9 (Приложение 1);
2. Город расположения промышленного предприятия – Пенза;
3. Расчетные температуры наружного воздуха для проектирования отопления $t_{\text{но}} = -27^\circ\text{C}$ и вентиляции $t_{\text{нв}} = -15^\circ\text{C}$, средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{ср.от.}} = -4,1^\circ\text{C}$, продолжительность отопительного периода $n_{\text{от}} = 200$ сут.;
4. Отметки горизонталей рельефа местности: А=85 м, Б=84 м, В=83 м, Г=82 м, Д=80 м, Е=82 м, Ж=83 м, З=84 м;
5. Расчетная температура сетевой воды 140/70 $^\circ\text{C}$, напоры в подающем и обратном трубопроводах водяной теплосети в месте расположения камеры подключения $H_{\text{п}} = 630$ кПа, $H_{\text{о}} = 330$ кПа, начальное и конечное (у потребителя) давление пара $P_{\text{н}} = 0,63$ МПа, $P_{\text{к}} = 0,43$ МПа, способ прокладки тепловых сетей – бесканальная, тепловая изоляция: полиэтилен вспененный.
6. Экспликация зданий, высоты и объемы зданий, количество умывальников и душей, расход пара, внутренние тепловыделения, наличие выделения вредностей в рабочую зону [1];
7. Удельные расходы тепла на отопление и вентиляцию, расчетная температура воздуха внутри помещений [1].

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09 4

1. Определение расчетных тепловых нагрузок

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

Расчетная отопительная нагрузка, Вт:

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

где q_o – величина удельной теплопотери здания, Вт/м³·К [1, приложение 3];
 V – объем здания по наружному обмеру, м³ [1, приложение 2]; $t_{\text{в.р.}}$ – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С [1, приложение 3]; $t_{\text{н.о}}$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления, равная средней температуре наиболее холодных пятидневок, взятых из восьми наиболее холодных зим за 50-летний период, °С [2, Приложение 1].

					КР 1-43 01 07.21.31с.09		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Определение расчетных тепловых нагрузок	Лит.	Лист
Провер.		Киселевич В.В.					5
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого	
Н.контр.							
Утверд.							

Основная задача отопления заключается в поддержании внутренней температуры помещений на заданном уровне. Для этого необходимо сохранение равновесия между тепловыми потерями здания и теплопритоком. Таким образом, при определении расчетного расхода теплоты на отопление промышленных зданий необходимо учитывать величину внутренних тепловыделений от технологического оборудования цехов, которые бывают довольно устойчивы и нередко представляют существенную долю расчетной отопительной нагрузки, а также потери инфильтрацией, достигающие 25–30% теплопотерь через наружные ограждения. Следовательно,

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

где μ – коэффициент инфильтрации: для общественных зданий принимают $\mu = 0$, для промышленных зданий $\mu = 1,25 \dots 1,3$ [2]; $Q_{вн}$ – внутренние тепловыделения зданий, Вт.

Приведем расчет для первого типа здания.

$$Q_{от.мах}(A) = 0,298 \cdot 18750 \cdot (18 - (-27)) = 251,016 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$Q'_{отмах}(A) = 1 \cdot 251,016 \cdot 10^3 - 0 = 251,016 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

$$Q_{от.мах}(B) = 0,450 \cdot 8000 \cdot (16 - (-27)) = 154,800 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$Q'_{отмах}(B) = 1 \cdot 154,800 \cdot 10^3 - 90 = 64,800 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

$$Q_{от.мах}(3) = 0,489 \cdot 37500 \cdot (16 - (-27)) = 788,109 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$Q'_{отмах}(3) = 1,25 \cdot 788,109 \cdot 10^3 - 0 = 985,137 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

$$Q_{от.мах}(И) = 0,530 \cdot 50000 \cdot (18 - (-27)) = 1192,500 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$Q'_{отмах}(И) = 1,25 \cdot 1192,500 \cdot 10^3 - 0 = 1490,625 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

$$Q_{от.мах}(М) = 0,530 \cdot 15000 \cdot (18 - (-27)) = 357,750 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$Q'_{отмах}(М) = 1,25 \cdot 357,750 \cdot 10^3 - 100 = 347,188 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Результаты расчетов по определению расхода теплоты на отопление заданных зданий заносятся в таблицу 1.1

Расчетная вентиляционная нагрузка, Вт:

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

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 6
	Взам. инв. №				
	Инв. № дудл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09

где q_v – удельный расход теплоты на вентиляцию, Вт/м³·К [1, приложение 3]; $t_{н.в}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С [2, Приложение 1].

Приведем расчет для первого типа здания.

$$Q_{в.мах}(А)=0,113 \cdot 18750 \cdot (18 - (-15)) = 69,609 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

$$Q_{в.мах}(Б)=0,800 \cdot 8000 \cdot (16 - (-15)) = 198,400 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

$$Q_{в.мах}(З)=0,208 \cdot 37500 \cdot (16 - (-15)) = 241,219 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

$$Q_{в.мах}(И)=0,120 \cdot 50000 \cdot (18 - (-15)) = 198,000 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

$$Q_{в.мах}(М)=2,360 \cdot 15000 \cdot (18 - (-27)) = 1593,000 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Результаты расчетов по определению расхода теплоты на вентиляцию заданных зданий заносятся в таблицу 1.1

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

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

Расчетная нагрузка горячего водоснабжения, Вт:

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

где 1,2 – коэффициент, учитывающий остывание горячей воды в

Инв. № подл.	Подп. и дата	Лист				
	Взам. инв. №					
	Инв. № доп.					
	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	7

абонентских системах горячего водоснабжения; m – количество душей, шт.; a – норма расхода горячей воды в душе, $a = 60$ л/ч; $t_{см.1}$ – температура смеси горячей и холодной воды в душе, $t_{см.1} = 37$ °C; $t_{хв}$ – температура холодной водопроводной воды, $t_{хв} = 5$ °C; n – количество умывальников, шт.; b – норма расхода горячей воды на умывальник, $b = 5$ л/ч; $t_{см.2}$ – температура смеси горячей и холодной воды в умывальнике, $t_{см.2} = 35$ °C; c_p – теплоемкость воды, $c_p = 4,19$ кДж/кг·К.

Приведем расчет для первого типа здания.

$$Q_{гв}(A) = \frac{1,2 \cdot (0 \cdot 60 \cdot (37 - 5) + 6 \cdot 5 \cdot (35 - 5)) \cdot 4,19}{3,6} = 1,257 \text{ Вт.}$$

$$Q_{гв}(Б) = \frac{1,2 \cdot (3 \cdot 60 \cdot (37 - 5) + 10 \cdot 5 \cdot (35 - 5)) \cdot 4,19}{3,6} = 10,140 \text{ Вт.}$$

$$Q_{гв}(З) = \frac{1,2 \cdot (7 \cdot 60 \cdot (37 - 5) + 6 \cdot 5 \cdot (35 - 5)) \cdot 4,19}{3,6} = 20,028 \text{ Вт.}$$

$$Q_{гв}(И) = \frac{1,2 \cdot (9 \cdot 60 \cdot (37 - 5) + 14 \cdot 5 \cdot (35 - 5)) \cdot 4,19}{3,6} = 27,067 \text{ Вт.}$$

$$Q_{гв}(М) = \frac{1,2 \cdot (4 \cdot 60 \cdot (37 - 5) + 5 \cdot 5 \cdot (35 - 5)) \cdot 4,19}{3,6} = 11,774 \text{ Вт.}$$

Результаты расчетов по определению расхода теплоты на ГВС заданных зданий заносятся в таблицу 1.1

Таблица 1.1 – Расчетные тепловые нагрузки предприятия

Обозн. зданий	Назначение зданий	$V, \text{ м}^3$	$Q_{вн}, \text{ кВт}$	$Q'_{от.мах}, \text{ кВт}$	$Q_{в.мах}, \text{ кВт}$	$Q_{гв}, \text{ кВт}$	$\Sigma Q, \text{ кВт}$	$D_{п}, \text{ т/ч}$
А	Административное здание	18750	0	251,016	69,609	1,257	321,882	0
Б(вр.)	Столовая	8000	90	64,800	198,400	10,140	273,340	3
З	Механический цех	37500	0	985,137	241,219	20,028	1246,384	2
И	Ремонтный цех	50000	0	1490,625	198,000	27,067	1715,692	0
М	Цех покрытий металлами	15000	100	347,188	1593,000	11,774	1951,961	3
Итого		129250	190	3138,765	2300,228	70,266	5509,259	8

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дил.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист 8
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09					

2. Построение графиков расхода теплоты

График годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха строится на основании графика суммарных часовых расходов теплоты и состоит из двух частей [Приложение 2]: левой – график зависимости суммарных часовых расходов теплоты по различным видам теплопотребления в зависимости от температуры наружного воздуха и правой – годовой график расхода теплоты в зависимости от продолжительности стояния наружных температур.

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

$$Q_o = Q'_{от.мах} \cdot \frac{t_{b.p.} - t_n}{t_{b.p.} - t_{n.o}}; \quad (2.1)$$

$$Q_b = Q_{b.мах} \cdot \frac{t_{b.p.} - t_n}{t_{b.p.} - t_{n.b}}, \quad (2.2)$$

где t_n – заданные температуры наружного воздуха.

Приведем расчет для первого типа здания.

$$Q_o(A) = 251,016 \cdot \frac{18-8}{18-(-27)} = 55,781 \cdot 10^3 \text{ Вт.} \quad (\text{при } t_n = +8\text{ }^{\circ}\text{C}).$$

$$Q_o(A) = 251,016 \cdot \frac{18-(-15)}{18-(-27)} = 184,078 \cdot 10^3 \text{ Вт.} \quad (\text{при } t_n = t_{n.b} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}).$$

$$Q_b(A) = 69,609 \cdot \frac{18-8}{18-(-15)} = 21,094 \cdot 10^3 \text{ Вт.} \quad (\text{при } t_n = +8\text{ }^{\circ}\text{C}).$$

					<i>КР 1-43 01 07.21.31с.09</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Построение графиков расхода теплоты	Лит.	Лист
Провер.		Киселевич В.В.					9
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого	
Н.контр.							
Утверд.							

Результаты расчетов по определению тепловых нагрузок для заданных зданий заносятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Значения тепловых нагрузок, необходимые для построения графика расхода теплоты

Здание	Q_o , кВт, при +8 °С	Q_o , кВт, при $t_{нв}$ °С	$Q_{в}$, кВт, при +8 °С	$Q_{в}$, кВт, при $t_{н.в}$ °С (для зданий с вредными тепловыделениями при $t_{н.о}$)
А	55,781	184,078	21,094	69,609
Б	12,056	46,716	51,200	198,400
З	183,281	710,215	62,250	241,219
И	331,250	1093,125	60,000	198,000
М	77,153	347,188	354,000	1168,200
Итого:	659,521	2381,322	548,544	1875,428

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

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

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

$$Q_{гв}(\text{лето}) = 0,8 \cdot 70,266 = 56,213 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Для построения правой части графика необходимо знать

Инв. № подл	Подп. и дата					Лист 10
	Взам. инв. №					
	Инв. № докл.					
	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	

продолжительность стояния среднесуточных температур наружного воздуха за отопительный период для заданной климатической области [2, Приложение 3], при этом следует заполнить таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Продолжительность стояния среднесуточных температур наружного воздуха за отопительный период

Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8
Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной	-	-	2	11	55	232	670	1420	2390	3670	4950

Инв. № подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.	
Лит.	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09					Лист
										11

3. Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводах теплосети

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

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

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

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

График температур в подающем и обратном трубопроводах в зависимости от температуры наружного воздуха строится для заданных климатических условий и температурного графика сети в расчетном режиме ($\tau_{\text{п}} / \tau_{\text{о}}, ^\circ\text{C}$) [Приложение 3].

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

					КР 1-43 01 07.21.31с.09				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Построение графика температур в подающем и обратном трубопроводах теплосети	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Киселевич В.В.						12	
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого			
Н.контр.									
Утверд.									

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

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

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

где $\tau'_{\text{п}}, \tau'_{\text{о}}$ – температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети при $t'_{\text{н}}$, °С; Δt – температурный напор нагревательного прибора, °С:

$$\Delta t = [(\tau_{\text{э}} + \tau_{\text{о}})/2] - t_{\text{в.р}}, \quad (3.3)$$

где $\tau_{\text{э}}$ – расчетная температура воды, поступающей в отопительные приборы (после смешения в элеваторе), °С, равная:

$$\tau_{\text{э}} = \frac{\tau_{\text{п}} + a \cdot \tau_{\text{о}}}{1 + a}, \quad (3.4)$$

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

$$\Delta \tau = \tau_{\text{п}} - \tau_{\text{о}}, \quad (3.5)$$

где $\tau_{\text{п}}, \tau_{\text{о}}$ – температура воды в прямом и обратном трубопроводах тепловой сети соответственно при расчетной температуре наружного воздуха $t_{\text{н.о}}$; $t'_{\text{н}}$ – произвольная температура наружного воздуха в диапазоне температур от $t_{\text{н.о}}$ до $t_{\text{в.р}}$, °С; θ – расчетный перепад температур воды в местной системе отопления, °С:

$$\theta = \tau_{\text{э}} - \tau_{\text{о}}. \quad (3.6)$$

$$\tau_{\text{э}} = \frac{140 + 2 \cdot 70}{1 + 2} = 93,333 \text{ °С}.$$

$$\Delta \tau = 140 - 70 = 70 \text{ °С}.$$

$$\theta = 93,333 - 70 = 23,333 \text{ °С}.$$

$$\Delta t = [(93,333 + 70)/2] - 18 = 63,667 \text{ °С}.$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Лист				
	Взам. инв. №					
	Инв. № дудл.					
	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	13

Зададимся произвольными температурами:

$t'_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	-20	-10	0	5	10	18
---------------------------------	-----	-----	---	---	----	----

Тогда $\tau'_{\text{п}}$ и $\tau'_{\text{о}}$ при $t'_{\text{н}} = -20 ^\circ\text{C}$:

$$\tau'_{\text{п}} = 18 + 63,667 \cdot \left(\frac{18 - (-20)}{18 - (-27)} \right)^{0,8} + (70 - 0,5 \cdot 23,333) \cdot \left(\frac{18 - (-20)}{18 - (-27)} \right) = 122,871 ^\circ\text{C}.$$

$$\tau'_{\text{о}} = 122,871 - 70 \cdot \left(\frac{18 - (-20)}{18 - (-27)} \right) = 63,760 ^\circ\text{C}.$$

Аналогичным образом рассчитываем значения $\tau'_{\text{п}}$ и $\tau'_{\text{о}}$ для всех произвольных температур наружного воздуха в диапазоне от $t_{\text{н.о}}$ до $t_{\text{в.р}}$ и результаты заносим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Значения $\tau'_{\text{п}}$ и $\tau'_{\text{о}}$ для произвольных температур наружного воздуха

$t'_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	-20	-10	0	5	10	18
$\tau'_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	122,871	97,854	71,922	58,429	44,359	18,000
$\tau'_{\text{о}}, ^\circ\text{C}$	63,760	54,299	43,922	38,207	31,915	18,000

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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09					14

4. Определение часовых расходов сетевой воды

Расчетные расходы сетевой воды определяются отдельно для каждого вида нагрузки.

Расчетный расход сетевой воды на отопление, кг/с:

$$G_{\text{от}} = \frac{Q'_{\text{от.мах}}}{(\tau_{\text{п}} - \tau_{\text{о}}) \cdot c_p}, \quad (4.1)$$

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

Приведем расчет для первого типа здания.

$$G_{\text{от}} = \frac{251,016}{(140 - 70) \cdot 4,19} = 0,856 \text{ кг/с.}$$

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию, кг/с:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в.мах}}}{(\tau'_{\text{п}} - \tau'_{\text{о}}) \cdot c_p}, \quad (4.2)$$

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

Приведем расчет для первого типа здания.

$$G_{\text{в}} = \frac{69,609}{(110,455 - 59,121) \cdot 4,19} = 0,324 \text{ кг/с.}$$

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

$$G_{\text{гв}} = \frac{Q_{\text{гв}}}{(\tau''_{\text{п}} - \tau''_{\text{о}}) \cdot c_p}, \quad (4.3)$$

					КР 1-43 01 07.21.31с.09		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Определение часовых расходов сетевой воды	Лит.	Лист
Провер.		Киселевич В.В.					15
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого	
Н.контр.							
Утверд.							

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

Приведем расчет для первого типа здания.

$$G_{гв} = \frac{1,257}{(70-43,108) \cdot 4,19} = 0,011 \text{ кг/с.}$$

Все значения τ определяются из графика центрального регулирования отпуска теплоты.

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

Таблица 4.1 – Расчетные расходы сетевой воды

Обозначение здания	$G_{от}$, кг/с	$G_{в}$, кг/с	$G_{гв}$, кг/с	ΣG_i , кг/с
А	0,856	0,324	0,011	1,191
Б	0,221	0,938	0,090	1,249
З	3,359	1,141	0,178	4,677
И	5,082	0,921	0,240	6,243
М	1,184	5,431	0,104	6,720
ΣG_j , кг/с	10,702	8,755	0,624	20,080

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

– для отопления при $t_n = +8$ °С, т. е. при температуре, соответствующей началу отопительного сезона (при этом необходимо учесть, что в зданиях, имеющих внутренние тепловыделения, начало отопительного сезона происходит при более низкой температуре);

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

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

Графики расходов сетевой воды строятся для каждого вида нагрузки по всем зданиям, а также строится суммарный график расходов сетевой воды по

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09				
					Лист 16				

всем видам нагрузки. На оси абсцисс откладываются температуры наружного воздуха от +18 °С до $t_{н.о}$ со всеми характерными точками, на оси ординат – значения расходов сетевой воды.

Приведем расчет для первого типа здания.

При $t_n = +8$ °С:

$$G_{от} = \frac{55,781}{(70-43,108) \cdot 4,19} = 0,495 \text{ кг/с};$$

$$G_{в} = \frac{21,094}{(70-43,108) \cdot 4,19} = 0,187 \text{ кг/с}.$$

При $t_n = -27$ °С:

$$G_{в} = 0,85 \cdot 0,324 = 0,275 \text{ кг/с}.$$

$$G_{гв} = \frac{1,257}{(140-70) \cdot 4,19} = 0,004 \text{ кг/с}.$$

По полученным действительным значениям расходов строим график часовых расходов сетевой воды [Приложение 4].

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 17
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09

5. Гидравлический расчет водяной тепловой сети

5.1. Общие сведения

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

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

Расчет состоит из двух этапов: предварительного и проверочного.

Сначала выполняют расчет главной магистрали. По известным расходам, ориентируясь на рекомендованные величины удельных потерь давления $R_{\text{л}}$, определяют диаметры трубопроводов $d_{\text{н}} \times \delta$, фактические удельные потери давления $R'_{\text{л}}$, Па/м, а также скорость движения теплоносителя W , м/с. Условный проход труб независимо от расчетного расхода теплоносителя должен приниматься в тепловых сетях не менее 32 мм. Скорость движения воды не должна быть более 3,5 м/с. Определив диаметры трубопроводов, находят количество компенсаторов на участках и другие виды местных сопротивлений. Затем определяют потери давления в местных сопротивлениях, полные потери давления на участках главной магистрали и суммарные по всей ее длине. Далее выполняют гидравлический расчет

					<i>КР 1-43 01 07.21.31с.09</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Ющенко С.Ю.</i>			<i>Гидравлический расчет водяной тепловой сети</i>		
<i>Провер.</i>		<i>Киселевич В.В.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н.контр.</i>							
<i>Утверд.</i>							
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						18	
					<i>ГГТУ им П.О. Сухого</i>		

ответвлений, увязывая потери давления в них с соответствующими частями главной магистрали (от точки деления потоков до конечных потребителей). Увязку потерь давления следует выполнять подбором диаметров трубопроводов ответвлений. Невязка не должна быть более 10 %. Если такая увязка невозможна, то излишний напор на ответвлениях должен быть погашен соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами.

На основе имеющихся материалов гидравлических испытаний тепловых сетей и водопроводов в СНиП 2.04.07-86 [3] рекомендуются следующие значения абсолютной эквивалентной шероховатости k_z , м, для гидравлического расчета тепловых сетей:

Паропроводы.....0,0002

Водяные сети0,0005

Конденсатопроводы.....0,001

5.2. Предварительный расчет

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

$$R_d = \frac{\Delta p}{\sum l \cdot (1 + \alpha)}, \quad (5.2.1)$$

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

$$\alpha = 0,019 \cdot \sqrt{G}, \quad (5.2.2)$$

где G – расход теплоносителя на участке при температуре излома $t_{н.и}$, кг/с.

Приведем расчет для первого участка.

$$\alpha = 0,019 \cdot \sqrt{20,080} = 0,085.$$

Аналогичным образом произведем расчет для остальных участков, полученные результаты сводим в таблицу 5.1.

Инв. № подл.	Подп. и дата	При известном располагаемом давлении Δp для всей сети, а также для ответвлений предварительно определяют ориентировочные средние удельные потери давления $R_{л}$, Па/м:								
		$R_{л} = \frac{\Delta p}{\sum l \cdot (1 + \alpha)}, \tag{5.2.1}$								
		где Δp – располагаемый перепад давления, Па; $\sum l$ – суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления), м; α – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях:								
		$\alpha = 0,019 \cdot \sqrt{G}, \tag{5.2.2}$								
		где G – расход теплоносителя на участке при температуре излома $t_{н.и}$, кг/с.								
Инв. № подл.	Подп. и дата	Приведем расчет для первого участка.								
		$\alpha = 0,019 \cdot \sqrt{20,080} = 0,085.$								
		Аналогичным образом произведем расчет для остальных участков, полученные результаты сводим в таблицу 5.1.								
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09					Лист
										19

В данной курсовой работе при неизвестном располагаемом перепаде давления в начале и конце теплотрассы удельные потери давления $R_{\text{д}}$ в тепловых сетях могут быть приняты согласно рекомендациям [4]:

- 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.

Главная магистраль участка: 1-2-3-4.

Ответвления: участки 5, 6, 7, 8.

Приведем расчет для первого участка (магистраль) и для пятого участка (ответвление).

$$R_{\text{д1}} = 40 \text{ Па/м.}$$

Диаметр трубопровода, м:

$$d = \frac{A_d^b \cdot G^{0,38}}{R_{\text{д}}^{0,19}}, \quad (5.2.3)$$

где A_d^b – коэффициент, определяется по [1, приложение 7]; G – расход теплоносителя на участке, кг/с.

$$d = \frac{0,117 \cdot 20,080^{0,38}}{40^{0,19}} = 0,181 \text{ м.}$$

Принимаем $d = 0,184 \text{ м.}$

Аналогичным образом произведем расчет для остальных участков, полученные результаты сводим в таблицу 5.1.

5.3. Проверочный расчет

По полученным значениям выбирается ближайший стандартный диаметр трубопровода для каждого участка [2, Приложение 11]. Диаметр труб независимо от расчетного расхода воды должен приниматься не менее 32 мм. Затем рассчитывается скорость движения теплоносителя, которая не должна превышать 3,5 м/с.

После установления диаметров теплопроводов производится

Инв. № подл.	Подп. и дата																
	Взам. инв. №																
	Инв. № докл.																
	Подп. и дата																
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <table border="1" style="width: 40%;"> <tr> <td>Лит</td> <td>Изм.</td> <td>№ докум.</td> <td>Подп.</td> <td>Дата</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>КР 1-43 01 07.21.31с.09</p> </div> <table border="1" style="width: 10%;"> <tr> <td>Лист</td> </tr> <tr> <td>20</td> </tr> </table> </div>						Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата						Лист	20
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата													
Лист																	
20																	

разработка монтажной схемы, которая заключается в расстановке на трассе тепловых сетей неподвижных опор, компенсаторов и запорно-регулирующей арматуры. На участках между узловыми камерами, т. е. камерами в узлах ответвлений, размещают неподвижные опоры, расстояние между которыми зависит от диаметра теплопровода, типа компенсатора и способа прокладки тепловых сетей [1, приложение 6]. В каждой узловой камере устанавливают неподвижную опору. На участке между двумя неподвижными опорами предусматривают компенсатор. Повороты трассы теплосети под углом 90° – 130° используют для самокомпенсации температурных удлинений, а в местах поворотов под углом более 130° устанавливаются неподвижные опоры. Неподвижные опоры располагают на теплопроводах большего диаметра, запорную арматуру устанавливают на всех ответвлениях и на магистральных участках через одно-два ответвления. В камерах на ответвлениях к отдельным зданиям при диаметре ответвлений до 50 мм и длине до 30 м запорную арматуру допускается не устанавливать. При этом должна предусматриваться арматура, обеспечивающая отключение группы зданий с суммарной тепловой нагрузкой до 0,6 МВт.

Действительное линейное удельное падение давления, Па/м:

$$R'_{\text{л}} = \frac{A_R^b \cdot G^2}{d^{5,25}}, \quad (5.3.1)$$

где A_R^b – коэффициент, определяется по [1, приложение 7].

Определяется эквивалентная длина местных сопротивлений, м:

$$l_3 = A_l \cdot \sum \xi \cdot d^{1,25}, \quad (5.3.2)$$

где A_l – коэффициент, определяется по [1, приложение 7]; $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, установленных на участке [1, приложение 8].

Определяются потери давления на участке, Па:

$$\Delta p = R'_{\text{л}} \cdot (l + l_3). \quad (5.3.3)$$

$$R'_{\text{л1}} = \frac{13,62 \cdot 10^{-6} \cdot 20,080^2}{0,184^{5,25}} = 39,756 \text{ Па/м.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09 Лист 21

Коэффициенты местных сопротивлений по участкам: $\sum \xi_1 = 2,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор гладкий); $\sum \xi_2 = 3,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор гладкий, тройник (проход)); $\sum \xi_3 = 3,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор, тройник (проход)); $\sum \xi_4 = 4,2$ (2 задвижки, 2 П-образных компенсатора гладких, тройник (ответвление)); $\sum \xi_5 = 4,2$ (2 задвижки, П-образный компенсатор гладкий, тройник (ответвление)); $\sum \xi_6 = 4,2$ (2 задвижки, П-образный компенсатор гладкий, тройник (ответвление)); $\sum \xi_7 = 4,2$ (2 задвижки, П-образный компенсатор гладкий, тройник (ответвление)); $\sum \xi_8 = 6,4$ (2 задвижки, П-образный компенсатор гладкий, тройник (ответвление)).

$$l_{\Sigma 1} = 60,7 \cdot 2,2 \cdot 0,184^{1,25} = 16,093 \text{ м};$$

$$\Delta p_1 = 39,756 \cdot (25 + 16,093) = 1633,675 \text{ Па} = 0,167 \text{ м вод.ст.}$$

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.

Согласно вышесказанному необходимо стремиться к выполнению следующих условий:

$$\Delta p_{2+3+4} = \Delta p_5; \Delta p_{2+3+4} = \Delta p_6; \Delta p_{3+4} = \Delta p_7; \Delta p_4 = \Delta p_8.$$

Приведем расчет для пятого участка (ответвление).

В соответствии с этими условиями находятся ориентировочные удельные потери давления для ответвлений по формуле (5.2.1):

$$R_{л5} = \frac{\Delta p_{2+3+4}}{l_5 \cdot (1 + \alpha_5)};$$

$$R_{л5} = \frac{3379,257}{10 \cdot (1 + 0,021)} = 331,062 \text{ Па/м.}$$

По полученному значению находят диаметры трубопроводов, действительные удельные потери давления, скорости теплоносителя, потери давления на участках 5, 6, 7, 8 (по формулам (5.2.3) – (5.3.3)).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09				
					Лист 22				

$$d = \frac{0,117 \cdot 1,191^{0,38}}{331,062^{0,19}} = 0,042 \text{ м};$$

Выбираем стандартный диаметр теплопровода $d=0,051 \text{ м}$.

Действительное линейное удельное падение давления, Па/м:

$$R'_{л5} = \frac{13,62 \cdot 10^{-6} \cdot 1,191^2}{0,051^{5,25}} = 117,756 \text{ Па/м}.$$

Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений:

$$l_{э5} = 60,7 \cdot 4,2 \cdot 0,051^{1,25} = 6,179 \text{ м}.$$

Определяем потери давления на участке 5:

$$\Delta p_5 = 117,756 \cdot (10 + 6,179) = 1905,139 \text{ Па} = 0,194 \text{ м вод.ст.}$$

Аналогичным образом производится расчет для остальных участков, результаты заносим в таблицу 5.1.

Затем определяется невязка потерь давления на ответвлениях, которая должна лежать в пределах 10%. Если невязка составит более 10%, то нужно либо, поставить на участок компенсатор, либо диафрагму, диаметр которой определяется по следующей формуле, мм:

$$d_{\text{диафр}} = 11,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta p}}, \quad (5.3.4)$$

где Δp – разность между потерями давления в ответвлении и магистрали, м вод.ст.

$$d_{\text{диафр } 5} = 11,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{1,191^2}{0,345 - 0,194}} = 19,802 \text{ мм}.$$

Аналогичным образом производится расчет для остальных участков, результаты заносим в таблицу 5.1.

При установке дифрагмы невязка составит 0%.

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

$$H_{\text{п}i} = H_{\text{п}(i-1)} - \Delta p_i; \quad (5.3.5)$$

Подп. и дата	определяется по следующей формуле, мм:				
Взам. инв. №	$d_{\text{диафр}}=11,3\cdot\sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta p}},$ <div>(5.3.4)</div>				
Инв. № докл.	где Δp – разность между потерями давления в ответвлении и магистрали, м вод.ст.				
Подп. и дата	$d_{\text{диафр } 5}=11,3\cdot\sqrt[4]{\frac{1,191^2}{0,345-0,194}}=19,802 \text{ мм.}$				
Инв. № подл.	Аналогичным образом производится расчет для остальных участков, результаты заносим в таблицу 5.1.				
	При установке дифрагмы невязка составит 0%.				
	После определения потерь давления на каждом участке теплосети рассчитывают напоры в подающем $H_{\text{пi}}$ и обратном $H_{\text{o i}}$ трубопроводах, а также располагаемый напор $H_{\text{рi}}$ в конце каждого участка:				
	$H_{\text{пi}}=H_{\text{п(i-1)}}-\Delta p_i;$ <div>(5.3.5)</div>				
<div>КР 1-43 01 07.21.31с.09</div>					
Лит	Изм.	№ док-м.	Подп.	Дата	Лист
					23

$$H_{oi}=H_{o(i-1)}+\Delta p_i; \quad (5.3.6)$$

$$H_{pi} = H_{pi} - H_{oi}, \quad (5.3.7)$$

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

Участок 1 (магистраль):

$$H_{п1}=64,242-0,167=64,076 \text{ м вод.ст.}$$

$$H_{o1}=33,651+0,167=33,817 \text{ м вод.ст.}$$

$$H_{p1}=64,076-33,817=30,258 \text{ м вод.ст.}$$

Участок 5 (ответвление):

$$H_{п5}=64,076-0,345=63,731 \text{ м вод.ст.}$$

$$H_{o5}=33,817+0,345=34,162 \text{ м вод.ст.}$$

$$H_{p5}=63,731-34,162=29,569 \text{ м вод.ст.}$$

Аналогичным образом производится расчет для остальных участков, результаты заносим в таблицу 5.1.

Результаты гидравлического расчета заносятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты гидравлического расчета

№ уч.	α	$R_{л}$, Па/м	G , кг/с	l , м	ξ	l_{Σ} , м	$d_{расч}$, мм	$d_{в}$, мм	$R'_{л}$, Па/м	Δp , Па	$\Delta p_{отв}$, Па/м	$d_{диафр}$, мм	Невязка	$H_{п}$, м вод.ст.	H_{o} , м вод.ст.	H_{p} , м вод.ст.	$\Sigma \xi$
1	0,09	40	20,08	25	2,2	16,09	0,181	0,184	39,76	1633,67	-	-	-	64,08	33,82	30,26	2,2
2	0,07	40	12,17	30	3,2	23,41	0,15	0,184	14,60	779,90	-	-	-	64,00	33,90	30,10	3,2
3	0,06	40	10,92	15	3,2	18,13	0,144	0,15	34,37	1138,74	-	-	-	63,88	34,01	29,87	3,2
4	0,04	40	4,68	70	4,2	18,95	0,104	0,125	16,42	1460,62	-	-	-	63,73	34,16	29,57	4,2
5	0,02	331,1	1,19	10	4,2	6,18	0,042	0,051	117,76	1905,14	3379,26	19,80	0,00	63,73	34,16	29,57	4,2
6	0,05	214,7	6,72	15	4,2	14,34	0,087	0,1	109,36	3208,18	3379,26	-	-5,33	63,73	34,16	29,57	4,2
7	0,02	84,84	1,25	30	4,2	9,18	0,055	0,07	24,59	963,26	2599,36	19,76	0,00	63,73	34,16	29,57	4,2
8	0,05	37,18	6,24	37,5	6,4	28,87	0,118	0,125	29,25	1941,73	1460,62	59,99	0,00	63,73	34,16	29,57	6,4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дил.	Взам. инв. №	Подп. и дата						<div> <div>Лит</div> <div>Изм.</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div>													Лист
					<div> <div>КР 1-43 01 07.21.31с.09</div> <div>24</div> </div>																		

6. Построение пьезометрического графика

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

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

Пьезометрические графики строятся для гидростатического и гидродинамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат принимают низшую отметку горизонталей рельефа местности [1, приложение 5]. В принятых масштабах изображается рельеф местности вдоль теплотрассы и высоты присоединенных зданий [1, приложение 2]. Строят линию статического напора, величина которого должна быть выше местных систем теплоснабжения не менее чем на 5 м, обеспечивая их защиту от «оголения», и в то же время должна быть менее на 10 м (или более) величины максимального рабочего напора для местных систем.

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

					КР 1-43 01 07.21.31с.09						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.	Ющенко С.Ю.				Построение пьезометрического графика			Лит.	Лист	Листов	
Провер.	Киселевич В.В.									25	
Реценз.								ГГТУ им П.О. Сухого			
Н.контр.											
Утверд.											

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

Затем приступают к построению графиков напоров для гидродинамического режима. По оси ординат вначале откладывают разность между низшей отметкой рельефа местности и отметкой оси теплопровода в камере подключения промпредприятия к магистральным сетям, затем величины начального и конечного напоров теплосети в этой камере (H_n и H_o). После этого строятся графики напоров подающей и обратной линий тепловой сети на основании данных табл. 5.1.

Под пьезометрическим графиком располагают спрямленную однолинейную схему теплотрассы с ответвлениями, указывают номера и длины участков, диаметры, расходы теплоносителя, располагаемые напоры в узловых точках [Приложение 5]

Инв. № подл	Подп. и дата					Лист
	Взам. инв. №					
	Инв. № дудл.					
	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	
					26	

7. Выбор схем присоединения зданий к тепловой сети

Выбор схем присоединения систем отопления к тепловой сети производят исходя из пьезометрического графика. Требуется обосновать выбор схемы присоединения каждого здания. При выборе схемы присоединения необходимо учитывать пьезометрические характеристики, а также возможность и целесообразность местного количественного регулирования теплоснабжения всех подключенных абонентов.

Здание 3 присоединяется к тепловой по зависимой схеме с элеватором, поскольку пьезометрический напор в обратной линии в гидравлическом и статическом режимах не превышает допустимых 60 м, а располагаемый больше 15 м.

Здание М присоединяется к тепловой по зависимой схеме с элеватором, поскольку пьезометрический напор в обратной линии в гидравлическом и статическом режимах не превышает допустимых 60 м, а располагаемый больше 15 м.

Здание Б присоединяется к тепловой по зависимой схеме с элеватором, поскольку пьезометрический напор в обратной линии в гидравлическом и статическом режимах не превышает допустимых 60 м, а располагаемый больше 15 м.

Здание И присоединяется к тепловой по зависимой схеме с элеватором, поскольку пьезометрический напор в обратной линии в гидравлическом и статическом режимах не превышает допустимых 60 м, а располагаемый больше 15 м.

					КР 1-43 01 07.21.31с.09				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Выбор схем присоединения зданий к тепловой сети	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Киселевич В.В.					27		
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого			
Н.контр.									
Утверд.									

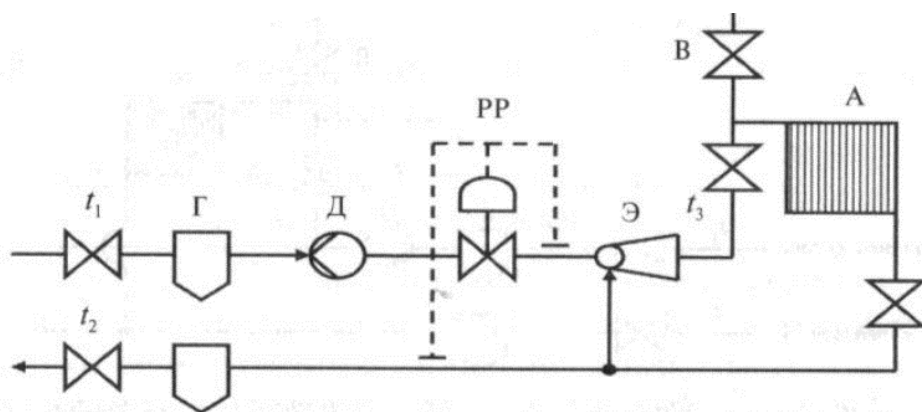


Рисунок 7.1 – Принципиальная зависимая схема с элеватором

Здание А присоединяется к тепловой по зависимой схеме с элеватором и регулятором давления на обратной линии "до себя", поскольку пьезометрический напор в обратной линии меньше высоты здания.

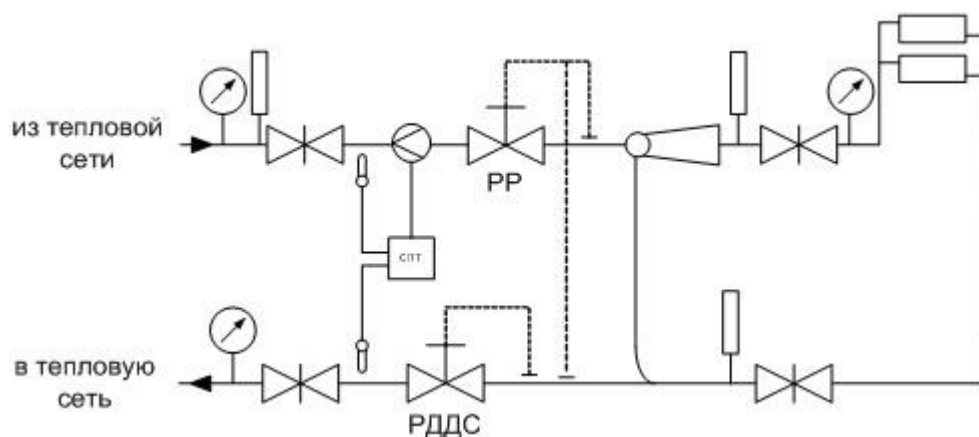


Рисунок 7.2 – Принципиальная зависимая схема с элеватором и регулятором давления "до себя" на обратной линии

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КР 1-43 01 07.21.31с.09

Лист

28

8. Гидравлический расчет паропровода

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

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

Расчет состоит из предварительного и проверочного.

8.1. Предварительный расчет

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

$$R_{\text{л}}^{\text{ср}} = \frac{P_n - P_k}{\sum l \cdot (1 + \alpha_{\text{ср}})}, \quad (8.1.1)$$

где P_n, P_k – давление пара в начале и в конце паропровода [1, приложение 4], Па; $\sum l$ – длина паропровода (от камеры подключения до самого отдаленного потребителя), м; $\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент местных потерь давления.

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

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\sum (\alpha_i \cdot l_i)}{\sum l}, \quad (8.1.2)$$

					КР 1-43 01 07.21.31с.09		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Гидравлический расчет паропровода	Лит.	Лист
Провер.		Киселевич В.В.					29
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого	
Н.контр.							
Утверд.							

где α_i, l_i – коэффициент местных потерь давления и длина участка;

$$\alpha_i = z \cdot \sqrt{G_i}, \quad (8.1.3)$$

где z – коэффициент, принимаемый для паровых сетей равным 0,05...0,1;

G_i – расход пара на рассматриваемом участке, т/ч.

Приведем расчет для первого участка. Аналогичным способом рассчитываются и другие участки, полученные результаты заносятся в таблицу 8.2.

$$\alpha_1 = 0,05 \cdot \sqrt{8} = 0,141.$$

$$\alpha_{cp} = 0,122.$$

$$R_{\pi}^{cp} = \frac{630000 - 430000}{137,5 \cdot (1 + 0,141)} = 1296,682 \text{ Па/м.}$$

Ориентировочное падение давления пара на участке, Па:

$$\Delta P_i = R_{\pi}^{cp} \cdot l. \quad (8.1.4)$$

$$\Delta P_1 = 1296,682 \cdot 32,5 = 42142,175 \text{ Па.}$$

Давление пара в конце расчетного участка, Па:

$$P_{ki} = P_{ni} - \Delta P_i. \quad (8.1.5)$$

$$P_{k1} = 630000 - 42142,175 = 587857,82 \text{ Па.}$$

Гидравлический расчет паропроводов производят по средней плотности пара на расчетном участке, кг/м³:

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_n + \rho_k}{2}, \quad (8.1.6)$$

где ρ_n, ρ_k – плотность пара в начале и в конце участка, определяемая по соответствующему давлению и температуре пара, кг/м³.

$$\rho_{cp} = \frac{3,318 + 2,315}{2} = 2,817 \text{ кг/м}^3.$$

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

Температура пара в конце расчетного участка, °С:

$$\tau_{ki} = \tau_{ni} - \Delta t \cdot l_i / 100. \quad (8.1.7)$$

$$\tau_{n1} = 160,749 \text{ °С.}$$

$$\tau_{k1} = 160,749 - 2 \cdot 32,5 / 100 = 160,099 \text{ °С.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 30
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
	Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	
КР 1-43 01 07.21.31с.09					

Средняя температура пара на участке, °С:

$$\tau_{cp} = \frac{\tau_H + \tau_K}{2}. \quad (8.1.8)$$

$$\tau_{cp1} = \frac{160,749 + 160,099}{2} = 160,424 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Диаметр паропровода, м:

$$d = \frac{A_d \cdot G^{0,38}}{(R_{л}^{cp} \cdot \rho_{cp})^{0,19}}, \quad (8.1.9)$$

где A_d – коэффициент, определяется по [1, приложение 7].

$$d_1 = \frac{0,414 \cdot 8^{0,38}}{(1296,682 \cdot 2,817)^{0,19}} = 0,192 \text{ м}.$$

Выбираем стандартный диаметр $d_1 = 0,207$ м.

8.2. Проверочный расчет

По аналогии с гидравлическим расчетом тепловой сети, определяется стандартный диаметр паропровода и составляется его монтажная схема. Расчет также приводится для первого участка.

Находятся действительные значения удельных потерь давления, Па/м:

$$R'_{cp} = \frac{A_R \cdot G^2}{\rho_{cp} \cdot d^{5,25}}, \quad (8.2.1)$$

где A_R – коэффициент, определяется по [1, приложение 7].

$$R'_{cp1} = \frac{0,0106 \cdot 8^2}{2,817 \cdot 0,207^{5,25}} = 939,542 \text{ Па/м}.$$

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

Таблица 8.1 – Максимальные скорости движения пара, м/с

d_y , мм	Перегретый пар	Насыщенный пар
До 200	50	35
Более 200	80	60

По формулам (5.3.2) и (5.3.3) определяется эквивалентная длина

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № докл.	Подп. и дата	Инв. № подл.	<div style="text-align: right;">Лист</div> <div style="text-align: center;">КР 1-43 01 07.21.31с.09</div> <div style="text-align: right;">31</div>				
							Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

местных сопротивлений l_3 , действительные потери давления на участках $\Delta P'$ и давления пара в конце расчетного участка P'_k .

Коэффициенты местных сопротивлений по участкам: $\sum \xi_1 = 2,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор гладкий); $\sum \xi_2 = 3,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор гладкий, тройник (проход), отвод на 90°); $\sum \xi_3 = 5,9$ (2 задвижки, П-образный компенсатор, тройник (ответвление)).

Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений:

$$l_{31}=76,4 \cdot 2,2 \cdot 0,207^{1,25}=23,468 \text{ м.}$$

Определяем потери давления на участке 1:

$$\Delta P_1=939,542 \cdot (32,5+23,468)=52584,43 \text{ Па.}$$

$$P_{k1}=630000-52584,43=577415,57 \text{ Па.}$$

Действительная температура перегретого пара в конце расчетного участка, $^\circ\text{C}$:

$$\tau'_{ki}=\tau_{ni}-\frac{3,6 \cdot q_i \cdot l_i}{c_{pi} \cdot G_i}, \quad (8.2.2)$$

где q_i – удельные потери теплоты изолированным паропроводом, определяется по [1, приложение 9], кВт/м; c_{pi} – удельная теплоемкость пара, соответствующая среднему давлению пара на участке, кДж/кг·К; G_i – расход пара на участке, т/ч.

$$q_1=0,080 \text{ кВт/м.}$$

$$c_{p1}=2,482 \text{ кДж/кг·К.}$$

$$\tau'_{k1}=160,749-\frac{3,6 \cdot 0,080 \cdot 32,5}{2,482 \cdot 8}=160,279 \text{ }^\circ\text{C.}$$

При τ'_k выше температуры насыщения пара, соответствующей давлению P'_k , конденсации пара не будет. По полученным значениям давления и температуры находится плотность пара в конце расчетного участка ρ'_k и средняя плотность пара на участке ρ'_{cp} .

$$\rho'_{k1}=3,281 \text{ кг/м}^3; \rho'_{n1}=3,318 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{cp1}=\frac{3,318+3,281}{2}=3,300 \text{ кг/м}^3.$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09				
					Лист 32				

Если при проверочном расчете средняя плотность пара на участке и давление в конце паропровода оказались близки к значениям из предварительного расчета, то расчет можно считать законченным. В противном случае необходимо изменить диаметр паропровода и расчет повторить. После расчета всего паропровода расчетное давление пара у конечного потребителя должно оказаться не менее заданного P_K .

Таблица 8.2 – Результаты гидравлического расчета паропровода

№ уч.	1	2	3	4	5
G , кг/с	8	5	2	3	3
α	0,141	0,112	0,071	0,087	0,087
l , м	32,5	20	85	10	35
ΔP , Па	42142,2	25933,6	110218,0	12966,8	45383,9
P_H , Па	630000,0	587857,8	561924,2	587857,8	561924,2
P_K , Па	587857,8	561924,2	451706,2	574891,0	516540,3
ρ_H , кг/м ³	3,318	3,318	3,318	3,318	3,318
ρ_K , кг/м ³	2,315	2,315	2,315	2,315	2,315
ρ_{cp} , кг/м ³	2,817	2,817	2,817	2,817	2,817
τ_H , °C	160,749	160,099	159,699	160,099	159,699
τ_K , °C	160,099	159,699	157,999	159,899	158,999
τ_{cp} , °C	160,424	159,899	158,849	159,999	159,349
$d_{расч}$, м	0,192	0,161	0,113	0,132	0,132
d_B , м	0,207	0,184	0,125	0,15	0,15
R'_{cp}	939,542	681,125	829,589	716,711	716,711
ξ	2,2	3,2	5,9	4,2	4,2
l_3 , м	23,468	29,462	33,503	29,954	29,954
ΔP , Па	52584,4	33690,0	98308,7	28635,6	46553,3
P_H , Па	630000,0	577415,6	543725,6	577415,6	543725,6
P_K , Па	577415,6	543725,6	445416,9	548780,0	497172,3
P_{cp} , Па	603707,8	560570,6	494571,2	563097,8	520448,9
q , кВт/м	0,080	0,072	0,058	0,065	0,065
c_p кДж/(кг·К)	2,482	2,454	2,409	2,456	2,427
τ'_K , °C	160,279	159,675	155,992	159,782	158,582
τ'_{cp} , °C	160,514	159,887	157,845	159,940	159,140
ρ'_K , кг/м ³	3,281	3,234	2,957	3,242	3,150
ρ'_K , кг/м ³	3,318	3,267	3,236	3,267	3,236
ρ'_H , кг/м ³	3,300	3,250	3,096	3,255	3,193

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № инв.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № докл.	Подп. и дата	Инв. № подл.						Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09					33			

9. Гидравлический расчет конденсатопровода

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

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

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

Приведем расчет для первого участка. Аналогичным способом рассчитываются и другие участки, полученные результаты заносятся в таблицу 9.1.

$$\alpha = 0,019 \cdot \sqrt{8} = 0,054.$$

$$R_{л1} = 40,00 \text{ Па/м.}$$

$$d = \frac{0,121 \cdot 8^{0,38}}{40,00^{0,19}} = 0,132 \text{ м.}$$

Выбираем стандартный диаметр теплопровода $d = 0,15 \text{ м.}$

Действительное линейное удельное падение давления, Па/м:

$$R'_{л1} = \frac{16,3 \cdot 10^{-6} \cdot 8^2}{0,15^{5,25}} = 22,074 \text{ Па/м.}$$

Коэффициенты местных сопротивлений по участкам: $\sum \xi_1 = 2,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор гладкий); $\sum \xi_2 = 3,2$ (1 задвижка, П-образный компенсатор гладкий, тройник (проход), отвод на 90°); $\sum \xi_3 = 5,9$ (2 задвижки, П-образный компенсатор, тройник (ответвление)).

					<i>КР 1-43 01 07.21.31с.09</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Ющенко С.Ю.</i>			<i>Гидравлический расчет конденсатопровода</i>		
<i>Провер.</i>		<i>Киселевич В.В.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н.контр.</i>							
<i>Утверд.</i>							
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						34	
					<i>ГГТУ им П.О. Сухого</i>		

Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений:

$$l_{\text{э1}} = 51,1 \cdot 2,2 \cdot 0,15^{1,25} = 10,494 \text{ м.}$$

Определяем потери давления:

$$\Delta p_1 = 22,074 \cdot (32,5 + 10,494) = 949,075 \text{ Па} = 0,097 \text{ м вод.ст.}$$

В соответствии с этим условием равенства давлений на участке магистрали и ответвлении, находятся ориентировочные удельные потери давления для ответвлений по формуле (5.2.1).

По полученному значению находят диаметры трубопроводов, действительные удельные потери давления, скорости теплоносителя (по формулам (5.2.3)–(5.3.3)). Выбираем стандартный диаметр теплопровода. Находим действительное линейное удельное падение давления, Па/м. Определяем эквивалентную длину местных сопротивлений. Определяем потери давления. Если необходимо, то на участки ответвлений устанавливаются диафрагмы для уравнивания потерь давления.

Полученные значения заносим в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Результаты гидравлического расчета конденсатопровода

№ уч.	1	2	3	4	5
$R_{\text{л}}$	40,00	40,00	40,00	382,45	89,30
G , кг/с	8	5	2	3	3
$d_{\text{расч}}$, м	0,132	0,111	0,078	0,059	0,078
$d_{\text{в}}$, м	0,15	0,125	0,082	0,07	0,082
$R'_{\text{л}}$	22,07	22,46	32,86	169,69	73,94
ξ	2,2	3,2	5,9	4,2	4,2
$l_{\text{э}}$, м	10,49	12,15	13,23	7,73	9,42
l , м	32,5	20	85	10	35
ΔP , Па	949,075	722,073	3228,244	3008,254	3284,444
ΔP , м вод. ст.	0,097	0,074	0,329	0,307	0,335
$\Delta P_{\text{отв}}$, Па	-	-	-	3950,317	3228,244
$\Delta P_{\text{отв}}$, м вод. ст.	-	-	-	0,403	0,329
$d_{\text{диафр}}$, мм	-	-	-	35,156	-
α	0,054	0,042	0,027	0,033	0,033
Невязка	-	-	-	0	1,71

КР 1-43 01 07.21.31с.09

Лист

35

10. Построение продольного профиля тепловой сети

По трассе тепловых сетей строится продольный профиль [Приложение 6]. На продольном профиле показывают: отметки поверхности земли (проектные – сплошной линией, существующие – штриховой); пересекаемые инженерные сети и сооружения; отметки низа трубы тепловой сети, дна и потолка канала; глубину заложения теплопровода; уклон и длину участков тепловой сети; диаметр теплопровода и тип канала; кроме того, дается развернутый план трассы с указанием углов поворота, ответвлений, неподвижных опор, компенсаторов и тепловых камер. При надземном способе прокладки даются отметки верха несущей конструкции и низа теплопровода.

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

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

Согласно СНиП 2.04.07-86 [4] заглубление тепловых сетей от поверхности земли до верха перекрытия каналов должно быть не менее 0,5 м, до верха перекрытия камер – не менее 0,3 м, до верха оболочки теплопровода при бесканальной прокладке – не менее 0,7 м. Высота надземной прокладки теплопроводов от поверхности земли до низа изоляционной конструкции должна быть не менее 0,5 м, в отдельных случаях допускается уменьшение этого расстояния до 0,35 м.

					КР 1-43 01 07.21.31с.09				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Построение продольного профиля тепловой сети	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Киселевич В.В.						36	
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого			
Н.контр.									
Утверд.									

11. Тепловой расчет

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

В конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурой содержащихся в них веществ в диапазоне от 20 до 300 °С для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м·К).

Для теплоизоляционного слоя трубопроводов при бесканальной прокладке следует применять материалы с плотностью не более 400 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности не более 0,07 Вт/(м·К).

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

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

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

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

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

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

					КР 1-43 01 07.21.31с.09		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Ющенко С.Ю.			Тепловой расчет	Лит.	Лист
Провер.		Киселевич В.В.					37
Реценз.						ГГТУ им П.О. Сухого	
Н.контр.							
Утверд.							

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

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

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

При подземной канальной прокладке:

$$\sum R_i = R_{гр} + R_o \cdot \psi. \quad (11.4)$$

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

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \ln \left(\frac{2 \cdot h}{d} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{d^2} - 1} \right) \quad (11.5)$$

Добавочное термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при бесканальной прокладке (R_o), м·°С/Вт, определяется по формуле:

– для подающего трубопроводов:

$$R_{o1} = \psi_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2} + 1}, \quad (11.6)$$

– для обратного трубопроводов:

$$R_{o2} = \psi_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2} + 1} \quad (11.7)$$

где $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта, зависящий от его структуры и влажности. При отсутствии данных значение $\lambda_{гр}$ можно принимать для влажных грунтов 2,0–2,5 Вт/(м·°С), для сухих грунтов 1,0–1,5 Вт/(м·°С); h – глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м; b – расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл. 11.1; ψ_1, ψ_2 – коэффициенты, учитывающие взаимное

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	формуле:	
					– для подающего трубопроводов:	
					$R_{o1}=\psi_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2}+1},$	(11.6)
					– для обратного трубопроводов:	
					$R_{o2}=\psi_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2}+1}$	(11.7)
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	где $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта, зависящий от его структуры и влажности. При отсутствии данных значение $\lambda_{гр}$ можно принимать для влажных грунтов 2,0–2,5 Вт/(м·°С), для сухих грунтов 1,0–1,5 Вт/(м·°С); h – глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м; b – расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл. 11.1; ψ_1, ψ_2 – коэффициенты, учитывающие взаимное	

					КР 1-43 01 07.21.31с.09	Лист
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		38

влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам:

$$\Psi_1 = q_{e1} / q_{e2}, \quad (11.8)$$

$$\Psi_2 = q_{e2} / q_{e1}, \quad (11.9)$$

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

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

Если расчетная толщина теплоизоляционного слоя не совпадает с номенклатурной толщиной выбранного материала, следует принимать по действующей номенклатуре ближайшую более высокую толщину теплоизоляционного материала. Допускается принимать ближайшую более низкую толщину теплоизоляционного слоя в случаях расчета по температуре на поверхности изоляции и нормам плотности теплового потока, если разница между расчетной и номенклатурной толщиной не превышает 3 мм.

Для примера рассчитаем тепловую изоляцию первого участка и занесем в таблицу, а остальные участки рассчитываются аналогично.

11.1. Тепловой расчет подающего теплопровода

Участок 1

$$t_w = 90^\circ \text{C}; t_e = 3^\circ \text{C}; q_e = 33 \text{ Вт/м.}$$

Суммарное термическое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{\text{сум}} = \frac{90-3}{33} = 2,636 \text{ (м} \cdot ^\circ \text{C) / Вт.}$$

Термическое сопротивление грунта:

Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>Лит</p> <p>Изм.</p> <p>№ докум.</p> <p>Подп.</p> <p>Дата</p> </div> <div> <p>КР 1-43 01 07.21.31с.09</p> </div> <div> <p>Лист</p> <p>39</p> </div> </div>					

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \ln \left(\frac{2 \cdot 1,300}{0,194} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,300^2}{0,194^2} - 1} \right) = 0,349 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт},$$

где $h=1,300$ м – глубина заложения оси теплопровода; $\lambda_{тр}=1,500$ Вт/(м·°C).

Добавочное термическое сопротивление:

$$R_{oi} = 2,357 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1,300^2}{0,500^2} + 1} = 0,417 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}.$$

где $d=0,194$ м – наружный диаметр трубопровода.

$$\psi = \frac{33}{14} = 2,357.$$

Дополнительные термические сопротивления:

$$\Sigma R_i = 0,349 + 2,357 \cdot 0,417 = 0,557 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Термическое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{и} = 2,636 - 0,557 = 2,079 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Толщина изоляции трубопроводов:

$$\delta_{и} = 0,194 \cdot (e^{2 \cdot \pi \cdot 0,041 \cdot 2,079} - 1) / 2 = 0,069 \text{ м} = 69 \text{ мм}.$$

Принимаем $\delta_{и}=69$ мм.

Остальные расчеты заносим в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Результаты теплового расчета для подающего трубопровода

№ участка	$\delta_{и}, \text{ м}$	$R_{и}, \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}$	$R_{сум}, \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}$	$\Sigma R_i, \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}$	$R_{гр}, \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}$	$R_{oi}, \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт}$	q_{e2}/q_{e1}
Уч.1	0,069	2,079	2,636	0,557	0,349	0,417	2,357
Уч.2	0,076	2,249	2,636	0,388	0,179	0,417	2,357
Уч.3	0,072	2,502	2,900	0,398	0,194	0,408	2,308
Уч.4	0,070	2,792	3,107	0,315	0,152	0,326	2,333
Уч.5	0,055	4,190	4,579	0,389	0,231	0,451	2,111
Уч.6	0,055	2,743	3,107	0,364	0,185	0,447	2,333
Уч.7	0,054	3,419	3,783	0,364	0,198	0,472	2,300
Уч.8	0,069	2,768	3,107	0,340	0,164	0,351	2,333

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист 40
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дудл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

$$t_w=50\text{ }^{\circ}\text{C}; t_e=3\text{ }^{\circ}\text{C}; q_e=14\text{ BT/M.}$$
$$R_{\text{cym}} = \frac{50-3}{14} = 3,357 \text{ (M}^\circ\text{C)/BT.}$$

$$R_{rp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \ln \left(\frac{2 \cdot 1,300}{0,194} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,300^2}{0,194^2} - 1} \right) = 0,179 \text{ (M} \cdot \text{°C) / B}_T,$$

где $h=1,300$ м – глубина заложения оси теплопровода; $\lambda_{\text{тр}}=1,500$ Вт/(м·°С).

$$R_{o2}=0,424 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1,300^2}{0,5^2} + 1} = 0,075 \text{ (M} \cdot \text{°C) / B.T.}$$

где $d=0,194$ м – наружный диаметр трубопровода.

$$\psi = \frac{14}{33} = 0,424.$$

$$\Sigma R_i = 0,179 + 0,424 \cdot 0,075 = 0,217 \text{ (M} \cdot ^\circ\text{C)/B.T.}$$
$$R_{\text{н}}=3,357-0,217=3,141 \text{ (М} \cdot \text{°C)/ВТ.}$$
$$\delta_{\text{u}}=0,194 \cdot (e^{2 \cdot \pi \cdot 0,041 \cdot 3,141}-1) / 2=0,121 \text{ м}=121 \text{ мм.}$$

Принимаем $\delta_{\text{и}}=121$ мм.

Остальные расчеты заносим в таблицу 11.2.

Таблица 11.2 – Результаты теплового расчета для обратного трубопровода

№ участка	$\delta_n, \text{м}$	$R_n, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$R_{\text{сум}}, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$\Sigma R_i, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$R_{\text{гр}}, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$R_o, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	q_{el}
Уч.1	0,121	3,141	3,357	0,217	0,179	0,075	0,424
Уч.2	0,121	3,141	3,357	0,217	0,179	0,075	0,424
Уч.3	0,111	3,383	3,615	0,232	0,194	0,077	0,433
Уч.4	0,108	3,735	3,917	0,182	0,152	0,060	0,429
Уч.5	0,074	4,955	5,222	0,267	0,231	0,101	0,474
Уч.6	0,086	3,699	3,917	0,218	0,185	0,082	0,429
Уч.7	0,082	4,470	4,700	0,230	0,198	0,089	0,435
Уч.8	0,107	3,720	3,917	0,196	0,164	0,064	0,429

11.3. Тепловой расчет паропровода

Участок 1

$$t_w=160,514\text{ }^\circ\text{C}; t_e=3\text{ }^\circ\text{C}; q_e=79,836\text{ Вт/м.}$$

Суммарное термическое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{\text{сум}} = \frac{160,514-3}{79,836} = 1,973\text{ (м} \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$$

Термическое сопротивление грунта:

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \ln \left(\frac{2 \cdot 0,900}{0,219} + \sqrt{\frac{4 \cdot 0,900^2}{0,219^2} - 1} \right) = 0,125\text{ (м} \cdot ^\circ\text{C)/Вт,}$$

где $h=0,900\text{ м}$ – глубина заложения оси теплопровода; $\lambda_{\text{гр}}=1,500\text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Добавочное термическое сопротивление:

$$R_{o1} = 1,229 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 0,900^2}{0,550^2} + 1} = 0,160\text{ (м} \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$$

где $d=0,219\text{ м}$ – наружный диаметр трубопровода.

$$\psi = \frac{79,836}{64,961} = 1,229.$$

Дополнительные термические сопротивления:

$$\Sigma R_i = 0,125 + 1,229 \cdot 0,160 = 0,213\text{ (м} \cdot ^\circ\text{C)/Вт.}$$

Инв. № подл	Подп. и дата				Лист 42
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09

Термическое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{\text{и}}=1,868-0,213=1,760 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Толщина изоляции трубопроводов:

$$\delta_{\text{и}}=0,219 \cdot (e^{2 \cdot \pi \cdot 0,041 \cdot 1,760} - 1) / 2 = 0,063 \text{ м} = 63 \text{ мм.}$$

Принимаем $\delta_{\text{и}}=63 \text{ мм.}$

Остальные расчеты заносим в таблицу 11.3.

Таблица 11.3 – Результаты теплового расчета для паропровода

№ участка	$\delta_{\text{и}}, \text{ м}$	$R_{\text{и}},$ (м·°C)/Вт	$R_{\text{сум}},$ (м·°C)/Вт	$\Sigma R_{\text{и}},$ (м·°C)/Вт	$R_{\text{гр}},$ (м·°C)/Вт	$R_{\text{о}},$ (м·°C)/Вт	$q_{\text{е2}}/q_{\text{е1}}$
Уч.1	0,063	1,760	1,973	0,213	0,125	0,160	1,229
Уч.2	0,063	1,934	2,174	0,241	0,149	0,185	1,228
Уч.3	0,055	2,347	2,671	0,324	0,210	0,227	1,187
Уч.4	0,058	2,119	2,423	0,304	0,185	0,238	1,408
Уч.5	0,059	2,159	2,422	0,263	0,164	0,198	1,316

11.4. Тепловой расчет конденсатопровода

Участок 1

$$t_w=100 \text{ °C}; t_e=3 \text{ °C}; q_e=64,961 \text{ Вт/м.}$$

Суммарное термическое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{\text{сум}} = \frac{100-3}{64,961} = 1,493 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Термическое сопротивление грунта:

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \ln \left(\frac{2 \cdot 0,900}{0,219} + \sqrt{\frac{4 \cdot 0,900^2}{0,219^2} - 1} \right) = 0,152 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт,}$$

где $h=0,900 \text{ м}$ – глубина заложения оси теплопровода; $\lambda_{\text{гр}}=1,500 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Добавочное термическое сопротивление:

$$R_{\text{о2}} = 0,814 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,500} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 0,900^2}{0,550^2} + 1} = 0,106 \text{ (м} \cdot \text{°C)/Вт.}$$

где $d=0,219 \text{ м}$ – наружный диаметр трубопровода.

Инв. № подл	Подп. и дата				Лист
	Взам. инв. №				
	Инв. № докл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09
					43

$$\psi = \frac{64,961}{79,836} = 0,814.$$

Дополнительные термические сопротивления:

$$\Sigma R_i = 0,154 + 0,814 \cdot 0,106 = 0,210 \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}.$$

Термическое сопротивление слоя изоляции:

$$R_{\text{и}} = 1,493 - 0,210 = 1,283 \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}.$$

Толщина изоляции трубопроводов:

$$\delta_{\text{и}} = 0,159 \cdot (e^{2 \cdot \pi \cdot 0,041 \cdot 1,283} - 1) / 2 = 0,031 \text{ м} = 31 \text{ мм}.$$

Принимаем $\delta_{\text{и}} = 31 \text{ мм}$.

Остальные расчеты заносим в таблицу 11.4.

Таблица 11.4 – Результаты теплового расчета для конденсатопровода

№ участка	$\delta_{\text{и}}, \text{ м}$	$R_{\text{и}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}$	$R_{\text{сум}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}$	$\Sigma R_i, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}$	$R_{\text{гр}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}$	$R_{\text{о}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}$	$q_{\text{е2}}/q_{\text{е1}}$
Уч.1	0,031	1,283	1,493	0,210	0,152	0,106	0,814
Уч.2	0,030	1,425	1,651	0,225	0,164	0,122	0,814
Уч.3	0,024	1,683	1,986	0,304	0,223	0,161	0,842
Уч.4	0,023	1,851	2,109	0,258	0,198	0,120	0,710
Уч.5	0,025	1,745	1,980	0,235	0,178	0,114	0,760

11.5. Выбор стандартной толщины теплоизоляционного слоя

Таблица 11.5 – Стандартная толщина теплоизоляционного слоя

№ участка	$\delta_{\text{и}}, \text{ м}$			
	Подающий трубопровод	Обратный трубопровод	Паропровод	Конденсатопровод
1	0,07	0,13	0,07	0,04
2	0,08	0,13	0,07	0,03
3	0,08	0,12	0,06	0,03
4	0,08	0,11	0,06	0,03
5	0,06	0,08	0,06	0,03
6	0,06	0,09	-	-
7	0,06	0,09	-	-
8	0,07	0,11	-	-

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дудл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

– здание И присоединяется к тепловой по зависимой схеме с элеватором, поскольку пьезометрический напор в обратной линии в гидравлическом и статическом режимах не превышает допустимых 60 м, а

располагаемый больше 15 м.

Также был построен продольный профиль водяной тепловой сети и паропровода, на котором видна глубина заложения, длины участков, диаметры трубопроводов и все изгибы трубопровода.

А также был произведен тепловой сети всех трубопроводов, в ходе которого была установлена толщина изоляционного слоя.

При выполнении расчетов и выбора схем присоединения зданий к тепловой сети были соблюдены все требования нормативных документов РБ.

Инв. № подл	Подп. и дата					
	Взам. инв. №					
	Инв. № дудл.					
	Подп. и дата					
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09	Лист
						46

Литература

1. Погарцев И. Р., Юфанова Т. С., Звездкина Е. М. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий: метод. указания к курсовой работе и практ. занятиям по одноим. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 39 с.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов. – 7-е изд. – Москва: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
3. ТКП 45-4.02-322-2018. Тепловые сети. – Минск: РУП Стройтехнорм, 2018. – 48 с.
4. Николаев А. А. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. – Москва: Стройиздат, 1965. – 360 с.
5. ТКП 45-4.02-91-2009. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 30 с.

Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Взам. инв. №				
	Инв. № дубл.				
	Подп. и дата				
Инв. № подл.	Подп. и дата				
	Взам. инв. №				
	Инв. № дубл.				
	Подп. и дата				
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	КР 1-43 01 07.21.31с.09 Лист 47

Приложения

Таблица 11 — Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной бесканальной прокладке и продолжительности работы более 5000 ч в год

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопровода при среднегодовой температуре теплоносителя, °С			
	подающего	обратного	подающего	обратного
	65	50	90	50
25	25	19	34	19
32	27	21	36	20
40	28	22	38	21
50	31	24	41	22
65	34	26	46	25
80	35	27	46	26
100	37	29	49	27
125	40	31	55	30
150	46	35	61	33
200	50	38	67	37
250	55	42	73	39
300	60	45	79	43
350	65	49	85	46
400	69	52	92	48
450	73	55	98	51
500	80	59	104	55
600	89	66	118	61
700	96	71	129	65
800	106	77	141	71
900	115	83	150	75
1000	123	89	163	80
1200	140	100	185	90
1400	158	111	209	100
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Расчетные среднегодовые температуры воды в водяных тепловых сетях 65 °С/50 °С и 90 °С/50 °С соответствуют температурным графикам: 95 °С/70 °С и 150 °С/70 °С.</p> <p>2 Промежуточные значения норм плотности теплового потока следует определять интерполяцией.</p>				

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Таблица 10 — Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность паропроводов с конденсатопроводами при их совместной прокладке в непроходных каналах

Условный проход трубопровода, мм		Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С					
		115	100	150	100	200	100
паро- провода	конденсато- провода	Паро- провод	Конденсато- провод	Паро- провод	Конденсато- провод	Паро- провод	Конденсато- провод
25	25	24	18	31	18	42	18
32	25	25	18	33	18	45	18
40	25	26	19	34	19	46	19
50	25	29	19	37	19	53	19
65	32	33	22	44	21	60	22
80	40	38	23	48	23	63	23
100	40	40	23	51	23	68	23
125	50	44	25	55	25	73	24
150	70	48	28	59	28	80	27
200	80	55	30	69	30	91	29
250	100	62	32	77	32	102	32
300	125	68	35	85	34	113	34
350	150	75	39	92	38	121	38
400	180	80	44	101	44	133	44
450	200	86	46	106	46	138	46
500	250	91	52	111	51	147	51
600	300	102	57	125	56	161	56
700	300	111	57	136	56	176	57
800	300	120	57	147	56	188	56
25	25	52	18	66	18	81	18
32	25	56	18	71	18	86	18
40	25	60	19	75	19	90	19
50	25	66	19	81	19	98	19
65	32	73	22	90	21	107	21
80	40	79	22	95	22	112	22
100	40	83	22	101	22	121	22
125	50	89	24	109	24	129	24
150	70	96	27	118	26	145	27
200	80	111	29	134	29	157	30
250	100	121	32	149	32	178	32
300	125	136	34	163	34	189	34

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КР 1-43 01 07.21.31с.09