

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет

Факультет технологий управления и гуманитаризации
Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые
источники энергии»

**Методические указания
по выполнению курсового проекта**

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОГО РАЙОНА

для специальности
1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии
и энергетический менеджмент»

Электронное учебное издание

Минск
БНТУ
2025

УДК 697.341:378.147.091.313(075.8)
ББК 31.38я7
М54

С о с т а в и т е л и :
И.В. Янцевич, С.В. Климович

Р е ц е н з е н т ы :
заведующий сектором информатизации ЖКХ,
ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси»,
канд. техн. наук *Е.В. Тернов*
заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции»
Белорусского национального технического университета,
д-р техн. наук, профессор *Н.Б. Карницкий*

Рекомендована к изданию:

Кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета (протокол № 9 от 13.01.2025 г.)

Методической комиссией факультета технологий управления и гуманитаризации Белорусского национального технического университета (протокол № 4 от 03.02.2025 г.)

Методические указания подготовлены в целях оказания помощи студентам специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» при выполнении курсового проекта по дисциплине «Производство, транспорт и потребление тепловой энергии».

Приводятся основные методики, расчетные формулы, а также общие сведения, необходимые студентам в ходе курсового проектирования. Содержатся требования и рекомендации актуальных технических нормативных правовых актов (ТНПА).

Полученные в ходе курсового проектирования знания и навыки используются при дипломном проектировании.

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Исходные данные и требования к оформлению курсового проекта	4
1. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ	5
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК	6
3. ПОСТРОЕНИЕ ГОДОВЫХ ГРАФИКОВ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК .	9
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОТЫ	10
5. ВЫБОР СХЕМ АБОНЕНТСКОГО ВВОДА	13
6. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ТЕМПЕРАТУР	14
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ...	15
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ	18
9. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ	21
Список использованных источников	24

Курсовой проект «Теплоснабжение жилого района» выполняется студентами всех форм обучения специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» и является завершающим этапом изучения курса «Производство, транспорт и потребление тепловой энергии». В проекте решаются основные вопросы централизованного теплоснабжения жилого района: расчет тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, выбор схемы абонентского ввода, построение температурных графиков, гидравлический и тепловой расчеты трубопроводов тепловой сети.

В процессе работы над проектом студенты знакомятся с актуальными техническими нормативными правовыми актами (ТНПА), получают навыки практического применения теоретических знаний и решения комплексных инженерных задач централизованного теплоснабжения.

Исходные данные и требования к оформлению курсового проекта

Курсовой проект по теплоснабжению жилого района выполняется в соответствии с заданием, выданным руководителем проекта. К заданию прилагается схема системы теплоснабжения района с *исходными данными*: район проектирования, год и площадь застройки жилых кварталов, норма расхода воды на ГВС, график температур и тип компенсаторов тепловой сети, коэффициент фактических тепловых потерь в тепловой сети.

В проекте предусматривается закрытая двухтрубная водяная система теплоснабжения. Способ прокладки теплопроводов указан в задании. Данные, необходимые для решения частных вопросов курсового проекта, студенты принимают самостоятельно по ТНПА или справочной литературе, руководствуясь основными исходными данными.

Расчетно-пояснительная записка (далее – РПЗ) курсового проекта оформляется в соответствии с требованиями [1] и содержит титульный лист, задание на курсовой проект, расчетную схему с исходными данными проектирования, содержание, введение, основную расчетно-пояснительную часть, заключение, список использованных источников, графическую часть. *Содержание* расчетно-пояснительной записки курсового проекта должно соответствовать заданию на курсовой проект.

Во *введении* РПЗ приводят описание и характеристику объекта проектирования. В *заключительной части* дают общую характеристику работы и приводят основные результаты, полученные в ходе курсового проектирования.

Текст курсового проекта печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм). При наборе текста с использованием компьютера применяется гарнитура шрифта Times New Roman, размер

шрифта – 14 пунктов с использованием межстрочного интервала 18 пунктов с выравниванием текста по ширине листа. Абзацный отступ – 1,25 см, размеры полей: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм. Страницы расчетно-пояснительной записки нумеруют арабскими цифрами в правом верхнем углу.

Таблицу в зависимости от ее размера рекомендуется помещать непосредственно за абзацем, в котором на нее впервые дана ссылка, либо на следующей странице.

Все расчеты должны сопровождаться пояснениями. Символы и числовые коэффициенты приводятся непосредственно под формулой. Для расчетов, выполняемых по одной и той же формуле, после расчетной формулы приводятся примеры вычислений, а полный расчет оформляется в виде предлагаемых сводных таблиц. Расчет сводных таблиц и построение графиков выполняются с применением редактора *Excel*.

Графическая часть выполняется на листах формата А3 с использованием графических редакторов. Графический материал должен иметь рамку и основную надпись, подшивается в конец РПЗ. Графическая часть может содержать чертежи, графики, схемы, диаграммы, таблицы, рисунки и другой иллюстративный материал, наглядно представляющий выполненную работу и полученные результаты.

1 КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Выбор климатических данных района теплоснабжения производится согласно [2, таблицы 3.1...3.3, 3.19]:

- расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_o – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;
- дата начала и окончания отопительного периода;
- продолжительность отопительного периода, n_o , сут.;
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{om} ;
- среднемесячные температуры наружного воздуха, $t_m^{мес}$ (таблица 1.1);
- средняя за год температура наружного воздуха $t_m^{год}$;
- средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций (таблица 1.2).

Таблица 1.1 – Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С

Месяцы												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год

Таблица 1.2 – Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций

Температура воздуха, °С	Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций n , ч		
	Обл. город	Расчет продолжительности для указанной температуры и ниже ее	Кратно 4 °С
От -30 до -28,1 включ.		-28 °С и ниже	
“ -28 “ -26,1 “		-26 °С и ниже	
“ -26 “ -24,1 “		-24 °С и ниже	
“ -24 “ -22,1 “		-22 °С и ниже	
“ -22 “ -20,1 “		-20 °С и ниже	
“ -20 “ -18,1 “		-18 °С и ниже	
“ -18 “ -16,1 “		-16 °С и ниже	
“ -16 “ -14,1 “		-14 °С и ниже	
“ -14 “ -12,1 “		-12 °С и ниже	
“ -12 “ -10,1 “		-10 °С и ниже	
“ -10 “ -8,1 “		-8 °С и ниже	
“ -8 “ -6,1 “		-6 °С и ниже	
“ -6 “ -4,1 “		-4 °С и ниже	
“ -4 “ -2,1 “		-2 °С и ниже	
“ -2 “ -0,1 “		0 °С и ниже	
“ 0 “ 1,9 “		2 °С и ниже	
“ 2 “ 3,9 “		4 °С и ниже	
“ 4 “ 5,9 “		6 °С и ниже	
“ 6 “ 7,9 “		8 °С и ниже	*

Примечание: *значения продолжительности отопительного периода для района проектирования и областных городов могут не совпадать. Необходимо принимать значение для района проектирования.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

При отсутствии проектных данных расходы теплоты на отопление и вентиляцию определяют согласно [3, раздел 6] по *укрупненным показателям* максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м² общей площади, а расходы теплоты на горячее водоснабжение – по *укрупненным показателям* среднего теплового потока на горячее водоснабжение на 1 чел.

Тепловые потоки определяются по формулам:

- максимальный тепловой поток, Вт, на отопление жилых и общественных зданий

$$Q_{o \max} = q_o A \cdot (1 + k_1), \quad (2.1)$$

- максимальный тепловой поток, Вт, на вентиляцию общественных зданий

$$Q_{v \max} = k_1 k_2 q_o A, \quad (2.2)$$

- средний и максимальный тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий соответственно

$$Q_{hm} = q_h \cdot m, \quad (2.3)$$

$$Q_{h \max} = 2,4 \cdot Q_{hm}, \quad (2.4)$$

где q_o – укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

A – общая площадь жилых зданий, м^2 ;

k_1 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать равным 0,25;

k_2 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных принимают равным: для общественных зданий, построенных до 1985 г. 0,4, в период 1985 г. по 1995 г. – 0,6; после 1995 – 0,8.

q_h – укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение, $\text{Вт}/\text{чел}$;

m – число жителей в квартале;

2,4 – коэффициент неравномерности потребления горячей воды.

Средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение (ГВС) в *неотопительный период* определяется по формуле

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} \cdot \beta \cdot \frac{t_h - t_c^s}{t_h - t_c}, \quad (2.5)$$

где β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному периоду, принимаемый при отсутствии данных для жилищно-коммунального сектора равным 0,8;

$t_h, t_c^s; t_c$ – соответственно температура горячей ($55 \text{ }^\circ\text{C}$) и холодной водопроводной воды летом и зимой (15 и $5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Общая площадь жилых зданий, м²:

$$A = F \cdot P, \quad (2.6)$$

где F – площадь квартала, га;

P – плотность жилищного фонда, м²/га; в курсовом проекте принять в зависимости от этажности застройки по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Плотность жилищного фонда, м²/га

Этажность застройки	1...2	3...4	5 и выше
P , м ² /га	1800	2600	3200

Количество жителей, чел.:

$$m = A / N, \quad (2.7)$$

где N – норма общей площади на 1 человека, принимается 18 м²/чел.

Суммарный тепловой поток для квартала, Вт, определяем суммированием расчетных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение:

$$\sum Q^{\max} = Q_{o \max} + Q_{v \max} + Q_{hm}. \quad (2.8)$$

В пояснительной записке приводят **пример расчета** для квартала с *наименьшей площадью*, для остальных – результаты аналогичного расчета сводят в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчетная расходы теплоты

Квартал	Этаж-ность	$F_{\text{кв}}$, га	P , м ² /га	A , м ²	m , чел	q_o , Вт/м ²	q_h , Вт/чел
А							
Б							
В							
Г							

Окончание таблицы 2.2

Квартал	Расходы теплоты, кВт					
	$Q_{o \max}$	$Q_{v \max}$	Q_{hm}	$Q_{h \max}$	Q_{hm}^s	$\sum Q^{\max}$
А						
Б						
В						
Г						
Итого						

3 ПОСТРОЕНИЕ ГОДОВЫХ ГРАФИКОВ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Годовые графики тепловых нагрузок состоят из графика часового расхода теплоты и графика продолжительности тепловой нагрузки [4, 5, 6] и приводят на листе 1 графической части ([4], рисунок 2.13).

График часового расхода теплоты – зависимость среднечасовой тепловой нагрузки отопления, вентиляции и ГВС от наружной температуры воздуха. По оси абсцисс откладывают температуру наружного воздуха t_n кратно $4\text{ }^\circ\text{C}$, а по оси ординат – значения часовых расходов теплоты. Часовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию представляют собой линейные зависимости от температуры наружного воздуха. Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение – круглогодичная, не зависящая от температуры наружного воздуха, в течение отопительного периода условно принимается постоянной.

Суммарный график расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение строится путем сложения соответствующих ординат тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в характерных точках при температурах наружного воздуха $t_{н.к}$, t_o .

График продолжительности суммарной тепловой нагрузки в течение года строится с учетом графика суммарного часового расхода теплоты и продолжительности наружных температур. По *оси абсцисс* для наружной температуры откладывают число часов n , в течение которых наблюдается наружная температура, равная и ниже той, для которой производится построение. По *оси ординат* откладывают среднечасовые расходы теплоты при тех же температурах из графика суммарного часового расхода теплоты. Полученные точки соединяются плавной линией, которая представляет *график продолжительности* суммарной тепловой нагрузки в течение отопительного периода. В летний период основным видом теплового потребления остается горячее водоснабжение, которое постоянно и не зависит от наружной температуры.

При построении годовых графиков в пояснительной записке приводят **пример расчета** для температуры наружного воздуха равной $+8\text{ }^\circ\text{C}$, для остальных значений – результаты расчета сводят в таблицу 3.1.

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение в течение отопительного периода постоянна и не зависит от значений температур наружного воздуха (таблица 3.1, графа 5).

В неотапительный период при $t_n > +8\text{ }^\circ\text{C}$ тепловая нагрузка на отопление и вентиляцию отсутствует. Нагрузка на горячее водоснабжение постоянна (таблица 3.1, графа 6).

Суммарная тепловая нагрузка для различных температур наружного воздуха (таблица 3.1, графа 7) определяется по формуле

$$\Sigma Q = Q_o + Q_v + Q_{hm}.$$

Таблица 3.1 – Построение годовых графиков тепловых нагрузок

t_H	\bar{Q}	Q_o	Q_v	Q_{hm}	Q_{hm}^s	ΣQ	n
°С		кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	час
1	2	3	4	5	6	7	8
t_o					-		
...					-		
-20					-		
-16					-		
-12					-		
-8					-		
-4					-		
0					-		
4					-		
8							
12	-	-	-	-			

По значениям таблицы 3.1 строят годовые графики тепловых нагрузок.

Общая площадь, ограниченная осями координат $Q-n$ и кривой продолжительности тепловой нагрузки, представляет собой *годовой расход* теплоты проектируемого района $\Sigma Q^{\text{год}}$, ГВт·ч.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОТЫ

Годовой расход теплоты на теплоснабжение используется для определения расхода топлива и применяется в различных технических и экономических расчетах [4, 5, 6].

Годовой расход теплоты, Вт·ч, на коммунально-бытовые нужды потребителями района определяют по формуле

$$\Sigma Q^{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_v^{\text{год}} + Q_h^{\text{год}}, \quad (4.1)$$

где $Q_o^{\text{год}}$, $Q_v^{\text{год}}$, $Q_h^{\text{год}}$ – соответственно годовые расходы теплоты на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, Вт·ч, определяются по формулам

$$Q_o^{\text{год}} = Q_{om} \cdot n_o, \quad (4.2)$$

$$Q_v^{\text{год}} = \frac{Q_{vm} \cdot n_o \cdot z}{24}, \quad (4.3)$$

$$Q_h^{\text{год}} = Q_{hm} \cdot n_o + Q_{hm}^s \cdot (8400 - n_o), \quad (4.4)$$

где Q_{om} , Q_{vm} – соответственно *средние* тепловые потоки, Вт, на отопление и вентиляцию за отопительный период:

$$Q_{om} = Q_{o\max} \cdot \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_o}, \quad (4.5)$$

$$Q_{vm} = Q_{v\max} \cdot \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_o}, \quad (4.6)$$

t_i – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилых и общественных зданий равной 18 °С;

t_{om} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

t_o – расчетная температура наружного воздуха при проектировании отопления, °С;

n_o – продолжительность отопительного периода, ч;

z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток (принимается 16 ч);

8400 – количество часов работы системы ГВС в году.

Расходы теплоты, Вт·ч, на отопление, вентиляцию и ГВС за месяц определяются по формулам

$$Q_o^{мес} = Q_{om}^{мес} \cdot n_o^{мес} = Q_{o\max} \cdot \bar{Q} \cdot n_o^{мес}, \quad (4.7)$$

$$Q_v^{мес} = Q_{vm}^{мес} \cdot n_v^{мес} = Q_{v\max} \cdot \bar{Q} \cdot n_v^{мес}, \quad (4.8)$$

$$Q_h^{мес} = Q_{hm} \cdot n_h^{мес}, \quad (4.9)$$

где $Q_{om}^{мес}$, $Q_{vm}^{мес}$ – среднемесячный расход теплоты на отопление и вентиляцию соответственно, Вт;

$n_o^{мес}$, $n_v^{мес}$, $n_h^{мес}$ – продолжительность работы систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в течение месяца соответственно, ч;

$Q_{o\max}$, $Q_{v\max}$ – максимальный расход теплоты на отопление и вентиляцию соответственно, Вт;

$\bar{Q} = \frac{t_i - t_m^{мес}}{t_i - t_o}$ – относительная тепловая нагрузка;

$t_m^{мес}$ – среднемесячная температура наружного воздуха, °С.

В пояснительной записке приводят **пример расчета** для одного любого месяца года. В межотопительный период предусматривают отключение тепловых сетей на испытание и ремонт (15 суток).

Результаты расчета сводят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – График теплового потребления по месяцам года

Месяцы года	$t_m^{\text{мес}}$	n_o, n_h	n_v	\bar{Q}	$Q_o^{\text{мес}}$	$Q_v^{\text{мес}}$	$Q_h^{\text{мес}}$	$\Sigma Q^{\text{мес}}$
	°С	ч	ч	-	ГВт·ч	ГВт·ч	ГВт·ч	ГВт·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
январь								
февраль								
март								
апрель (отоп.)								
апрель (м/отоп.)								
май								
июнь								
июль								
август								
сентябрь								
октябрь (м/отоп.)								
октябрь (отоп.)								
ноябрь								
декабрь								
Годовой расход, $\Sigma Q^{\text{мес}}$, ГВт·ч								

Полученное в таблице 4.1 значение суммарного годового расхода сравнивают с соответствующим значением, рассчитанным по формуле (4.1):

$$\frac{\sum q^{\text{год}} - \sum q^{\text{мес}}}{\sum q^{\text{год}}} \cdot 100\% \leq 3\%.$$

По результатам таблицы 4.1 строят диаграмму расхода теплоты по месяцам года ([4], рисунок 2.12) и приводят в *графической части, лист 1*.

5 ВЫБОР СХЕМ АБОНЕНТСКОГО ВВОДА

На режим регулирования водяных систем теплоснабжения в основном влияют вид преобладающей тепловой нагрузки и схемы узлов присоединения абонентов [4, тема 3.3].

Для *закрытых систем* теплоснабжения в зависимости от соотношения максимальных тепловых потоков на горячее водоснабжение и на отопление присоединение водоподогревателей горячего водоснабжения следует принимать при $Q_{h\text{max}}/Q_{o\text{max}} = 0,2...1,0$ – *двухступенчатые* схемы, при остальных соотношениях – *одноступенчатую*.

При регулировании по *отопительной* нагрузке используется двухступенчатая *смешанная* схема, при регулировании по совмещенной

нагрузке отопления и горячего водоснабжения – двухступенчатая последовательная схема.

Для водяных тепловых сетей при центральном качественном регулировании в системах теплоснабжения с преобладающей жилищно-коммунальной нагрузкой следует принимать:

$Q_{hm}/Q_{оmax} < 0,15$ – регулирование по нагрузке *отопления*;

$Q_{hm}/Q_{оmax} \geq 0,15$ – регулирование по *совмещенной* нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Результаты расчета выбора вносят в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Выбор метода регулирования и схемы абонентского ввода

Район	$Q_{оmax}$	Q_{hm}	Q_{hmax}	$Q_{hm}/Q_{оmax}$	$Q_{hmax}/Q_{оmax}$	Метод	Схема
А							
Б							
В							
Г							
Итого					-	-	-

В курсовом проекте используют схемы согласно СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» и ТКП 45-4.02-183-2009 «Тепловые пункты. Правила проектирования».

На листе 2 графической части приводят схемы абонентских вводов потребителей. В расчетно-пояснительной записке делают описание этих схем – принцип отпуска тепловой энергии от тепловых сетей в систему отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. При этом дают пояснения:

- почему система теплоснабжения называется закрытой;
- способы присоединения потребителей к тепловым сетям: *зависимое* или *независимое* – со снижением или без снижения потенциала теплоты;
- подача теплоты в систему отопления: *нормальная* или *связанная*.

6 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ТЕМПЕРАТУР

Регулирование отпуска теплоты потребителям производят с помощью температурных графиков, которые устанавливают взаимосвязь текущих температур воды в тепловых сетях в зависимости от температуры наружного воздуха [4, 5, 6].

В основе построения графиков температур в тепловых сетях лежат уравнения регулирования отпуска теплоты для однородной отопительной нагрузки:

$$\tau_1 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} + (\Delta \tau - 0,5\theta) \cdot \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right); \quad (6.1)$$

$$\tau_2 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} - 0,5\theta \cdot \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o}, \quad (6.2)$$

где τ_1, τ_2 – температура воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети при t_o ;

t_i – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилого района равной 18°C ;

Δt – температурный напор нагревательного прибора при расчетной температуре t_o , $^\circ\text{C}$. При элеваторном смешении воды в узле ввода

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i = \frac{95 - 70}{2} - 18 = 64,5^\circ\text{C},$$

τ_3 – температура воды в подающем трубопроводе местной системы отопления после элеватора при t_o , $^\circ\text{C}$; принимается 95°C ;

$\Delta \tau$ – расчетный перепад температур воды в тепловой сети: $\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2$;

θ – расчетный перепад температур в местной системе отопления при t_o : $\theta = \tau_3 - \tau_2 = 95 - 70 = 25^\circ\text{C}$.

Задаваясь различными значениями температуры наружного воздуха t_n в пределах от $+8^\circ\text{C}$ до t_o , определяют τ_1 и τ_2 . По полученным значениям строят *отопительный график* температур воды в тепловой сети.

На отопительном графике температур для закрытых систем теплоснабжения делают срезку на уровне 70°C , учитывая ограничение наименьших температур воды в подающем трубопроводе тепловых сетей. Полученный график температур называется *отопительно-бытовым*. Он имеет вид ломаной линии ([4], рисунок 3.27) с точкой излома при минимально допустимой температуре воды.

В неотопительный период температура в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети соответственно 70 и 35°C .

Точка излома графика делит его на две части с различными режимами регулирования: в диапазоне температур наружного воздуха от точки излома до расчетной температуры наружного воздуха осуществляется *центральное качественное* регулирование отпуска теплоты. При температурах наружного воздуха выше точки излома центральное регулирование сезонной нагрузки во избежание перегрева помещений дополняется *местным количественным* регулированием.

В пояснительной записке **пример расчета** приводят для температуры наружного воздуха $+8^\circ\text{C}$. Результаты построения сводят в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Построение графика температур сетевой воды

$\tau, ^\circ\text{C}$	Температура наружного воздуха, $t_n, ^\circ\text{C}$									
	t_o	...	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+8
τ_1										
τ_2										
Значения в точке излома: $t'_n = \dots ^\circ\text{C}$; $\tau'_1 = \dots ^\circ\text{C}$; $\tau'_2 = \dots ^\circ\text{C}$										

Здесь τ'_1 и τ'_2 – соответственно температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе при температуре наружного воздуха в точке излома t'_n .

В *графической части* проекта, лист 1, приводят отопительно-бытовой график температур с нанесением точки излома., отмечают диапазоны регулирования тепловой нагрузки.

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В курсовом проекте задачей гидравлического расчета является выбор диаметров трубопровода по нормативным значениям удельных потерь давления по расчетным расходам теплоносителя в отопительный период.

Расчетный расход сетевой воды для определения диаметров труб в водяных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты согласно [3, раздел 9] определяют отдельно по каждому потребителю для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения по формулам (7.1)...(7.6), с последующим суммированием этих расходов воды по формулам (7.7), (7.8).

Расчетные расходы воды, кг/ч, определяют по формулам¹:

а) на отопление

$$G_{o \max} = \frac{3,6 Q_{o \max}}{c (\tau_1 - \tau_2)}; \quad (7.1)$$

б) на вентиляцию

$$G_{v \max} = \frac{3,6 Q_{v \max}}{c (\tau_1 - \tau_2)}; \quad (7.2)$$

г) на горячее водоснабжение в *закрытых* системах теплоснабжения: средний при *параллельной* схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{hm} = \frac{3,6 Q_{hm}}{c (\tau'_1 - \tau'_3)}; \quad (7.3)$$

¹ В этих формулах тепловые нагрузки измеряются в Вт.

максимальный при *параллельной* схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{h \max} = \frac{3,6 Q_{h \max}}{c (\tau'_1 - \tau'_3)}; \quad (7.4)$$

средний при *двухступенчатых* схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{h m} = \frac{3,6 Q_{h m}}{c (\tau'_1 - \tau'_2)} \left(\frac{55 - t'}{55 - t_c} + 0,2 \right); \quad (7.5)$$

максимальный при *двухступенчатых* схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{h \max} = \frac{3,6 \cdot 0,55 Q_{h \max}}{c (\tau'_1 - \tau'_2)}, \quad (7.6)$$

где τ_1 – температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха t_0 , °С;

τ_2 – температура воды в обратном трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха t_0 , °С;

τ'_1 – температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети в точке излома графика температур воды, °С;

τ'_2 – температура воды в обратном трубопроводе тепловой сети после системы отопления зданий, °С;

τ'_3 – температура воды после параллельно включенного водоподогревателя горячего водоснабжения в точке излома графика температур воды; рекомендуется принимать $\tau'_3 = 30$ °С;

$G_{o \max}$, $G_{v \max}$ – максимальный расход воды на отопление и вентиляцию соответственно, кг/ч;

G_{hm} , $G_{h \max}$ – средний и максимальный расходы воды на горячее водоснабжение соответственно, кг/ч;

t' – температура воды после первой ступени подогрева при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей, °С; определяется в точке излома графика температур воды как $t' = \tau'_2 - \Delta t_n$, здесь $\Delta t_n = 10$ °С – величина *недогрева* водопроводной воды до температуры греющей воды в нижней ступени подогревателя;

t_c – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период; при отсутствии данных принимают равной 5 °С;

t_h – температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения потребителей, принимают равной 55 °С;

c – удельная теплоемкость воды; принимают равной 4,187 кДж/(кг·°С).

Суммарные расчетные расходы сетевой воды, кг/ч, в двухтрубных тепловых сетях в закрытых системах теплоснабжения при качественном регулировании отпуска теплоты определяют по формуле

$$G_d = G_{o \max} + G_{v \max} + k_3 G_{h m}, \quad (7.7)$$

где k_3 – коэффициент, учитывает долю среднего расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании по нагрузке *отопления*; принимают для закрытой системы теплоснабжения согласно таблице 7.1. При регулировании по *совмещенной* нагрузке отопления и горячего водоснабжения коэффициент $k_3 = 0$.

Таблица 7.1

Системы теплоснабжения	Значение коэффициента k_3
Закрытая с тепловым потоком, МВт:	
100 и более	1,0
менее 100	1,2

Примечание. Для закрытых систем теплоснабжения при регулировании по нагрузке отопления и тепловом потоке менее 100 МВт, при наличии баков-аккумуляторов у потребителей, коэффициент k_3 следует принимать равным единице.

Для потребителей при $Q_{h \max}/Q_{o \max} > 1,0$ и при отсутствии баков-аккумуляторов суммарный расчет расхода воды определяют по формуле

$$G_d = G_{o \max} + G_{v \max} + G_{h \max}. \quad (7.8)$$

Расчетный расход воды, кг/ч, в двухтрубных водяных тепловых сетях в неотапительный период определяют по формуле

$$G_d^s = \beta G_{h \max}, \quad (7.9)$$

где β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапительный период по отношению к отопительному периоду; при отсутствии данных для жилищно-коммунального сектора принимают равным 0,8, для предприятий – 1,0.

При этом максимальный расход воды на горячее водоснабжение, в кг/ч, определяют для закрытых систем теплоснабжения при всех схемах присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения по формуле (7.4).

Расход воды в обратном трубопроводе двухтрубных водяных тепловых сетей открытых систем теплоснабжения принимают в размере 10 % от расчетного расхода воды, определяемого по формуле (7.9).

В расчетно-пояснительной записке выполняют **пример расчета** для одного квартала, остальные результаты аналогичного расчета сводят в таблицу 7.2. Значение G_d переводят в кг/с.

Таблица 7.2 – Определение расчетных расходов сетевой воды, кг/ч

Квартал	$G_{\text{омах}}$	$G_{\text{vмах}}$	G_{hm}	$G_{\text{hмах}}$	k_3	G_d	$G_{d, \text{ кг/с}}$
А							
Б							
В							
Г							
Всего							

8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ

При движении теплоносителя по горизонтальным трубопроводам возникают потери давления вдоль трубопровода.

Основной задачей гидравлического расчета является определение диаметров трубопроводов и потерь давления на участках тепловой сети.

Наиболее распространен метод гидравлического расчета *по значениям удельных потерь давления* для разветвленных водяных тепловых сетей. При этом используются расчетные расходы теплоносителя G_d , кг/с, и таблицы со значениями удельных линейных потерь давления R , Па/м, согласно [7, с. 131, табл. 9.6].

Расчет выполняют для главной магистрали (участки 1...3) и для ответвлений (участки 4...7).

Расчет выполняют с последнего участка, двигаясь против движения теплоносителя. При этом диаметры трубопроводов уменьшаются (по возможности плавно) от источника теплоснабжения к потребителям. Минимальный условный диаметр для тепловых сетей принимается 32 мм.

В курсовом проекте выбирают диаметры трубопровода, при которых значения удельных потерь давления R , Па/м, составляют:

- вдоль *главной магистрали* от источника тепла до наиболее удаленного потребителя – до 80 Па/м ($R = 30...80$ Па/м);

- для остальных участков (*ответвлений*) – по располагаемому перепаду давления, но не более 300 Па/м.

Суммарное падение давления, Па, определяется по формуле

$$\Delta P = RL (1 + a_1). \quad (8.1)$$

Определяют невязку (расхождение) потерь давления на параллельно соединенных участках трубопровода ответвления и основной магистрали:

$$\Delta P_{\text{нев}} = (\Delta P_{\text{расп}} - \Delta P) / \Delta P_{\text{расп}}. \quad (8.2)$$

Невязка $\Delta P_{\text{нев}}$ между потерями давления в ответвлениях ΔP и располагаемым (фактически существующим) давлением $\Delta P_{\text{расп}}$ основной магистрали не должна превышать 10 %. Это запас, учитывающий дополнительную потерю давления вследствие отступления от проекта при монтаже системы.

Когда невозможно уравнивать потери давления в рассчитываемых магистралях за счет изменения диаметров трубопроводов, избыточное давление на абонентских вводах (тепловых пунктах) гасится диафрагмами или, в крайнем случае, дросселируется. Если на ответвлении от главной магистрали возникает недостаток давления, т.е. отрицательное значение невязки, на участке устанавливают подкачивающий насос.

В указанной последовательности рассчитывают все последующие участки трубопроводов ответвлений от главной магистрали.

В расчетно-пояснительной записке **расчет** выполняют для каждого участка тепловой сети, результаты заносят в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Определение диаметров трубопроводов

Уч-к	G_d кг/с	D_y мм	$d_{\text{вн}}$ мм	ω м/с	R Па/м	a_1	L м	ΔP Па			
1											
2									$\Delta P_{\text{расп}}$ Па	$R_{\text{расп}}$ Па/м	$\Delta P_{\text{нев}}$ %
3											
4											
5											
6											
7											

Обозначения в таблице 8.1:

G_d – суммарный расчетный расход сетевой воды, кг/с, на участке трубопровода;

D_y – условный проход трубопровода;

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубопровода, м;

ω – скорость теплоносителя на участке, м/с, $\omega = 4G_d / (\rho \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2)$, допустимое значение 0,5...1,5...3,5 м/с;

R – удельное линейное падение давления, Па/м;

a_1 – коэффициент, учитывающий долю падения давления в местных сопротивлениях по отношению к падению давлений на трение (таблица 8.2), для предварительных расчетов определяют по формуле Б.Л. Шифринсона:

$$a_1 = 0,019 \cdot (G_d)^{0,5};$$

L – длина трубопровода участка, м;

ΔP – суммарное падение давления на участке трубопровода, Па;

$\Delta P_{\text{расп}}$ – располагаемые потери давления на участке, Па;
 $R_{\text{расп}}$ – располагаемые удельные потери давления на участке, Па/м;
 $\Delta P_{\text{нев}}$ – невязка (расхождение) потерь давления на параллельно соединенных участках трубопровода ответвления и основной магистрали, %.

Таблица 8.2 – Коэффициент a_1

Тип компенсатора	Условный проход трубопровода, мм	Значение коэффициента a_1 для водяных сетей
Сальниковые	До 400	0,3
То же	450–1400	0,4
П-образные с гнутыми отводами	До 150	0,3
То же	175–200	0,4
<i>Примечание.</i> Для труб $D_y < 200$ мм принимают П-образные компенсаторы, для $D_y \geq 200$ мм – сальниковые компенсаторы.		

Типоразмер сетевых насосов определяется по производительности, $\text{м}^3/\text{ч}$, и напору, м.

Напор сетевых насосов, м, принимают равным сумме потерь напора в установках на источнике теплоты, в подающем и обратном трубопроводах от источника теплоты до наиболее удаленного потребителя теплоты и в теплоустановках потребителя (включая потери в тепловых пунктах и насосных) при суммарных расчетных расходах воды:

$$H = \Delta H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}} + \Delta H_{\text{аб}}, \quad (8.3)$$

где $\Delta H_{\text{ист}}$ – потери напора в водонагревательной установке источника теплоснабжения, рекомендуется принимать 25 м;

$\Delta H_{\text{пр}}$, $\Delta H_{\text{обр}}$ – потери напора в подающем и обратном трубопроводах от источника теплоты до наиболее удаленного потребителя теплоты. Принимаются по данным гидравлического расчета по потерям напора вдоль основной магистрали;

$\Delta H_{\text{аб}}$ – потери напора в теплоустановках потребителя, рекомендуется принимать 20 м.

Подачу (производительность), $\text{кг}/\text{ч}$, сетевых насосов для закрытых систем теплоснабжения в отопительный период определяют по суммарному расчетному расходу воды, определяемому по формуле (7.7). Полученное значение переводится в $\text{м}^3/\text{ч}$.

Количество сетевых насосов следует принимать не менее двух, один из которых является резервным.

На расчетную схему тепловой сети (лист 3 графической части) для каждого участка наносят его номер, значения условного прохода D_y , длины L , м, расхода теплоносителя G_d , $\text{кг}/\text{с}$, условное обозначение компенсаторов.

9 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Одной из основных задач теплового расчета является определение тепловых потерь через изолированную поверхность трубопроводов тепловой сети. В курсовом проекте рассматривается установка предварительно изолированных трубопроводов (далее – ПИ-труб) с теплоизоляционной конструкцией согласно СТБ 2252 (рисунок 9.1), уложенных в траншею бесканально (рисунок 9.2).

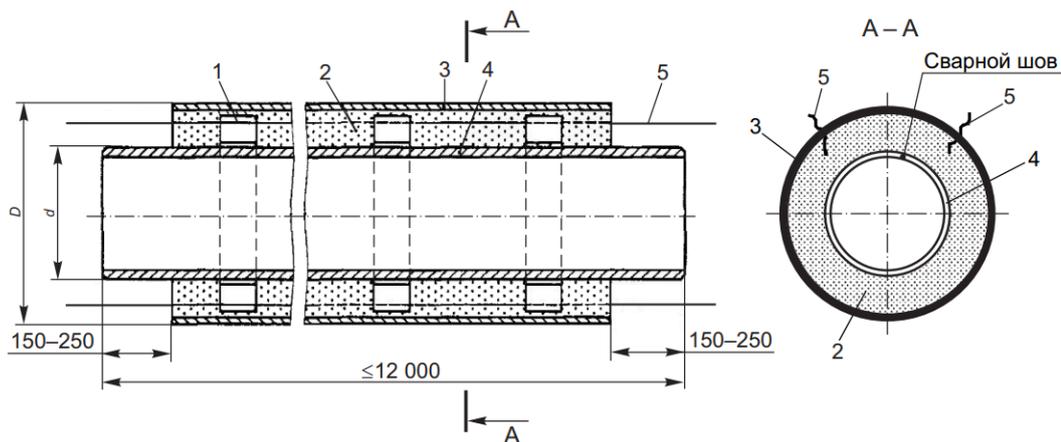


Рисунок 9.1 – Конструкция ПИ-трубы: 1 – центрирующая опора; 2 – пенополиуретановая термоизоляция; 3 – полиэтиленовая труба-оболочка; 4 – стальная труба; 5 – проводники системы оперативно дистанционного контроля (показаны условно)

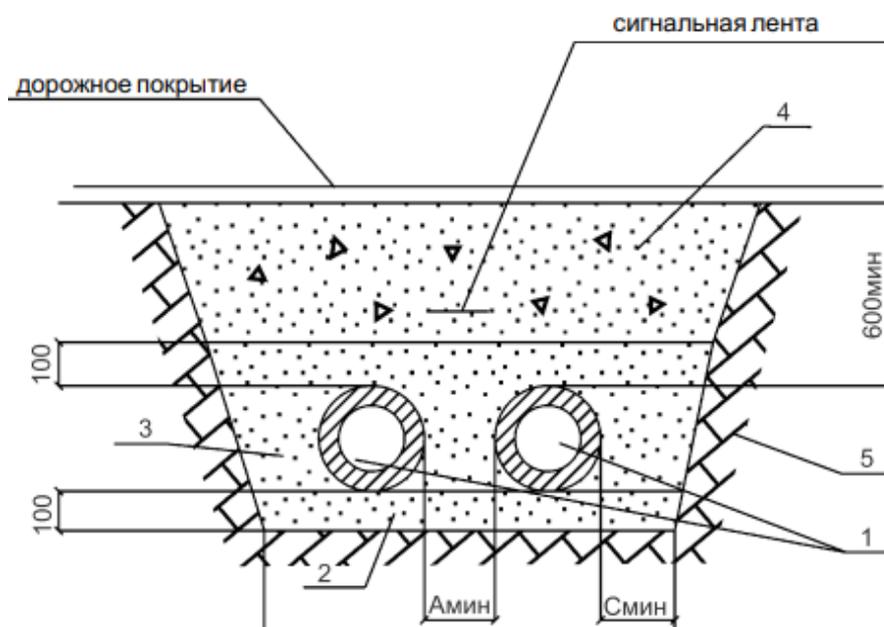


Рисунок 9.2 – Расположение труб в траншее: 1 – ПИ-труба; 2 – подсыпка песком; 3 – засыпка песком; 4 – засыпка грунтом; 5 – основной грунт; $A_{\text{мин}}$ – расстояние в свету между оболочками теплоизоляции труб

Типоразмеры ПИ-трубы выбираются из каталога продукции ООО «БЕЛЕВРОТРУБПЛАСТ» [8, таблицы 1.1.1 и 1.1.2].

Тепловые потери, Вт, по длине участка тепловой сети:

$$Q^{\text{ПИ}} = q_n \beta L K, \quad (9.1)$$

где q_n – суммарная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность подающего и обратного трубопровода, Вт/м;

β – коэффициент местных тепловых потерь участка тепловой сети, для ПИ-труб вне зависимости от способа прокладки $\beta = 1,00$;

L – длина участка тепловой сети по каналу подающего и обратного трубопровода, м;

K – коэффициент, учитывающий изменения теплотехнических характеристик теплоизоляционных конструкций с учетом их износа, срока и условий эксплуатации (отношение измеренных при испытаниях тепловых потерь к нормативным значениям).

Значение q_n , норму линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке ПИ-трубопроводами, определяется согласно [9, таблица Б.16]. При этом значение q_n подающего трубопровода определяется *методом линейной интерполяции* при расчетной температуре теплоносителя t_{1p} , которая принимается: для подающего трубопровода – по таблице 9.1, для обратных трубопроводов – 50 °С.

Таблица 9.1

Температурный режим водяных тепловых сетей, °С	95–70	110–70	120–70	130–70	140–70	150–70
Расчетная температура теплоносителя t_{1p} , °С	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90

Суммируя значения плотности теплового потока подающего трубопровода при расчетной температуре t_{1p} и обратного трубопровода при температуре теплоносителя 50 °С, определяется суммарное значение для двухтрубной прокладки $\sum q_n^{50/t_{1p}}$.

В пояснительной записке выполняется **пример расчета** для *расчетного* участка тепловой сети. Результаты теплового расчета всей тепловой сети с указанием геометрических параметров ПИ-труб сводят в таблицу 9.2.

Таблица 9.2 – Тепловой расчет трубопроводов

Уч-к	D_y	$d_{\text{тр}}$ мм	$D_{\text{об}}$ мм	$S_{\text{об}}$ мм	$d_{\text{из}}$ мм	h мм	$A_{1:2}$ мм	$A_{\text{мин}}$ мм
...								

Окончание таблицы 9.2

Уч-к	D_y	L м	q_n^{50} Вт/м	q_n^{90} Вт/м	$q_n^{t_{1p}}$ Вт/м	$\sum q_n^{50/t_{1p}}$ Вт/м	$\sum Q_{пот}$ кВт
...							

Обозначения в таблице 9.2: D_y – условный проход; $d_{тр}$ – наружный диаметр стальной трубы; $D_{об}$ – наружный диаметр ППУ трубы-оболочки; $S_{об}$ – толщина ПЭ трубы-оболочки; $d_{из}$ – наружный диаметр теплоизоляционного слоя ППУ, $d_{из} = D_{об} - 2S_{об}$; h – глубина залегания трубопроводов; $A_{1:2}$ – расстояние между осями трубопроводов; $A_{мин}$ – расстояние между оболочками ПИ-труб.

Конструкцию расчетного участка ПИ-труб и расположение их в траншее с нанесением основных размеров расчетного участка приводят в *графической части, лист 3*.

По результатам теплового расчета строится *сравнительная диаграмма* тепловых потерь через изолированную поверхность на участках трубопровода: на оси абсцисс откладывают номера участков с указанием условного прохода (D_y), по оси ординат – значение *нормативной плотности* теплового потока через изолированную поверхность и *суммарных тепловых потерь вдоль участка* тепловой сети. Диаграмму приводят в *графической части, лист 3*.

Список использованных источников

1. Методические указания по выполнению и оформлению дипломных проектов для студентов специальностей 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» 1-36 20 01 «Низкотемпературная техника» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» ; сост.: В. Л. Червинский, С. В. Климович, И. В. Янцевич. – Минск : БНТУ, 2024. – Деп. в БНТУ 22.11.2024, № ДЕРВНТУ-2024-225.
2. Изменение №1 СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.
3. СН 4.02.01-2019 Тепловые сети.
4. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Производство, транспорт и потребление тепловой энергии» для специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» ; сост.: И. В. Янцевич, С. В. Климович, А. Э. Шандроха-Янцевич. – Минск: БНТУ, 2023. <https://rep.bntu.by/handle/data/126395>
5. Производство, транспорт и потребление тепловой энергии : практикум для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» : в 4 ч. / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО "Энергосбережение и возобновляемые источники энергии" ; сост.: И. В. Янцевич, С. В. Климович. – Минск : БНТУ, 2012. – Ч. 1 : Тепловое потребление. – 25 с. <https://rep.bntu.by/handle/data/4373>
6. Производство, транспорт и потребление тепловой энергии: методические указания к курсовому проекту «Теплоснабжение жилого района» для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент»/И.В. Янцевич, С.В. Климович. – Минск: БГАТУ, 2011. – 55 с.
7. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию /И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
8. Каталог продукции. ООО «БЕЛЕВРОТРУБПЛАСТ», 2020.
9. ТКП 642-2019 Порядок расчета величины технологического расхода тепловой энергии на ее передачу в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации.