МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра теплофізики , молекулярної фізики та енергоефективності

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

## «Стратегія енергозбереження групи будівель при централізованому постачанні»

Виконав: студент 6 курсу, групи НФ-62
Цемох Д.О.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Прикладна фізика енергетичних систем
Керівник: к.т.н., доцент Алексахін О.О.
Рецензент:

Харків – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

ННІ Комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) «магістр»

Спеціальність 105 - Прикладна фізика та наноматеріали

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри**

**_____ Ольга ЛІСІНА**

"____" _____20___року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)**

Цемоха Дмитра Олеговича
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи: «Стратегія енергозбереження для групи будівель при централізованому теплопостачанні»

керівник роботи Алексахін Олександр Олексійович, доцент. к.т.н.
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від "30" вересня 2021 року № 0210-05/1959

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Перелік питань, які потрібно розробити

Обчислення складових сумарного опору теплопередачі для підземного прокладання трубопроводів системи теплопостачання мікрорайону. Оцінка втрат теплоти трубопроводами теплових мереж. Обчислення втрат тиску у теплопроводах мікрорайону

4. План роботи

| № з/п | Назви етапів роботи |
|---|---|
| 1 | Оцінка потенціалу енергозбереження при утепленні житлових будинків |
| 2 | Режими роботи системи опалення утепленої будівлі |
| 3 | Заходи з енергозбереження у житловому мікрорайоні |
| 3.1 | Загальна характеристика системи теплопостачання мікрорайону |
| 3.2 | Методика гідравлічного розрахунку теплових мереж |
| 3.3 | Обчислення втрат теплоти трубопроводами теплових мереж |
| 3.4 | Вплив ефективності утеплення будівель на тепловий стан розподільних теплових мереж мікрорайону |
| 3.5 | Корегування температурного зразка відпускання теплової енергії до утеплених будівель мікрорайону |
| 4 | Техніко-економічні показники етапів реформування системи теплопостачання |

5. Дата видачі завдання_____

**Студент** _____ **Дмитро ЦЕМОХ**

підпис ініціали, прізвище

**Керівник роботи** _____ **Олександр Алексахін**

підпис ініціали, прізвище

# Зміст

Вступ .....7

Розділ 1. Оцінка потенціалу енергозбереження при утепленні житлових будинків.....9

Розділ 2. Режими роботи системи опалення утепленої будівлі……....16

Розділ 3. Заходи з енергозбереження у житловому мікрорайоні……...22

3.1. Загальна характеристика системи теплопостачання мікрорайону…….....22

3.2. Методика гідравлічного розрахунку теплових мереж…….28

3.3. Обчислення втрат теплоти трубопроводами теплових мереж……..….33

3.4. Вплив ефективності утеплення будівель на тепловий стан розподільних теплових мереж мікрорайону……..…….64

Розділ 4. Техніко-економічні показники етапів реформування системи теплопостачання…….65

Висновки .....67

Список використаних джерел та літератури.....68

# Реферат

Цемох Дмитро Олегович «Стратегія енергозбереження групи будівель при централізованому постачанні» (випускна робота «магістр»). – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. – 68 с.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, п’яти висновків; містить 5 рисунків, 15 таблиць, список використаних джерел з 12 найменувань.

Проведено гідравлічний розрахунок трубопроводів існуючої системи теплопостачання житлового мікрорайону у м.Харків. Максимальні втрати тиску в мережі опалення становлять 104 082 Па, в мережі гарячого водопостачання 10 542 Па. За проектними даними для окремих будівель було обчислено теплові навантаження мікрорайону і витрати нагрівного теплоносія для теплопостачання мікрорайону. Обчислено втрати теплоти в мережі опалення, які дорівнюють 130,8 кВт, що менше ніж припустимі втрати за нормативами. Проведено обчислення втрати теплоти подавальним трубопроводом в мережі опалення при 1 та 2 варіантах утепленні будівель, що дорівнюють 73,14 кВт, а зворотнім становлять 67,4 кВт.

Отримані результати можуть бути використані для порівняння варіантів ефективності заходів з енергомодернізації мікрорайону, наприклад для переходу до двотрубної системи теплопостачання

*Ключові слова*: централізоване теплопостачання, система опалення, система гарячого водопостачання, теплові мережі, гідравлічний розрахунок теплопроводів, втрати тиску, втрати теплоти, пластинчасті теплообмінні апарати, теплові пункти.

# Abstract

Tsemokh Dmytro Olehovych "Thermal and hydraulic modes of thermal networks of a residential district in Kharkiv" (final work "master") - Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2021. –.

The work consists of an introduction, four sections, five conclusions; contains 5 figures, 15 tables, list of used sources from 12 names.

The hydraulic calculation of the pipelines of the existing heat supply system of the residential district in Kharkiv was carried out. The maximum pressure loss in the heating network is 104 082 Pa, in the hot water supply network 10 542 Pa. The heat losses in the heating network are calculated, which are equal to 130.8 kW, which is less than the allowable losses according to regulations. The calculation of heat loss by the supply pipeline in the heating network at 1 and 2 variants of insulation of buildings, equal to 73.14 kW, and the reverse is 67.4 kW.

The obtained results can be used to compare the options for the effectiveness of measures for energy modernization of the neighborhood, such as the transition to a two-pipe heating system.

*Key words*: centralized heat supply, heating system, hot water supply system, thermal networks, hydraulic calculation of heat pipelines, pressure losses, heat losses, plate heat exchangers, heat points.

# ВСТУП

Характерною особливістю теплопостачання великих міст України є утворена в них за декілька десятиліть система централізованого теплопостачання. Централізації вироблення і розподілу теплової енергії сприяла дія ряду факторів, серед яких у першу чергу відзначають краще використання палива, більші можливості з боротьби з забрудненням довкілля, зменшення експлуатаційних витрат. Використання комбінованого вироблення теплової і електричної енергії дозволяє забезпечити на ТЕЦ коефіцієнт використання палива на рівні 85%. Але спорудження потужних ТЕЦ економічно виправдане при наявності великих централізованих споживачів. Необхідність прокладання теплових мереж великої довжини помітно знижує ефективність ТЕЦ і розміри їх використання.

Незважаючи на відомі недоліки централізованих систем теплопостачання і посилення тенденції до децентралізації, існуюча система функціонуватиме ще тривалий час.

Розв’язанню багатьох енергетичних проблем у галузях господарського механізму допомагає проведення активної енергозберігаючої політики. Цей напрям обумовлений, у першу чергу, економічними факторами. Підраховано, що капітальні вкладення на заходи з економії палива і енергії у споживаючих галузях приблизно у 2-3 рази менше, ніж капітальні вкладення, необхідні для вироблення еквівалентної кількості енергії.

Для зниження енерговитратності теплопостачання необхідно провести реновацію генеруючого обладнання ТЕЦ, підвищення ККД котелень, зменшення втрат теплоти в теплових мережах. Важливим резервом підвищення ефективності теплопостачання є зниження втрат теплоти у споживачів.

Основною структурною одиницею забудови великих і середніх міст є мікрорайон. Причому, чітко прослідкується тенденція до збільшення загальних розмірів та всіх показників мікрорайонів. За роки становлення і розвитку систем

централізованого теплопостачання інженерна інфраструктура мікрорайону стала одним з підрозділів складної, розгалуженої системи. Мінімізація теплового споживання у мікрорайонах передбачає зниження рівня витрат теплоти системами опалення і гарячого водопостачання, а також втрат теплоти при транспортуванні. Енергозбереження у системах опалення можна забезпечити при реалізації заходів містобудівного характеру (для споруд, що будуються); підвищенням термічного опору огороджувальних конструкцій; зменшенням інфільтрації повітря; застосуванням систем опалення з періодичним режимом роботи. Зниження втрат теплоти в системах гарячого водопостачання можливе шляхом зменшення необґрунтованих втрат води, впровадженням високоефективної теплоізоляції магістралей і стояків; забезпеченням надійної циркуляції гарячої води всередині будівель. Покращити ситуацію з теплопостачанням допоможе обладнання елементів системи засобами автоматизації.

# 1. Оцінка потенціалу енергозбереження при утепленні житлових будинків

Проблема енергоефективності кожного житлового будинку, його утримання, капремонту і термомодернізації розглядається, в першу чергу, з тієї сторони, що будинок має забезпечувати утворення штучного середовища для життя та діяльності людей, так як природне середовище не відповідає вимогам усіх процесів життєдіяльності людей, їх соціальним та індивідуальним потребам. В багатьох кліматичних районах України параметри зовнішнього середовища не відповідають потрібним параметрам внутрішнього мікроклімату, за яких забезпечуються комфортні умови для існування людини. Зовнішні огородження будинку є насамперед бар'єром для утворення відокремленого об'єму зі штучним мікрокліматом. Такі огородження знаходяться на межі двох середовищ, тому в них безперебійно проходять такі процеси перенесення: теплоти, вологи і повітря. Ці процеси мають дійовий вплив на параметри мікроклімату в приміщенні. Протікання цих процесів буде мати місце завжди, доки існує різниця потенціалів по одну та іншу сторону огородження. Ось для прикладу, перенесення теплоти буде відбуватися, поки існує різниця температур зовнішнього і внутрішнього повітря. Такий тепловий потік направлений в сторону меншої температури, а його величина є прямо пропорційною перепаду температур. Якщо йде мова про енергозбереження, то повсякчас такий тепловий потік ми називаємо втратами теплоти. Важливо зрозуміти, що наявність цих втрат є неминучою, тому що неможливо перервати процес тепломасопереносу згідно з законами термодинаміки. Такі процеси можна регулювати лише за рахунок створення огороджень з більшим або меншим опором тепломасопереносу. Закони економіки вимагають вирішення такої проблеми, яке було б економічно виваженим і ефективним. Тому для створення таких огороджувальних конструкцій потрібно вирішення не тільки технічних питань, але й оцінка економічних можливостей, які необхідні для їх

здійснення: унаслідок збільшення опору виходить зростання економічних цитрат на їх забезпечення, але при цьому ж зменшуються експлуатаційні витрати та покращуються показники мікроклімату.

Тому, прийняття рішення поліпшення теплозахисних характеристик споруд в будинку та його термомодернізації - це абсолютна проблема техніка-економічної доцільності рішень, які мають прийматись співвласниками будинку.

Цикл виробництва та споживання теплової енергії при централізованому теплопостачанні включає в себе втрати при її виробленні, транспортуванні та його споживанні. За даними існуючими оцінками втрати теплоти при виробництві і транспортуванні складають 7-15%, а втрати у кінцевого споживача становлять 30-50% . У структурі теплоспоживання будівель витрата теплоти на компенсацію теплових втрат в системі опалення становить близько 80%. Через зовнішні стіни втрачається приблизно 40% теплоти, через скління 35% та інші види втрат 25%.

Для забезпечення сучасних теплотехнічних вимог [2] стосовно до огороджувальних конструкцій здебільшого функціонують будівель термічний опір конструктивних елементів повинно бути збільшено в порівнянні з діючими на момент їх спорудження нормами [3] від 1,5 до 3 разів залежно від виду огорожі. При існуючих технологіях будівництва будівель, виготовлення огороджувальних конструкцій та інженерних систем втрати теплоти через зовнішні стіни можна знизити в 2,5 рази, скління - 1,5 рази, інші - в 2 рази, що за даними [1] дозволить зменшити споживання теплоти будівельним сектором економіки більш, ніж на 20%. Спостерігаючи за оцінками період окупності витрат на утеплення житлових будинків при ціні $ 80 за тонну умовного палива досить великий (близько 11,7 років), пристрій додаткової теплоізоляції на існуючих будівельних конструкціях залишається основним заходом щодо зниження енерговитрат для знаходяться в експлуатації будівель. З ростом цін

на первинні енергоносії, в першу чергу на газ, термін окупності вже найближчим часом може скоротитися до 3-5 років.

Метою цієї роботи є аналіз впливу теплотехнічних характеристик зовнішніх огороджувальних конструкцій типових житлових будинків на рівень теплоспоживання.

У житлових будинках витрата теплоти на нагрів інфільтраційного повітря здійснюється, як правило, за допомогою опалювальних приладів. Витрати теплоти на систему опалення будівель записують у вигляді суми тепловтрат через огороджувальні конструкції і витрат теплоти на нагрів інфільтраційного повітря (Qв):

$$Q_o = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i} F_i \Delta t_i + Q_в \,, \qquad (1.1)$$

де R, F - опір теплопередачі і площа певного зовнішнього огородження, відповідно; Δt - різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря для приміщення, обмеженого розглядаються огорожею; і - номер огорожі.

Записуючи рівняння (1) для значень теплових витрат до ($Q_{o1}$) і після проведення заходів з енергозбереження ($Q_{o2}$) отримуємо вираз для величини зниження опалювального навантаження:

$$\frac{Q_{o1}-Q_{o2}}{Q_{o1}} = \frac{(Q_{в1}-Q_{в2})+\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{F_i}{R_i''}\Delta t_i''\right)-\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{F_i}{R_i'}\Delta t_i'\right)}{Q_{в1}+\sum_{i=1}^{n}\frac{F_i}{R_i'}\Delta t_i'}, \qquad (1.2)$$

де R_i ^ ', R_i ^' '- опір теплопередачі розглянутого огорожі до і після утеплення, відповідно; t_i ^ ', t_i ^' '- різниці температур повітря для розглянутих випадків.

Оскільки в структурі тепловтрат будівель тепловий потік через зовнішні стіни має максимальну величину, рівняння (1.2) зручно записати у вигляді:

$$\frac{Q_{o1}-Q_{o2}}{Q_{o1}} = \frac{\frac{Q_{в1}-Q_{в2}}{F_1}+\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{f_i}{R_i''}\Delta t_i''\right)-\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{f_i}{R_i'}\Delta t_i'\right)}{\frac{Q_{в1}}{F_1}+\sum\frac{f_i}{R_i'}\Delta t_i'}, \quad (1.3)$$

Величину f_i = F_i / F_1 (F1 - площа зовнішніх стін будівлі) можна розглядати як безрозмірну конструктивну характеристику будівлі. Часто для оцінки якісного рівня об'ємно-планувальних рішень використовують величину відносини загальної площі поверхні зовнішніх огороджувальних конструкцій до опалювального об'єму будівлі.

При розрахунках за формулою (1.3) до уваги прийняті теплові потоки через зовнішні стіни, вікна, горищні перекриття і п ерекритія над технічним підпіллям. Значення температури внутрішнього повітря для початкового варіанту прийняті по [4], для розрахунку тепловтрат після утеплення - по [5]. Термічний опір огороджувальних будконструкцій прийняті по [2] і [3]. Температура повітря в технічному підпіллі обчислена за запропонованою в [6] формулою:

$$t_п = \frac{17{,}5F_{пер}+\left(\sum\frac{F_{п.пі}}{R_{пі}}+1{,}08\frac{F_{н.п.}}{R_н}+0{,}278\cdot c\cdot G\right)t_{НБ}+К_Т(1-\eta)\left(F_п t_п+F_о t_о+F_{г.в.}t_{г.в.}+F_{тр}t_{тр}\right)}{\sum\frac{F_{п.пі}}{R_{пі}}+1{,}08\frac{F_{н.п.}}{R_н}+0{,}278\cdot c\cdot G+К_Т(1-\eta)\left(F_п+F_о+F_{г.в.}+F_{тр}\right)}$$

(1.4)

де 17,5 - допустиме значення питомої теплового потоку через перекриття над підпіллям, Вт / м2; Fпер - площа перекриття над підпіллям, м2; Fп.пі - площа і-ї умовної зони статі техпідпілля з включенням площі стін, заглиблених в землю, м2; Rпі - опір теплопередачі і-й умовної зони статі підпілля; 1,08 - коефіцієнт, що враховує надбавку на орієнтацію по сторонах світу; Fн.п. - площа зовнішньої стіни техпідпілля, що знаходиться вище рівня землі, м2; Rн - опір теплопередачі зовнішньої стіни техпідпілля; G - масова витрата зовнішнього повітря, відповідний розрахунковому повітрообміну в техпідпіллі, кг / год; с - питома теплоємність повітря, кДж / кг · К; Кт - коефіцієнт теплопередачі неізольованих труб; η - коефіцієнт ефективності

теплоізоляції труб; $F_п$, $F_о$, $F_{г.в.}$, $F_{тр}$ р - загальна поверхня неізольованих трубопроводів відповідно в подавальних і зворотних лініях опалення, гарячого водопостачання та транзитних лініях; $t_п$, $t_о$, $t_{г.в.}$, $t_{тр}$ - температура води відповідно в подавальних і зворотних лініях опалення, гарячого водопостачання та транзитних лініях; $t_{НБ}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для системи опалення.

Для обчислень за формулою (3) прийнято, що транзитні трубопроводи в техпідпілля відсутні (Fтр = 0), а система гарячого водопостачання включає подаючий трубопровід (температура води дорівнює 55 ° С) і циркуляційний трубопровід (температура води прийнята 46,5 ° С). Температура повітря на горищі становить величину 5 ° С. У розрахунках прийнято $К_т$=14,6 Вт/м$^2$К; η=0,6; $R_{п1}$=2,15 м$^2$К/Вт; $R_{п2}$=4,3; $R_{п3}$=8,6; $R_{п4}$=14,2.

При визначенні температури повітря в технічному підпіллі утепленого будинку величина питомого теплового потоку через підвальне перекриття скоригована з урахуванням збільшення його термічного опору.

Значного зниження теплоспоживання будівель можна домогтися вдосконаленням систем вентиляції, оскільки витрата теплоти на підігрів вентиляційного повітря в сучасній квартирі можна порівняти з втратами теплоти через зовнішні огородження. За даними [1] потенціал теплозбереження при використанні природно-механічної вентиляції коливається в межах 10-15% (з утилізацією теплоти близько 20-25%) від загальних витрат теплоти на нагрівання повітря.

Характеристики розглянутих типових житлових будинків наведені в таблиці. Там же подано результати розрахунків зниження витрат теплоти за формулою (1.2). Для випадку виконання комплексу енергозберігаючих заходів, що включає збільшення термічного опору зовнішніх огороджень до рівня сучасних вимог [2] і зниження витрат теплоти системою вентиляції прийнята в розрахунках 20%. Можливе зниження теплоспоживання для

розглянутих типів будівель при цьому становить 35-41%. Однак, оскільки вартість систем вентиляції з утилізацією теплоти в сучасних умов висока для їх використання в масовому будівництві, більший інтерес представляє варіант зниження витрат теплоти будівлею за рахунок додаткового утеплення будівельних конструкцій будівлі, що дозволяє знизити тепловтрати через огородження при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря приблизно на 24-33% в залежності від типу будинку. При середній за опалювальний період температури зовнішнього повітря зменшення необхідної для підтримки температури внутрішнього повітря теплоти становить 19-23%, що узгоджується з наведеними в [1] даними.

Зіставлення результатів розрахунків для різних типів житлових будинків в залежності від конструктивних характеристик будівель виконано на малюнку. Як видно з графіка, має місце практично лінійна залежність рівня зниження витрати споживаної теплоти від величини відносини загальної площі зовнішніх огороджувальних конструкцій до опалювального об'єму будівель.

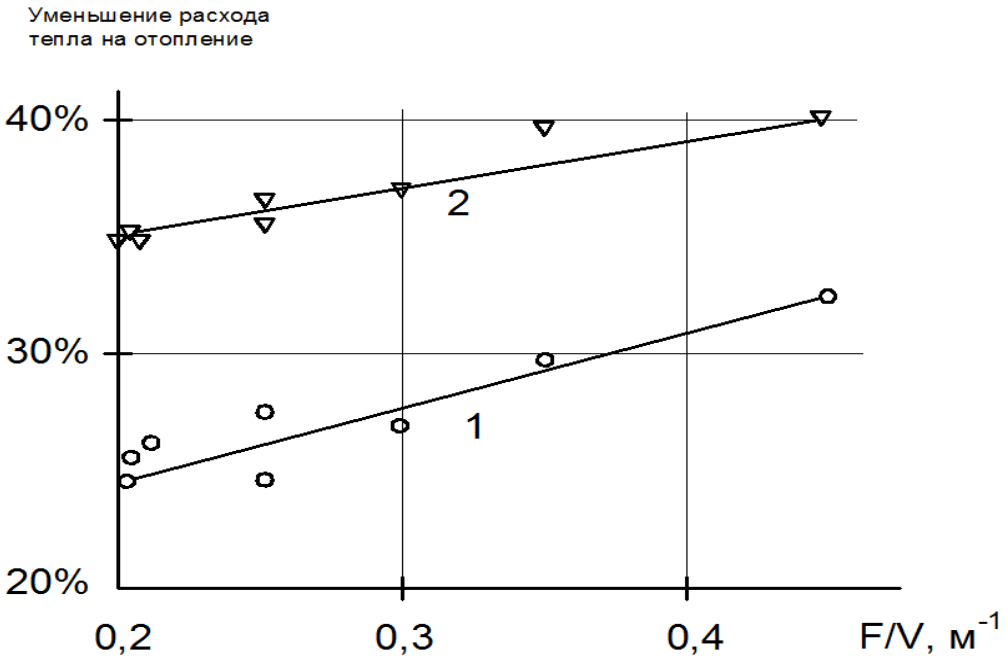



Рис. 1.1 - Порівняння ефективності утеплення будівель:

1 - при додатковому утепленні зовнішніх огороджень

2 - при утепленні огорож та енергозбереженні в системі вентиляції

| Тип будівлі | I-464А-15 | I-447С-42 | II-57 (3 секции) | II-57 (4 секции) | II-57 (6 секции) | 176-Т-8-1 | III-162 2 п/1 | 3с-16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Кількість поверхів | 5 | 9 | 9 | 9 | 9 | 12 | 16 | 16 |
| Житлова площа, м2 | 4347 | 2492 | 6605 | 8806 | 13210 | 4184,8 | 5045,8 | 6163,1 |
| Площа зовнішніх стін (без урахування скління), м2 | 2263,3 | 2467,26 | 2784 | 3544 | 5063 | 3355,1 | 3483,1 | 3854 |
| Загальна площа вікон, м2 | 565,8 | 505,24 | 817,1 | 1090 | 1634,2 | 546,2 | 663,5 | 641 |
| Загальна площа зовнішніх огороджень конструкцій F, м2 | 2829,1 | 2972,5 | 3601,1 | 4634 | 6697,2 | 3901,3 | 4146,6 | 4495 |
| Об’єм V, м3 | 11302 | 6728 | 16802 | 22402 | 33604 | 11290 | 13624 | 18226 |
| Зменшення розрахункової опалювальної навантаження $(Q_{01}- Q_{01})/ Q_{01}$, % | 23,8 | 32,9 | 26,4 | 26 | 25,3 | 29,7 | 27,3 | 27,9 |
| Зменшення розрахункової опалювальної навантаження при виконанні комплексу заходів з енергозбереження (включаючи систему вентиляції),% | 34,8 | 40,9 | 36,3 | 35,9 | 35,3 | 39,1 | 37,3 | 37,6 |

**Таблиця**.1 - Конструктивні характеристики будинків

# 2. Режими роботи системи опалення утепленої будівлі

Для функціонуючої будівлі зменшення подачі теплоти на опалення після проведення заходів з енергозбереження можна здійснити або реконструкцією системи опалення з метою зменшення площі теплопередачі опалювальних приладів, або зниженням температури теплоносія в опалювальних приладах, що у більшості випадків є більш доцільним. При якісному регулюванні відпускання теплоти на опалення другий спосіб може бути реалізованим при переході на новий, понижений температурний графік теплових мереж. При утепленні всіх будівель забудови, що обслуговується джерелом централізованого теплопостачання, перехід на новий температурний графік можна здійснити на джерелі теплової енергії. При утепленні окремої будівлі у житловій групі корегування температури теплоносія на вході до системи опалення можна виконати на індивідуальному тепловому пункті, якими обладнано всі будівлі. Залежно від реалізованої схеми приєднання системи опалення споруди до розподільних теплових мереж це може бути або зміна коефіцієнта змішування водоструминного елеватора чи насоса при залежному приєднанні системи опалення, або корегування режимів роботи опалювального теплообмінника при незалежному приєднанні системи. Зменшення температури мережної води на вході до опалювальних приладів обумовлює відповідне зниження температури води на виході з системи опалення і зміну теплового стану розподільних теплових мереж.

Ефективність застосування енергозберігаючих заходів оцінено величиною відношення витрат теплоти на опалення утепленої будівлі $Q_{\text{о.р.н.}}$ до витрат теплоти для опалення будівлі до її утеплення $Q_{\text{о.р.}}$ Значення теплових навантажень прийнято при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря для даної місцевості:

$$\mu = \frac{Q_{\text{о.р.н.}}}{Q_{\text{о.р.}}}. \qquad (2.1)$$

Визначення показників роботи опалювального комплексу будівлі після утеплення здійснено при умові, що систему опалення приєднано за незалежною схемою, за допомогою теплообмінного апарату (рис.2.1); температура теплоносія на вході до системи опалення утепленої будівлі така сама як на вводі системи опалення будівлі до її утеплення і визначається температурним графіком теплової мережі та охолодженням теплоносія при його транспортуванні територією мікрорайону. Гідравлічний режим системи опалення будівлі до утеплення й після прийнято однаковим.

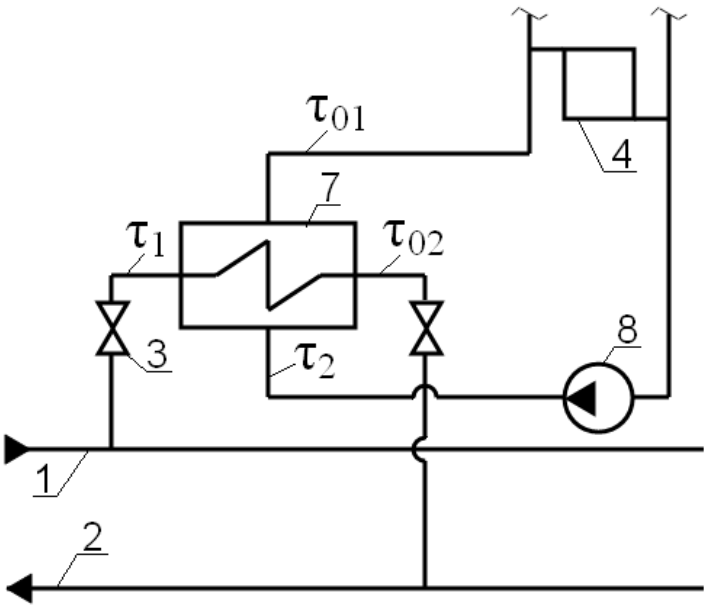



Рис. 2.1. – Незалежне приєднання систем опалення до теплових мереж:

1, 2 – подавальний й зворотний трубопроводи теплової мережі; 3 – засувка; 4 – опалювальний прилад;7 – теплообмінний апарат; 8 – циркуляційний насос;

Для визначення температури теплоносія в опалювальних приладах утепленої будівлі використані рівняння теплопередачі (2.2) і рівняння теплового балансу (2.3) для опалювального приладу:

$$Q_0 = K_0 \cdot \Delta t_{\text{пр}} \cdot F_0, \tag{2.2}$$

$$Q_0 = \text{G} \cdot C(\tau_3 - \tau_2), \tag{2.3}$$

де $Q_{\text{о}}$ – тепловийпотік, що передається від теплоносія до повітря у приміщенні; $\Delta t_{\text{пр}} = 0{,}5(\tau_3 + \tau_2) - t_{\text{вн}}$ –різниця середньої температури теплоносія в опалювальному приладі і внутрішнього повітря ($t_{\text{вн}}$);$\tau_3$, $\tau_2$– температуратеплоносія навходійвиходіопалювального приладу відповідно; $F_{\text{о}}$– площа поверхні теплообміну опалювального приладу.

Коефіцієнт теплопередачі опалювального приладу можна визначити зі співвідношення

$$K_{\text{о}} = m(\Delta t_{\text{пр}})^{n_1} \cdot \bar{G}^{n_2}, \tag{2.4}$$

де $m$ –постійний множник, який залежить від конструктивних характеристик опалювальних приладів; $\bar{G}$–відносні витрати теплоносія через опалювальний прилад.

Показники ступеня $n_1$ і $n_2$ для конкретного типу опалювального приладу є величинами сталими. Враховуючи незначний вплив витрат води в опалювальному приладі на інтенсивність процесу теплопередачі (про що

свідчить величина показника ступеню $n_2$, яка для більшості типів опалювальних приладів коливається в інтервалі $0{,}03<n_2<0{,}1$ [20]),у подальших обчисленнях прийнято $n_1 = 0{,}2$; $n_2 = 0$.

Теплову продуктивність опалювального приладу після утеплення будівлі можливо записати наступним чином:

$$Q_{\text{о,н}} = \mu \cdot Q_{\text{о}} = K_{\text{о.н}} = m(\Delta t_{\text{пр.н}})^{n_1} = G_{\text{н}} \cdot C(\tau_{\text{з.н}} - \tau_{\text{2.н}}). \qquad (2.5)$$

Індекс «н» у наведених позначеннях характеризує «нові» умови теплопередачі утепленої будівлі.

Після перетворень з урахуванням співвідношень (2.2) - (2.4) отримуємо рівняння для температури мережної води на вході й виході опалювального приладу залежно від величини коефіцієнта ефективності утеплення будівлі $\mu$ і температур теплоносія в опалювальному приладі для режиму до утеплення будівлі:

$$\tau_{\text{з.н}} = [0{,}5(\tau_3 + \tau_2) - t_{\text{вн}}] \cdot \mu^{0{,}8} + 0{,}5\mu(\tau_3 - \tau_2) + t_{\text{вн}},$$

$$\tau_{\text{2.н}} = \tau_{\text{з.н}} - \mu(\tau_3 - \tau_2). \qquad (2.6)$$

Температуру мережної води при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для неутепленої будівлі прийнято $\tau_3^p$ = 95 ℃ (на вході до опалювального приладу) і $\tau_2^p$ = 70 ℃ (на виході з опалювального приладу).

Витрати води з мікрорайонної мережі для опалення утепленої будівлі визначаємо за допомогою рівняння теплового балансу (2.7) теплообмінного апарату незалежної схеми приєднання системи опалення будівлі. Тепловий баланс було записано для розрахункової температури зовнішнього повітря, яка є рекомендованою при розрахунках опалювальних теплообмінників , у припущенні, що температура нагрівної мережної води на виході з теплообмінника перевищує температуру мережної води у зворотному трубопроводі системи опалення на величину $\Delta\tau_2$. Дане рівняння теплового балансу має вигляд:

$$G_0 \cdot C[\tau^{\text{р}}_{\text{сн}} - (\tau^{\text{р}}_{2\text{н}} + \Delta\tau)] = G_{0\text{н}} \cdot C(\tau^{\text{р}}_{3\text{н}} - \tau^{\text{р}}_{2\text{н}}), \qquad (2.7)$$

де $G_{0\text{н}}$– витрати води через систему опалення утепленоїбудівлі; $G_0$– витрати води з теплової мережі; $\tau^{\text{р}}_{\text{сн}}$– температура водиу подавальному трубопроводімережі на вводідо будівлі, $\tau^{\text{р}}_{3\text{н}}, \tau^{\text{р}}_{2\text{н}}$ –температура води на вході й виході опалювального приладу утепленої будівлі з урахуванням розрахункової температури зовнішнього повітря.

Маємо припущення, що гідравлічний режим системи опалення будівлі при підвищенні опору теплопередачі огороджувальних конструкцій не змінюється, тоді можна записати співвідношення :

$$G_0 = Q_{0\text{р}}/[C(\tau^{\text{р}}_3 - \tau^{\text{р}}_2)] = G_{0\text{н}} = \mu Q_{0\text{р}}/[C(\tau^{\text{р}}_{3\text{н}} - \tau^{\text{р}}_{2\text{н}})], \qquad (2.8)$$

У підсумку отримуємо формулу для обчислення коефіцієнта, де враховується зміна витрат води із зовнішніх теплових мереж при утепленої будівлі для опалення:

$$\beta = G_{\text{с}}(\mu)/G_{\text{с}}(\mu = 1) = \mu[\tau^{\text{р}}_{1\text{с}} - (\tau^{\text{р}}_2 + \Delta\tau)]/[\tau^{\text{р}}_{1,\text{сн}} - (\tau^{\text{р}}_{2\text{н}} + \Delta\tau)], \quad (2.9)$$

де $\tau_{1c}^{p}$ –температура мережної води при розрахунковій температурі зовнішнього повітря на вводідо системи опалення будівлі до її утеплення; $\tau_{1,сн}^{p}$ – те ж саме після утеплення.

Результати обчислень температури мережної води для опалення будівель залежно від відносного опалювального навантаження наведено на рис. 2.2.

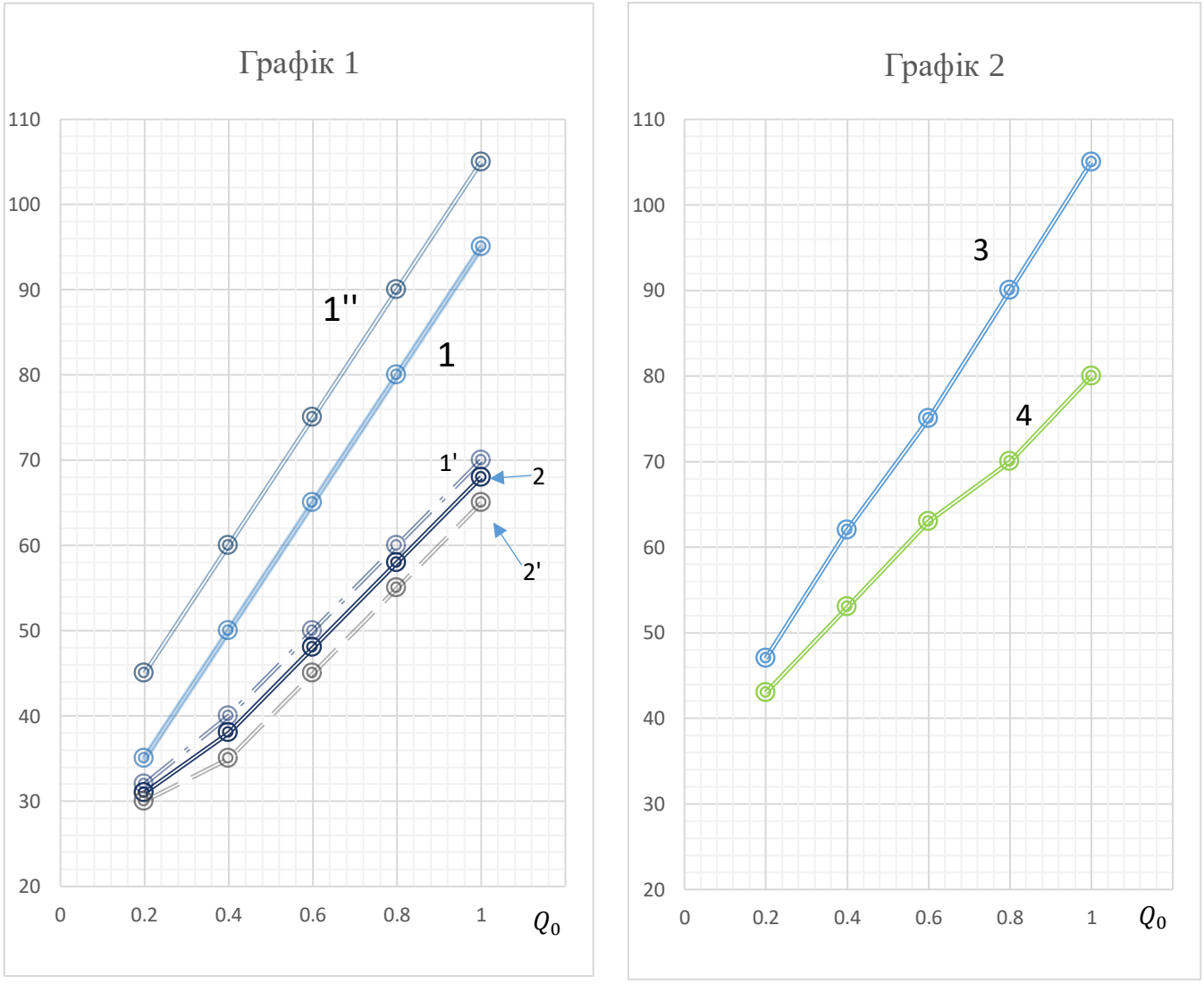



Рис 2.2. Графік зміни температури мережної води

# 3. Заходи з енергозбереження у житловому мікрорайоні

Впровадження та реалізованість потенціалу енергозбереження є покращенням адміністративних та економічних механізмів, які мають сприяти вдосконаленню енергоефективності та енергозбереження.

Основні заходи з енергозбереження наведені у наступній таблиці 3.1:

**Таблиця.3.1. Заходи енергозбереження у житловому мікрорайоні**

| № п/п | Характеристика заходу | Очікуваний результат |
|---|---|---|
| 1 | Встановлення приладів обліку споживанні теплової енергії у будівлях мікрорайону | Зменшення непродуктивних витрат теплоти (у першу чергу гарячого водопостачання) |
| 2 | «Утеплення» будівель | Зменшення витрат теплоти на опалення ( орієнтовно на 30 – 40% ) |
| 3 | Перехід на зменшений температурний графік теплопостачання будівель | Зменшення втрат теплоти у теплових мережах опалення |
| 4 | Перехід від чотиритрубної схеми теплопостачання до двотрубної;<br>Встановлення індивідуальних теплових пунктів у будівлях. | - Зменшення втрат теплоти у теплових мережах<br>- Зменшення витрат теплоти для теплозабезпечення за рахунок впровадження сучасних засобів автоматизації теплових процесів ( 10 – 17%) |

## 3.1. Загальна характеристика системи теплопостачання мікрорайону

Схема теплових мереж мікрорайону показано на рис.3.1. Система теплопостачання мікрорайону утворена тритрубною мережею (подавальний і зворотний трубопроводи опалення і подавальний трубопровід системи

гарячого водопостачання. Теплопроводи прокладено у непрохідних каналах.

Теплові навантаження будівель і діаметри трубопроводів прийнято за проектом мікрорайону.

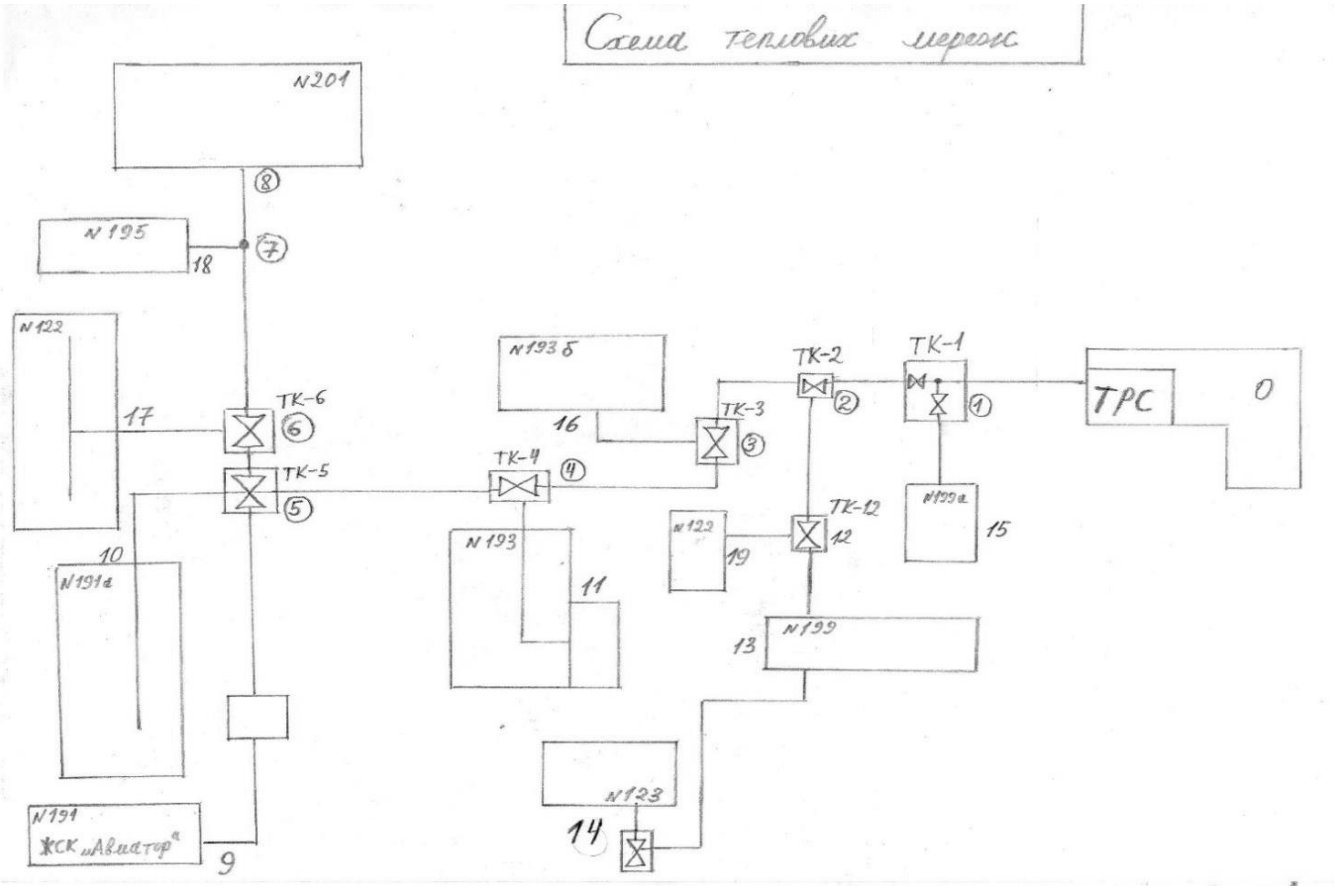



Рис. 3.1 - Схема теплопостачання житлового мікрорайону

Максимальні витрати теплоти для опалення і гарячого водопостачання будівель мікрорайону подано у табл. 3.2.

На рис. 3.2. наведено Номограму для розрахунку металевих трубопроводів для водяних теплових мереж.

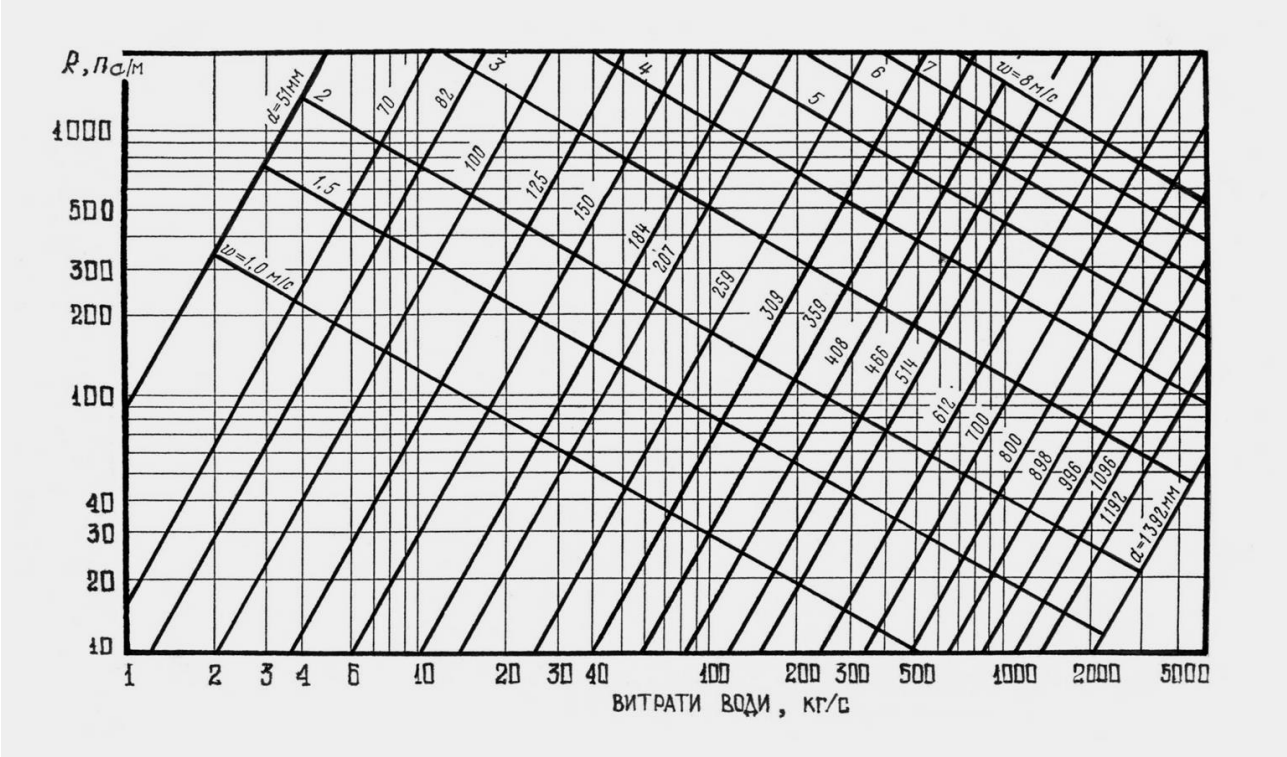



Рис. 3.2. – Номограма для розрахунку водяних теплопроводів ( $K_e = 0{,}5$ мм)

При гідравлічних розрахунках водяних мереж питомі втрати тиску для ділянок магістральної траси від джерела теплоти до найвіддаленішого споживача становлять до 80 Рух / м, для відгалужень від магістралі – не більш 300 Па / м . Втрати тиску в місцевих опорах можна визначити за формулою (1.8), використовуючи значення коефіцієнтів автохтонних опорів, або за формулою (1. 9), використовуючи величину еквівалентної довжини $(l_e)$ замість певних місцевих опорів. Властивість рівносильної довжини заради деяких варіантів місцевоопорних протидій приведені в додатках.

$$\Delta P_M = \Sigma \xi_м \frac{\rho W}{2}, \qquad (1.8)$$

де $\Sigma \xi_м$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці

$$\Delta P_м = Rl_e. \quad (1.9)$$

За відсутністю даних про види і кількість місцевих опорів на трубопроводі еквівалентну довжину визначають тоді приблизно за формулою

$$l_e = \alpha l, \quad (1.11)$$

де $\alpha$ - коефіцієнт, що враховує частину падіння тиску в місцевих опорах відносно падіння тиску через їх тертя (табл. 3.27).

На ділянках теплотраси місцеві опори можна врахувати, обчисливши величину $\alpha$ залежно від витрати води за формулою:

$$\alpha = 0{,}019\sqrt{G}, \quad (1.12)$$

Таблиця 3.2– Коефіцієнт $\alpha$ для визначення сумарної еквівалентної довжини місцевих опорів

| Типи конденсаторів | Умовний прохід труб $Д_у$, мм | *К*оефіцієнт $\alpha$ | |
|---|---|---|---|
| | | Для паропроводів | Для водяних теплових мереж і конденсатопроводів |
| Транзитні магістралі | | | |
| Сальникові | До 1000 | 0,2 | 0,2 |
| П – подібні з гнутими відводами | 300 | 0,5 | 0,3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| П – подібні з зварними відводами | 200-300 | 0,7 | 0,5 |
| | 400-500 | 0,9 | 0,7 |
| Розгалужені теплові мережі | | | |
| Сальникові | До 400 | 0,4 | 0,3 |
| | 450-1000 | 0,5 | 0,4 |
| П – подібні з гнутими відводами | До 150 | 0,5 | 0,3 |
| | 175-200 | 0,6 | 0,4 |
| | 250-300 | 0,8 | 0,6 |
| П – подібні з зварними відводами | 175-200 | 0,8 | 0,6 |
| | 300-350 | 1 | 0,8 |
| | 400-500 | 1 | 0,9 |
| | 600-1000 | 1,2 | 1 |

Потужність насосів, яка необхідна для пересування води в теплових мережах, і витрати електроенергії для роботи насосів визначають за формулами:

$$N = \frac{GHg}{1000\eta_н}, \text{ кВт}; \tag{1.13}$$

$$N_e = N \times T, \text{ кВт} \times \text{год}, \tag{1.14}$$

де $G$ - витрати води, кг/с; $H$ - потрібний напір води на виході з насоса, м. вод.ст.; $\eta_н$ - ККД насоса; $T$ - тривалість роботи насоса, год.

Мікрорайонні мережі мають низку спільних рис з централізованим теплопостачанням: розташування основного теплового пункту в центрі

теплових навантажень, яке гарантує найменьшу довжину теплопроводів; важлива багатопрофільність (наявність мережі відгалужень через генеральні гілки) підкладка трубопроводів виконана переважно в непрохідних каналах і за технологічними підпіллями будівель. Забезпечення теплом будівель розглянутих об'єктів виконується за допомогою чотиритрубної схеми (два трубопроводи для опалення, а інші два – для системи гарячого водопостачання)

**Таблиця 3.3. – Теплові навантаження будівель мікрорайону**

| Номер будівлі за планом | Теплові навантаження , Гкал/год | |
|---|---|---|
| | Опалення $Q_{от}$ | Гаряче водопостачання $Q_{гв}$ |
| 8 | 0.17 | - |
| 9 | 0.284 | 0.241 |
| 10 | 0.253 | 0.193 |
| 11 | 0.18 | 0.199 |
| 13 | 0.32 | 0.191 |
| 14 | 0.218 | - |
| 15 | 0.32 | 0.152 |
| 16 | 0.174 | 0.020 |
| 17 | 0.63 | 0.390 |
| 18 | 0.16 | 0.228 |
| 19 | 0.218 | - |

Для визначення діаметрів трубопроводів і витрат тиску в тепловій мережі виконують її гідравлічний розрахунок, для цього на схемі магістральні лінію розбивають на ділянки і відокремлюють гілки, нумерують ділянки в на визначають протяжність кожної ділянки. За розрахункову ділянку приймають

фрагмент мережі з незмінними витратами речовини.

Довжина кожної ділянки ℓ визначаємо на нашому плані допомогою вимірювання її по самій схемі з урахуванням масштабу. Усі дані гідравлічного розрахунку теплової мережі зводять до таблиці.

## 3.2. Методика гідравлічного розрахунку теплових мереж

Обчислення виконують у такій послідовності:

1) Беруть обчислюють теплові навантаження ділянок ($Q_{\text{уч}}$).

$$Q_{\text{уч}} = Q_{\text{гв}} * 1{,}16 \qquad (2.1)$$

2) визначають витрати теплоносія на ділянці за формулою:

$$G_{\text{уч}} = \frac{Q_{\text{уч}}}{C*\Delta t} \qquad (2.2)$$

де С = 4187 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}*\text{с}}$ – питома теплоємкість теплоносія , $\Delta t = t_1 - t_2 = 95 - 70 = 25℃$ - різниця температур у подавальному і зворотному трубопроводах теплової мереж .

3) Питомі втрати тиску визначили за номограмою для гідравлічного розрахунку (рис.1.6) за величинами обчислених витрат мережної води і прийнятих за даними проекту значень діаметрів теплопроводів на ділянках мережі.

4) Втрати тиску на ділянці обчислили за формулою:

$$H = R * l_{\text{уч}} * (1 + K_{\text{м}}) \qquad (2.3)$$

де $l_{\text{уч}}$ – довжина ділянки; $K_l$ – коефіцієнт, що враховує втрати тиску в місцевих опорах ( $K_l$ = 0.2 - для подавальних і розподільчих трубопроводів)

**Таблиця 3.4. Результати гідравлічного розрахунку трубопроводу опалення**

| № уч | *Довжина* $l$ *(м)* | *Діаметр* $d$*(мм)* | *Теплове навантаження* $Q$ уч *(МВт)* | *Витрати теплоносія* $G$ уч*(кг/с)* | *Втрати тиску* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | *R, (Па/м)* | *На ділянці* |
| 0-1 | 12 | 159 | 2,93 | 27,9 | 240 | 3456 |
| 1-2 | 45 | 159 | 2,61 | 24,8 | 180 | 9720 |
| 2-3 | 39 | 108 | 1,86 | 17,7 | 600 | 28080 |
| 3-4 | 96 | 159 | 1,68 | 15,3 | 70 | 7812 |
| 4-5 | 40 | 159 | 1,5 | 14,3 | 60 | 2881 |
| 5-6 | 20 | 159 | 0,96 | 9,18 | 30 | 720 |
| 6-7 | 65 | 108 | 0,33 | 3,15 | 25 | 1950 |
| 7-8 | 10 | 108 | 0,17 | 1,58 | 5 | 60 |
| 1-15 | 28 | 108 | 0,32 | 3,06 | 20 | 672 |
| 2-12 | 120 | 108 | 0,76 | 7,26 | 120 | 17280 |
| 12-13 | 82 | 108 | 0,54 | 5,16 | 60 | 5904 |
| 13-14 | 73 | 89 | 0,218 | 2,08 | 30 | 2628 |
| 3-16 | 22 | 57 | 0,174 | 1,67 | 210 | 5544 |
| 4-11 | 13 | 89 | 0,18 | 1,72 | 20 | 312 |
| 5-9 | 133 | 108 | 0,29 | 5,15 | 60 | 9576 |
| 5-10 | 33 | 108 | 0,253 | 2,42 | 13 | 515 |
| 6-17 | 60 | 108 | 0,63 | 6,01 | 90 | 6480 |
| 7-18 | 10 | 108 | 0,20 | 1,53 | 5 | 60 |
| 12-19 | 24 | 108 | 0,25 | 2,43 | 15 | 432 |

## 3.3. Обчислення теплових втрат трубопроводами теплових мереж

Теплові втрати трубопроводами мережі теплопостачання мікрорайону визначено при умові, що лінійні втрати теплоти в оточуюче середовище знаходяться на рівні нормативних значень. Витрати теплоти трубопроводами можемо визначати за допомогою використання достатньо невеликої розрахункової методики. За температуру оточуючого середовища було прийнято температуру грунту на глибині вісі теплопроводів (5℃). Втрати теплоти через конструктивні елементи теплової мережі враховано коефіцієнтом 1.15. Для таких умов теплові втрати на ділянці трубопроводу можна обчислити за формулою:

$$Q_{уч} = q_н * \left(\frac{t_1 - t_{окр}}{\Delta t_н}\right) * l_д * k_1, \quad (3.24)$$

де $q_д$ - питомі (лінійні) втрати теплоти на ділянці, Вт/м; $t_1$ – температура на вході ділянки; $t_{окр}$ – температура навколишнього середовища; $l_д$ – довжина ділянки; $k_1$- коефіцієнт для обліку теплових втрат через конструктивні елементи теплової мережі; $\Delta t_н$ – різниця температур теплоносія і оточуючого середовища, для яких визначено величину нормативних втрат.

Витрати теплоносія на ділянках мережі прийнято за результатами гідравлічного розрахунку теплових мереж (табл2.2, 2.3). Температуру середовища на виході кожної ділянки обчислено через температуру на вході ділянки з урахуванням теплових втрат на ділянці ($Q_{уч}$) за формулою

$$t_{вих} = t_{вх} - \frac{Q_{уч}}{C * G_{уч}} \quad (3.25)$$

де $t_{вх}$ - температура середовища на вході розрахункової ділянки; С – питома теплоємність середовища; $G_{уч}$ - витрати середовища на ділянці.

## Варіанти утеплення

## 1 варіант – буд.№17

1) $\boldsymbol{Q_{0н}} = \boldsymbol{\mu} \times \boldsymbol{Q_0} = 0{,}65 \times 0{,}63 = 0{,}41$ МВт – опалювальне навантаження будівлі №17 після утеплення.

**Таблиця 3.5 - Опалювальні навантаження будівель по 1 варіанту утеплення**

| № буд. | 8 | 18 | **17** | 10 | 9 | 16 | 11 | 14 | 13 | 19 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q, МВт | 0,17 | 0,16 | 0,41 | 0,28 | 0,284 | 0,174 | 0,18 | 0,218 | 0,32 | 0,218 | 0,32 |
| $\boldsymbol{\mu}$ | 1.0 | 1.0 | 0.65 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

2) $\beta = \frac{\mu \times \Delta t}{(t_{1H}^{p} - (t_{2H}^{p} + 10)}$ — коефіцієнт зміни витрат при утепленні будівлі,

де

$\Delta t = 25℃$ , $t_{1H}^{p} = 105℃ - $ прийнято, $t_{2H}^{p} = 63{,}7$ ℃ , для неутеплених = 70℃

$$\beta = \frac{0{,}65 \times 25}{(105 - (63{,}7 + 10)} = 0{,}52$$

Витрата мережевої води для опалення будівлі №17:

$$G_{17} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}63 \times 10^6}{4187 \times 25} = 6{,}02 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{17.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 6{,}02 \times 0{,}52 = 3{,}13 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

**Таблиця 3.6. - Результати розрахунку теплових втрат подавальним трубопроводом при 1 варіанті утеплення**

| № уч | *Довжина* $l$(*м*) | *Діаметр* $d$ (*мм*) | *Щільність теплового потоку* $q^{п}_{нор}$ ($\frac{Вт}{м}$) | *Втрати теплоти* $Q$ уч*(Вт)* | *Температура* °С | | *Витрати теплоносія* $G$ уч*(кг/с)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | *На вході* | *На виході* | |
| 8-7 | 10 | 108 | 63 | 767 | 94,28 | 94,17 | 1,62 |
| 7-6 | 65 | 108 | 63 | 4985 | 94,59 | 94,28 | 3,13 |
| 6-5 | 20 | 159 | 76 | 1851 | 94,66 | 94,59 | 6,28 |
| 10-5 | 133 | 108 | 63 | 10204 | 94,66 | 93,76 | 2,71 |
| 9-5 | 33 | 108 | 63 | 2532 | 94,66 | 94,43 | 2,67 |
| 5-4 | 40 | 159 | 76 | 3701 | 94,74 | 94,66 | 11,66 |
| 4-3 | 96 | 159 | 76 | 8885 | 94,9 | 94,74 | 13,38 |
| 3-2 | 39 | 108 | 63 | 2993 | 94,95 | 94,9 | 15,04 |
| 2-1 | 45 | 159 | 76 | 4165 | 94,99 | 94,95 | 22,26 |
| 1-0 | 12 | 159 | 76 | 1110 | 95 | 94,99 | 25,32 |
| 14-13 | 73 | 89 | 57 | 5067 | 94,36 | 93,78 | 2,08 |
| 13-12 | 82 | 108 | 63 | 6290 | 94,65 | 94,36 | 5,14 |
| 12-2 | 120 | 108 | 63 | 9205 | 94,95 | 94,65 | 7,22 |
| 18-7 | 10 | 108 | 63 | 661 | 94,28 | 94,18 | 1,53 |
| 17-6 | 60 | 108 | 63 | 4603 | 94,59 | 94,24 | 3,13 |
| 4-11 | 13 | 89 | 57 | 902 | 94,74 | 94,61 | 1,72 |
| 3-16 | 22 | 57 | 46 | 1232 | 94,9 | 94,72 | 1,66 |
| 12-19 | 24 | 108 | 63 | 1841 | 94,65 | 94,44 | 2,08 |
| 1-15 | 28 | 108 | 63 | 2148 | 94,99 | 94,82 | 3,06 |
| Σ | | | | 73142 | | | |

## 2 варіант утеплення буд. №8, 18, 9

1) $\boldsymbol{Q_{0н} = \mu \times Q_0} = 0{,}65 \times (0{,}17 + 0{,}16 + 0{,}284) = 0{,}4$ МВт – опалювальне навантаження будівель №8, №18 та №9 після утеплення.

**Таблиця 3.7. - Опалювальні навантаження будівель по 2 варіанту утеплення**

| № буд. | 8 | 18 | 17 | 10 | 9 | 16 | 11 | 14 | 13 | 19 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q, МВт | 0,1105 | 0,104 | 0,63 | 0,28 | 0,185 | 0,174 | 0,18 | 0,218 | 0,32 | 0,218 | 0,32 |
| $\boldsymbol{\mu}$ | 0.65 | 0.65 | 1.0 | 1.0 | 0.65 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

2) $\beta = \frac{\mu \times \Delta t}{(t_{1H}^{p} - (t_{2H}^{p} + 10)}$ — коефіцієнт зміни витрат при утепленні будівлі, де

$\Delta t = 25$℃ , $t_{1H}^{p} = 105$℃ $-$ прийнято, $t_{2H}^{p} = 63{,}7$ ℃ , для неутеплених = 70℃

$$\beta = \frac{0{,}65 \times 25}{(105 - (63{,}7 + 10)} = 0{,}52$$

Витрата мережевої води для опалення будівлі №8,18 та 9:

$$G_8 = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}17 \times 10^6}{4187 \times 25} = 1{,}62 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_8 = G_8 \times \beta = 1{,}62 \times 0{,}52 = 0{,}84 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{18} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}16 \times 10^6}{4187 \times 25} = 1{,}53 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{18} = G_{17} \times \beta = 1{,}53 \times 0{,}52 = 0{,}8 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_9 = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}284 \times 10^6}{4187 \times 25} = 2{,}71 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_9 = G_{17} \times \beta = 2{,}71 \times 0{,}52 = 1{,}41 \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

Обчислене значення температури середовища на виході ділянки у подальшому прийняте як значення на вході до наступної за ходом води розрахункової ділянки. Температуру мережної води на вході до мережі (на виході з центрального теплового пункту) прийнято рівною 95℃.

Вплив потреби для опалення будівель в тепловій енергії основується на складанні теплових балансів. Для підтримання на потрібному рівні температури повітря у приміщенні необхідно, щоб на цьому рівні втрати теплоти в навколишнє середовище були компенсовані подачею теплоти через опалювальні прилади.

Результати визначення теплових втрат подавальними трубопроводами опалювальної мережі мікрорайону подано у табл. 1.2 . Приведені дані підтверджують можливість для застосування формули і узгоджуються зі зробленими до цього висновками про зміни похибки розрахунків та її характер

**Таблиця 3.8. - Результати розрахунку теплових втрат подавальним трубопроводом при 2 варіанті утеплення**

| № уч | *Довжина* $l$(*м*) | *Діаметр* $d$ (*мм*) | *Щільність теплового потоку* $q^{п}_{нор}$ ($\frac{Вт}{м}$) | *Втрати теплоти* $Q$ уч*(Вт)* | *Температура* °С | | *Витрати теплоносія* $G$ уч*(кг/с)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | *На вході* | *На виході* | |
| 8-7 | 10 | 108 | 63 | 767 | 93,87 | 93,65 | 0,84 |
| 7-6 | 65 | 108 | 63 | 4985 | 94,6 | 93,87 | 1,64 |
| 6-5 | 20 | 159 | 76 | 1851 | 94,66 | 94,6 | 7,66 |
| 10-5 | 133 | 108 | 63 | 10204 | 94,66 | 93,75 | 2,67 |
| 9-5 | 33 | 108 | 63 | 2532 | 94,66 | 94,23 | 1,41 |
| 5-4 | 40 | 159 | 76 | 3701 | 94,74 | 94,66 | 11,74 |
| 4-3 | 96 | 159 | 76 | 8885 | 94,9 | 94,74 | 13,46 |
| 3-2 | 39 | 108 | 63 | 2993 | 94,95 | 94,9 | 15,12 |
| 2-1 | 45 | 159 | 76 | 4165 | 94,99 | 94,95 | 22,34 |
| 1-0 | 12 | 159 | 76 | 1110 | 95 | 94,99 | 25,4 |
| 14-13 | 73 | 89 | 57 | 5067 | 94,36 | 93,78 | 2,08 |
| 13-12 | 82 | 108 | 63 | 6290 | 94,65 | 94,36 | 5,14 |
| 12-2 | 120 | 108 | 63 | 9205 | 94,95 | 94,65 | 7,22 |
| 18-7 | 10 | 108 | 63 | 661 | 93,87 | 93,67 | 0,8 |
| 17-6 | 60 | 108 | 63 | 4603 | 94,6 | 94,41 | 6,02 |
| 4-11 | 13 | 89 | 57 | 902 | 94,74 | 94,61 | 1,72 |
| 3-16 | 22 | 57 | 46 | 1232 | 94,9 | 94,72 | 1,66 |
| 12-19 | 24 | 108 | 63 | 1841 | 94,65 | 94,34 | 1,41 |
| 1-15 | 28 | 108 | 63 | 2148 | 94,99 | 94,82 | 3,06 |
| Σ | | | | 73142 | | | |

## Методика обчислення теплових втрат зворотнім трубопроводом теплових мереж

Визначення втрат теплоти зворотними трубопроводами мережі опалення мікрорайону здійснено за розрахунковою методикою, викладеною у попередньому підрозділі. Обчислення починають з найвідданішої від центрального теплового пункту на гілці мережі будівлі. Температуру мережної води на виході з системи опалення будівель прийнято рівною $t = 70℃$. Теплові втрати на ділянці зворотного трубопроводу обчислюємо за за формулою:

$$Q_{уч}^{обр} = q_{уч}^{обр} * \mathrm{l_{уч}} * \mathrm{k_1}, \quad (3.26)$$

де $q_{уч}^{обр}$ - питомі тепловтрати на ділянці зворотного теплопроводу, Вт/м; $t_1$ – температура на вході 80℃, а $t_{окр}$ – температура окружаючого довкілля 5℃;$\mathrm{l_д}$ – довжина ділянки; $\mathrm{k_1}$- коефіцієнт для обліку теплових втрат через конструктивні елементи теплової мережі , становить (1,15)

Питомі втрати визначено за величиною нормативних лінійних втрат $\mathrm{q_{норм}}$ за формулою:

$$q_{уч}^{обр} = \mathrm{q_{норм}} * \frac{t_{вх} - t_{окр}}{\Delta t_{норм}^{обр}}, \quad (3.27)$$

де $\mathrm{t_{вх}}$ - температура мережної води на вході до ділянки; $\mathrm{t_{окр}}$ - температура оточуючого середовища; $\Delta t_{норм}^{обр} = 50 - 5 = 45℃$ – різниця температур теплоносія і оточуючого середовища, для яких визначено величину нормативних втрат.

Значення нормативних теплових втрат трубопроводами наведені у табл.3.9

**Таблиця 3.9-Нормативні теплові втрати($q_{норм}$) зворотнім трубопроводом**

| Діаметр | 57 | 76 | 89 | 108 | 133 | 159 | 219 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Питома тепловтрата $q_{норм}$ | 29 | 34 | 36 | 40 | 49 | 49 | 59 |

Охолодження мережної води у межах розрахункової ділянки обчислено за формулою :

$$t_{вих} = t_{вх} - \frac{Q_{уч}^{обр}}{C * G_{уч}}, \quad (3.28)$$

де С = 4187 $\frac{Дж}{кг*с}$ – питома теплоємність води; $G_{уч}$- витрата води на ділянці

Відмінність визначення теплового стану зворотного трубопроводу в порівнянні з подавальним полягає у наступному. У точці приєднання відгалуження до основного трубопроводу відбувається змішування потоків мережної води з різними температурами. Температуру мережної води на виході ділянки з врахуванням змішування потоків води в магістральному трубопроводі та з відгалужень визначено за формулою:

$$t'_{вих} = \frac{t_{вих} * G_{уч} + t_{отв} * G_{отв}}{G_{уч} + G_{отв}}, \quad (3.29)$$

де $t_{вих}, G_{уч}$ – відповідно, температура і витрати води у трубопроводі основного напрямку; $t_{отв}, G_{отв}$ - температура і витрати води у трубопроводі відгалуження.

Результати визначення теплових втрат зворотними трубопроводами опалювальної мережі мікрорайону подано у табл. 2.1

**Таблиця 3.10. - Результати розрахунку теплових втрат зворотнім трубопроводом при 1 варіанті утеплення**

| № уч | *Довжина l (м)* | *Питомі теплові втрати* $q_{уч}^{обр}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Питомі втрати* $q_{уч}^{об}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Тепловитрати теплоносія Q уч (Вт)* | *Температура відгалуження* °С | *Температура* °С | | *Температура води з врахуванням зміщування* | *Витрати теплоносія G* | *G отв (кг/с)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *На вході* | *На виході* | | | |
| 8-7 | 10 | 40 | 66,67 | 767 | 79,88 | 80 | 79,89 | 79,88 | 1,62 | 1,53 |
| 7-6 | 65 | 40 | 66,56 | 4975 | 73,28 | 79,88 | 79,5 | 76,4 | 3,13 | 3,13 |
| 6-5 | 20 | 49 | 77,75 | 1788 | | 76,4 | 76,33 | 58,13 | 6,28 | |
| 10-5 | 133 | 40 | 66,67 | 10198 | — | 80 | 79,07 | — | 2,71 | — |
| 9-5 | 33 | 40 | 66,67 | 2530 | — | 80 | 79,78 | — | 2,67 | — |
| 5-4 | 40 | 49 | 47,23 | 2173 | 79,87 | 58,13 | 58,08 | 61 | 11,66 | 1,78 |
| 4-3 | 96 | 49 | 60,97 | 6731 | 79,82 | 61 | 60,88 | 62,97 | 13,38 | 1,66 |
| 3-2 | 39 | 40 | 51,53 | 2311 | 79,27 | 62,97 | 62,97 | 68,4 | 15,04 | 7,22 |
| 2-1 | 45 | 49 | 69,04 | 3096 | 79,83 | 68,4 | 68,36 | 70,04 | 22,26 | 3,06 |
| 1-0 | 12 | 49 | 69 | 952 | — | 68,36 | 68,29 | — | 25,32 | — |
| 14-13 | 73 | 36 | 60 | 5037 | 80 | 80 | 79,42 | 79,77 | 2,08 | 3,06 |
| 13-12 | 82 | 40 | 66,46 | 6267 | 79,79 | 79,77 | 79,48 | 79,57 | 5,14 | 2,08 |
| 12-2 | 120 | 40 | 66,28 | 9147 | — | 79,57 | 79,27 | — | 7,22 | — |
| 18-7 | 10 | 40 | 66,67 | 767 | — | 80 | 79,88 | — | 1,53 | — |
| 17-6 | 60 | 40 | 60,98 | 4208 | — | 73,6 | 73,28 | — | 3,13 | — |
| 4-11 | 13 | 36 | 60 | 897 | — | 80 | 79,87 | — | 1,72 | — |
| 3-16 | 22 | 29 | 48,33 | 1223 | — | 80 | 79,82 | — | 1,66 | — |
| 12-19 | 24 | 40 | 66,67 | 1841 | — | 80 | 79,79 | — | 2,08 | — |
| 1-15 | 28 | 40 | 66,67 | 2147 | — | 80 | 79,83 | — | 3,06 | — |
| Σ | | | | 67055 | | | | | | |

У подальшому, температура на виході ділянки з врахуванням можливого зміщення приймається як вхідна для наступного по ходу руху води в зворотному трубопроводі ділянки і т.д. Якщо відгалуження складається з декількох ділянок, тоді розрахунок ми починаємо від найвіддаленішої точки на відгалуженні до точки відгалуження.

**8-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 10 \times 1{,}15 = 767$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{767}{4187 \times 1{,}62} = 79{,}89℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{79{,}89 \times 1{,}62 + 79{,}88 \times 1{,}53}{1{,}62 + 1{,}53} = 79{,}88℃$$

**7-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{79{,}88 - 5}{45} = 66{,}56\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}56 \times 65 \times 1{,}15 = 4975$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}88 - \frac{4975}{4187 \times 3{,}15} = 79{,}5℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{79{,}5 \times 3{,}15 + 73{,}28 \times 3{,}13}{3{,}15 + 3{,}13} = 76{,}4℃$$

**18-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 10 \times 1{,}15 = 767$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{767}{4187 \times 1{,}53} = 79{,}88℃$$

**17-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 60 \times 1{,}15 = 4208$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{4208}{4187 \times 3{,}13} = 73{,}28℃$$

**6-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{76{,}4 - 5}{45} = 77{,}75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 77{,}75 \times 20 \times 1{,}15 = 1788$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 76{,}4 - \frac{1788}{4187 \times 3{,}13} = 76{,}33℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{79{,}5 \times 3{,}15 + 2{,}67 \times 79{,}09 + 2{,}71 \times 79{,}78}{6{,}28 + 2{,}67 + 2{,}71} = 58{,}13℃$$

**10-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 133 \times 1{,}15 = 10198$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{10198}{4187 \times 2{,}67} = 79{,}09℃$$

**9-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 33 \times 1{,}15 = 2530$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{2530}{4187 \times 2{,}71} = 79{,}78℃$$

**5-4:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{58{,}13 - 5}{45} = 47{,}23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 47{,}23 \times 40 \times 1{,}15 = 2173$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 58{,}13 - \frac{2173}{4187 \times 11{,}66} = 58{,}08℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{58{,}13 \times 11{,}66 + 79{,}87 \times 1{,}78}{11{,}66 + 1{,}78} = 61℃$$

**4-11:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 36 \times \frac{80 - 5}{45} = 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60 \times 13 \times 1{,}15 = 897$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{897}{4187 \times 1{,}72} = 79{,}87℃$$

**3-16:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 29 \times \frac{80 - 5}{45} = 48{,}33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 48{,}33 \times 22 \times 1{,}15 = 1223$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{1223}{4187 \times 1{,}66} = 79{,}82℃$$

**4-3:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{61 - 5}{45} = 60{,}97 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}97 \times 96 \times 1{,}15 = 6731$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 61 - \frac{6731}{4187 \times 13{,}38} = 60{,}88℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{60{,}88 \times 13{,}38 + 79{,}82 \times 1{,}66}{13{,}38 + 1{,}66} = 62{,}97℃$$

**3-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{62{,}97 - 5}{45} = 51{,}53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 51{,}53 \times 39 \times 1{,}15 = 2311$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 62{,}97 - \frac{2311}{4187 \times 15{,}04} = 62{,}93℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{62{,}93 \times 15{,}04 + 79{,}79 \times 7{,}22}{15{,}04 + 7{,}22} = 68{,}4℃$$

**12-19:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 24 \times 1{,}15 = 1840$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{1840}{4187 \times 2{,}08} = 79{,}79℃$$

**2-1:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{68{,}4 - 5}{45} = 69{,}04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 69{,}04 \times 39 \times 1{,}15 = 3096$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 68{,}4 - \frac{3096}{4187 \times 22{,}26} = 68{,}36℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{68{,}36 \times 22{,}26 + 79{,}83 \times 3{,}06}{22{,}26 + 3{,}06} = 70{,}04℃$$

**1-15:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 28 \times 1{,}15 = 2147$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{2147}{4187 \times 3{,}06} = 79{,}83℃$$

**1-0:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{68{,}36 - 5}{45} = 69 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 69 \times 12 \times 1{,}15 = 952$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 68{,}36 - \frac{952}{4187 \times 25{,}32} = 68{,}29℃$$

**14-13:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 36 \times \frac{80 - 5}{45} = 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60 \times 73 \times 1{,}15 = 5037$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{5037}{4187 \times 2{,}08} = 79{,}42℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{79{,}42 \times 2{,}08 + 80 \times 3{,}06}{2{,}08 + 3{,}06} = 79{,}77℃$$

**13-12:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{79{,}77 - 5}{45} = 66{,}46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}46 \times 82 \times 1{,}15 = 6267$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}77 - \frac{6267}{4187 \times 5{,}14} = 79{,}48℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{79{,}48 \times 5{,}14 + 79{,}79 \times 2{,}08}{5{,}14 + 2{,}08} = 79{,}57℃$$

**12-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{79{,}57 - 5}{45} = 66{,}28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}28 \times 120 \times 1{,}15 = 9147$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}57 - \frac{9147}{4187 \times 7{,}22} = 79{,}27℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{79{,}89 \times 1{,}62 + 79{,}88 \times 1{,}53}{1{,}62 + 1{,}53} = 79{,}88℃$$

**Таблиця 3.11. - Результати розрахунку теплових втрат зворотнім трубопроводом при 2 варіанті утеплення**

| № уч | *Довжина l (м)* | *Питомі теплові втрати* $q_{уч}^{обр}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Питомі втрати* $q_{уч}^{об}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Тепловитрати теплоносія Q уч (Вт)* | *Температура відгалуження °С* | *Температура °С* | | *Температура води з врахуванням зміщування* | *Витрата теплоносія G* | *G отв (кг/с)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *На вході* | *На виході* | | | |
| 8-7 | 10 | 40 | 60,98 | 701 | 73,39 | 73,6 | 73,39 | 73,39 | 0,84 | 0,8 |
| 7-6 | 65 | 40 | 60,79 | 4544 | 79,28 | 73,39 | 72,73 | 76,96 | 1,64 | 6,02 |
| 6-5 | 20 | 49 | 78,36 | 1802 | | 76,96 | 76,9 | 76,99 | 7,66 | |
| 10-5 | 133 | 40 | 66,67 | 10198 | — | 80 | 79,09 | — | 2,67 | — |
| 9-5 | 33 | 40 | 60,98 | 2314 | — | 73,6 | 73,21 | — | 1,41 | — |
| 5-4 | 40 | 49 | 78,39 | 3606 | 79,86 | 76,99 | 76,92 | 77,31 | 11,74 | 1,78 |
| 4-3 | 96 | 49 | 78,74 | 8693 | 79,82 | 77,31 | 77,16 | 77,45 | 13,46 | 1,66 |
| 3-2 | 39 | 40 | 64,4 | 2888 | 79,24 | 77,45 | 77,4 | 79,35 | 15,12 | 7,22 |
| 2-1 | 45 | 49 | 80,96 | 4190 | 79,64 | 79,35 | 79,3 | 79,34 | 22,34 | 3,06 |
| 1-0 | 12 | 49 | 80,95 | 1117 | — | 79,34 | 79,33 | — | 25,4 | — |
| 14-13 | 73 | 36 | 60 | 5037 | 80 | 80 | 79,42 | 79,77 | 2,08 | 3,06 |
| 13-12 | 82 | 40 | 66,46 | 6267 | 79,69 | 79,77 | 79,48 | 79,54 | 5,14 | 2,08 |
| 12-2 | 120 | 40 | 66,26 | 9144 | — | 79,54 | 79,24 | — | 7,22 | — |
| 18-7 | 10 | 40 | 60,98 | 701 | — | 73,6 | 73,39 | — | 0,8 | — |
| 17-6 | 60 | 40 | 66,67 | 4600 | — | 80 | 79,28 | — | 6,02 | — |
| 4-11 | 13 | 36 | 66,67 | 997 | — | 80 | 79,86 | — | 1,72 | — |
| 3-16 | 22 | 29 | 48,3 | 1222 | — | 80 | 79,82 | — | 1,66 | — |
| 12-19 | 24 | 40 | 66,67 | 1840 | — | 80 | 79,69 | — | 1,41 | — |
| 1-15 | 28 | 40 | 66,67 | 2147 | — | 80 | 79,64 | — | 3,06 | — |
| | | | | 67408 | | | | | | |

**8-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 10 \times 1{,}15 = 701$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{701}{4187 \times 0{,}8} = 73{,}39℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{73{,}39 \times 0{,}84 + 73{,}39 \times 0{,}8}{0{,}84 + 0{,}8} = 73{,}39℃$$

**18-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 10 \times 1{,}15 = 701$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{701}{4187 \times 0{,}8} = 73{,}39℃$$

**7-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}39 - 5}{45} = 60{,}79 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}79 \times 65 \times 1{,}15 = 4544$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}39 - \frac{4544}{4187 \times 6{,}02} = 72{,}73℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{72{,}73 \times 0{,}84 + 79{,}28 \times 1{,}53}{0{,}84 + 1{,}53} = 76{,}96℃$$

**6-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{76{,}96 - 5}{45} = 78{,}36 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 78{,}36 \times 20 \times 1{,}15 = 1802$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 76{,}96 - \frac{1802}{4187 \times 7{,}66} = 76{,}9℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{76{,}96 \times 7{,}66 + 2{,}67 \times 79{,}09 + 1{,}41 \times 73{,}21}{7{,}66 + 2{,}67 + 1{,}41} = 76{,}99℃$$

**17-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 60 \times 1{,}15 = 4600$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{4600}{4187 \times 6{,}02} = 79{,}82℃$$

**10-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 133 \times 1{,}15 = 10198$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{10198}{4187 \times 2{,}67} = 79{,}09℃$$

**9-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 33 \times 1{,}15 = 2314$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{2314}{4187 \times 1{,}41} = 73{,}21℃$$

**5-4:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{76{,}99 - 5}{45} = 78{,}39 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 78{,}39 \times 40 \times 1{,}15 = 3606$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 76{,}99 - \frac{3606}{4187 \times 11{,}74} = 76{,}92℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{76{,}92 \times 11{,}74 + 79{,}86 \times 1{,}78}{11{,}74 + 1{,}78} = 77{,}31℃$$

**4-11:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 36 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 13 \times 1{,}15 = 997$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{997}{4187 \times 1{,}72} = 79{,}86℃$$

**4-3:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{77{,}31 - 5}{45} = 78{,}74\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 78{,}74 \times 96 \times 1{,}15 = 8693$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 77{,}31 - \frac{8693}{4187 \times 13{,}46} = 77{,}16℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{77{,}16 \times 13{,}46 + 79{,}82 \times 1{,}66}{13{,}46 + 1{,}66} = 77{,}45℃$$

**3-16:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 29 \times \frac{80 - 5}{45} = 48{,}3\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 48{,}3 \times 22 \times 1{,}15 = 1222$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{1222}{4187 \times 1{,}66} = 79{,}82℃$$

**12-19:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 24 \times 1{,}15 = 1840$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{1840}{4187 \times 1{,}41} = 79{,}69℃$$

**1-15:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{80 - 5}{45} = 66{,}67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}67 \times 28 \times 1{,}15 = 2147$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{2147}{4187 \times 1{,}41} = 79{,}64℃$$

**14-13:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 36 \times \frac{80 - 5}{45} = 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60 \times 73 \times 1{,}15 = 5037$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 80 - \frac{5037}{4187 \times 2{,}08} = 79{,}42℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{79{,}42 \times 2{,}08 + 80 \times 3{,}06}{2{,}08 + 3{,}06} = 79{,}77℃$$

**13-12:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{79{,}77 - 5}{45} = 66{,}46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}46 \times 82 \times 1{,}15 = 6267$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}77 - \frac{6267}{4187 \times 5{,}14} = 79{,}48℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{79{,}48 \times 5{,}14 + 79{,}69 \times 2{,}08}{2{,}08 + 5{,}14} = 79{,}54℃$$

**12-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{79{,}54 - 5}{45} = 66{,}26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 66{,}26 \times 120 \times 1{,}15 = 9144$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}54 - \frac{9144}{4187 \times 7{,}22} = 79{,}24℃$$

**3-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{77{,}45 - 5}{45} = 64{,}4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 64{,}4 \times 39 \times 1{,}15 = 2888$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}45 - \frac{2888}{4187 \times 15{,}12} = 79{,}4℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} = \frac{79{,}4 \times 15{,}12 + 79{,}24 \times 7{,}22}{15{,}12 + 7{,}22} = 79{,}35℃$$

**2-1:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{79{,}35 - 5}{45} = 80{,}96 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 80{,}96 \times 45 \times 1{,}15 = 4190$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}35 - \frac{4190}{4187 \times 22{,}34} = 79{,}3℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{79{,}3 \times 22{,}34 + 79{,}64 \times 3{,}06}{22{,}34 + 3{,}06} = 79{,}34℃$$

**1-0:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{79{,}34 - 5}{45} = 80{,}95 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 80{,}95 \times 12 \times 1{,}15 = 1117$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 79{,}34 - \frac{1117}{4187 \times 25{,}4} = 79{,}33$$

## 3 варіант утеплення -всі будівлі

1) $\boldsymbol{Q}_{\text{н}} = \boldsymbol{\mu} \times \boldsymbol{Q_0} = 0{,}65 \times (0{,}17 + 0{,}16 + 0{,}41 + 0{,}28 \pm 0{,}284 + 0{,}174 + 0{,}18 + 0{,}218 + 0{,}32 + 0{,}218 + 0{,}32) = 1{,}78$ МВт – опалювальне навантаження усіх будівель після утеплення.

**Таблиця 3.12. - Опалювальні навантаження будівель по 3 варіанту утеплення**

| № буд. | 8 | 18 | 17 | 10 | 9 | 16 | 11 | 14 | 13 | 19 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q, МВт | 0,17 | 0,16 | 0,41 | 0,28 | 0,284 | 0,174 | 0,18 | 0,218 | 0,32 | 0,218 | 0,32 |
| $\boldsymbol{\mu}$ | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 |

2) $\beta = \frac{\mu \times \Delta t}{(t_{1H}^{p} - (t_{2H}^{p} + 10)}$ — коефіцієнт зміни витрат при утепленні будівлі,

де

$\Delta t = 25℃$ , $t_{1H}^{p} = 105℃ -$ прийнято, $t_{2H}^{p} = 63{,}7$ ℃ , для неутеплених = 70℃

$$\beta = \frac{0{,}65 \times 25}{(105 - (63{,}7 + 10)} = 0{,}52$$

Витрата мережевої води для опалення усіх будівель :

$$G_8 = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}17 \times 10^6}{4187 \times 25} = 1{,}62 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{8.\text{Н}} = G_8 \times \beta = 1{,}62 \times 0{,}52 = 0{,}84\,\frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{18} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}16 \times 10^6}{4187 \times 25} = 1{,}53\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{18.\text{н}} = G_{17} \times \beta = 1{,}53 \times 0{,}52 = 0{,}8\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{17} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}63 \times 10^6}{4187 \times 25} = 6{,}02\,\frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{17.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 6{,}02 \times 0{,}52 = 3{,}13\,\frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{10} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}28 \times 10^6}{4187 \times 25} = 2{,}67\,\frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{10.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 2{,}67 \times 0{,}52 = 1{,}39\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_9 = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}284 \times 10^6}{4187 \times 25} = 2{,}71\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{9.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 2{,}71 \times 0{,}52 = 1{,}41\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{16} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}174 \times 10^6}{4187 \times 25} = 1{,}66\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{16.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 1{,}66 \times 0{,}52 = 0{,}86\ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{11} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}18 \times 10^6}{4187 \times 25} = 1{,}72 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{11.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 1{,}72 \times 0{,}52 = 0{,}89 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{14} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}218 \times 10^6}{4187 \times 25} = 2{,}08 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{14.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 2{,}08 \times 0{,}52 = 1{,}08 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{13} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}32 \times 10^6}{4187 \times 25} = 3{,}06 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{13.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 3{,}06 \times 0{,}52 = 1{,}6 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{19} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}218 \times 10^6}{4187 \times 25} = 2{,}08 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{19.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 2{,}08 \times 0{,}52 = 1{,}08 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

$$G_{15} = \frac{Q}{C \times \Delta t} = \frac{0{,}32 \times 10^6}{4187 \times 25} = 3{,}06 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{до утеплення}$$

$$G_{15.\text{Н}} = G_{17} \times \beta = 3{,}06 \times 0{,}52 = 1{,}6 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{після утеплення}$$

**Таблиця 3.13 - Результати розрахунку теплових втрат зворотнім трубопроводом при 3 варіанті утеплення**

| № уч | *Довжина l (м)* | *Питомі теплові втрати* $q^{обр}_{уч}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Питомі втрати* $q^{об}_{уч}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Тепловитрати теплоносія Q уч (Вт)* | *Температура відгалуження* °С | *Температура* °С | | *Температура води з врахуванням зміщування* | *Витрати теплоносія G* | *G отв (кг/с)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *На вході* | *На виході* | | | |
| 8-7 | 10 | 40 | 60,98 | 701 | 73,39 | 73,6 | 73,4 | 73,39 | 0,84 | 0,8 |
| 7-6 | 65 | 40 | 74,47 | 5567 | 73,28 | 73,39 | 72,58 | 73,04 | 1,64 | 3,13 |
| 6-5 | 20 | 49 | 74,09 | 1704 | | 73,04 | 72,95 | 72,82 | 4,77 | |
| 10-5 | 133 | 40 | 60,98 | 9327 | — | 73,6 | 72 | — | 1,39 | — |
| 9-5 | 33 | 40 | 60,98 | 2314 | — | 73,6 | 73,21 | — | 1,41 | — |
| 5-4 | 40 | 49 | 73,85 | 3397 | 73,38 | 72,82 | 72,71 | 72,78 | 7,57 | 0,89 |
| 4-3 | 96 | 49 | 73,8 | 8148 | 73,59 | 72,78 | 72,55 | 72,65 | 8,46 | 0,86 |
| 3-2 | 39 | 40 | 60,13 | 2697 | 72,31 | 72,65 | 72,58 | 72,5 | 9,32 | 3,75 |
| 2-1 | 45 | 49 | 73,5 | 3804 | 73,3 | 72,5 | 72,43 | 72,52 | 13,07 | 1,59 |
| 1-0 | 12 | 49 | 73,42 | 1013 | — | 72,43 | 72,41 | — | 14,66 | — |
| 14-13 | 73 | 36 | 54,88 | 4607 | 73,6 | 73,6 | 72,58 | 73,19 | 1,08 | 1,59 |
| 13-12 | 82 | 40 | 60,61 | 5716 | 73,23 | 73,19 | 72,68 | 72,84 | 2,67 | 1,08 |
| 12-2 | 120 | 40 | 60,3 | 8321 | — | 72,84 | 72,31 | — | 3,75 | — |
| 18-7 | 10 | 40 | 60,98 | 701 | — | 73,6 | 73,39 | — | 0,8 | — |
| 17-6 | 60 | 40 | 60,98 | 4208 | — | 73,6 | 73,28 | — | 3,13 | — |
| 4-11 | 13 | 36 | 54,88 | 820 | — | 73,6 | 73,38 | — | 0,89 | — |
| 3-16 | 22 | 29 | 44,2 | 1118 | — | 73,6 | 73,59 | — | 0,86 | — |
| 12-19 | 24 | 40 | 60,98 | 1683 | — | 73,6 | 73,23 | — | 1,08 | — |
| 1-15 | 28 | 40 | 60,98 | 1964 | — | 73,6 | 73,3 | — | 1,59 | — |
| Σ | | | | 67810 | | | | | | |

**8-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 10 \times 1{,}15 = 701$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{701}{4187 \times 0{,}84} = 73{,}4℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{73{,}4 \times 0{,}84 + 73{,}39 \times 0{,}8}{0{,}84 + 0{,}8} = 73{,}39℃$$

**18-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 10 \times 1{,}15 = 701$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{701}{4187 \times 0{,}8} = 73{,}39℃$$

**7-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{73{,}39 - 5}{45} = 74{,}47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 74{,}47 \times 65 \times 1{,}15 = 5567$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}39 - \frac{5567}{4187 \times 1{,}64} = 72{,}58℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{72{,}58 \times 1{,}64 + 73{,}28 \times 3{,}13}{1{,}64 + 3{,}13} = 73{,}04℃$$

**17-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 60 \times 1{,}15 = 4208$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{4208}{4187 \times 3{,}13} = 73{,}28℃$$

**6-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{73{,}04 - 5}{45} = 74{,}09 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 74{,}09 \times 20 \times 1{,}15 = 1704$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}04 - \frac{1704}{4187 \times 4{,}77} = 72{,}95℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} =$$

$$= \frac{72{,}95 \times 4{,}77 + 1{,}39 \times 72 + 1{,}41 \times 73{,}21}{4{,}77 + 1{,}39 + 1{,}41} = 72{,}82℃$$

**10-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 133 \times 1{,}15 = 9327$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{9327}{4187 \times 1{,}39} = 72℃$$

**9-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 33 \times 1{,}15 = 2314$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{2314}{4187 \times 1{,}41} = 73{,}21℃$$

**4-11:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 36 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 54{,}88 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 54{,}88 \times 13 \times 1{,}15 = 820$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{820}{4187 \times 0{,}89} = 73{,}38℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{79{,}3 \times 22{,}34 + 79{,}64 \times 3{,}06}{22{,}34 + 3{,}06} = 79{,}34℃$$

**5-4:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{72{,}82 - 5}{45} = 73{,}85 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 73{,}85 \times 40 \times 1{,}15 = 3397$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 72{,}82 - \frac{3397}{4187 \times 7{,}57} = 72{,}71℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{72{,}71 \times 7{,}57 + 73{,}38 \times 0{,}89}{7{,}57 + 0{,}89} = 72{,}78℃$$

**3-16:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 29 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 44{,}2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 44{,}2 \times 22 \times 1{,}15 = 1118$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{1118}{4187 \times 22{,}34} = 73{,}59℃$$

**4-3:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{72{,}78 - 5}{45} = 73{,}8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 73{,}8 \times 96 \times 1{,}15 = 8148$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 72{,}78 - \frac{8148}{4187 \times 8{,}46} = 72{,}55℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{72{,}55 \times 8{,}46 + 73{,}59 \times 0{,}86}{8{,}46 + 0{,}86} = 72{,}65℃$$

**14-13:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 36 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 54{,}88 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 54{,}88 \times 73 \times 1{,}15 = 4607$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{4607}{4187 \times 1{,}08} = 72{,}58℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{72{,}58 \times 1{,}08 + 73{,}6 \times 1{,}59}{1{,}08 + 1{,}59} = 73{,}19℃$$

**12-19:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 24 \times 1{,}15 = 1683$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{1683}{4187 \times 1{,}08} = 73{,}23℃$$

**13-12:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}19 - 5}{45} = 60{,}61 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}61 \times 82 \times 1{,}15 = 5716$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}19 - \frac{5716}{4187 \times 2{,}67} = 72{,}68℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{72{,}68 \times 2{,}67 + 73{,}23 \times 1{,}08}{2{,}67 + 1{,}08} = 72.84℃$$

**12-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{72{,}84 - 5}{45} = 60{,}3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}3 \times 120 \times 1{,}15 = 8321$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 72{,}84 - \frac{8321}{4187 \times 3{,}75} = 72{,}31℃$$

**3-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{72{,}65 - 5}{45} = 60{,}13 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}13 \times 39 \times 1{,}15 = 2697$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 72{,}65 - \frac{2697}{4187 \times 9{,}32} = 72{,}58℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{72{,}58 \times 9{,}32 + 72{,}31 \times 3{,}75}{9{,}32 + 3{,}75} = 72{,}5℃$$

**1-15:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 40 \times \frac{73{,}6 - 5}{45} = 60{,}98 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 60{,}98 \times 28 \times 1{,}15 = 1964$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 73{,}6 - \frac{1964}{4187 \times 1{,}59} = 73{,}3℃$$

**2-1:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{72{,}5 - 5}{45} = 73{,}5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 73{,}5 \times 45 \times 1{,}15 = 3804$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 72{,}5 - \frac{3804}{4187 \times 13{,}07} = 72{,}43℃$$

$$t'_{\text{вих}} = \frac{t_{\text{вих}} \times G_{\text{уч}} + t_{\text{отв}} \times G_{\text{отв}}}{G_{\text{уч}} + G_{\text{отв}}} == \frac{72{,}43 \times 13{,}07 + 73{,}3 \times 1{,}59}{13{,}07 + 1{,}59} = 72{,}52℃$$

**1-0:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{50 - 5} = 49 \times \frac{72{,}43 - 5}{45} = 73{,}42 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 73{,}42 \times 12 \times 1{,}15 = 1013$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 72{,}43 - \frac{1013}{4187 \times 14{,}66} = 72{,}41℃$$

**Таблиця 3.14 - Результати розрахунку теплових втрат подавальним трубопроводом при 4 варіанті утеплення**

| № уч | *Довжина* $l$*(м)* | *Діаметр* $d$ *(мм)* | *Щільність теплового потоку* $q^{п}_{нор}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Питомі втрати* $q^{об}_{уч}$ $(\frac{Вт}{м})$ | *Втрати теплоти* $Q$ уч*(Вт)* | *Температура* °С | | *Витрати теплоносія* $G$ уч *(кг/с)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | *На вході* | *На виході* | |
| 8-7 | 10 | 108 | 63 | 62,46 | 718 | 89,27 | 89,16 | 1,62 |
| 7-6 | 65 | 108 | 63 | 62,73 | 4689 | 89,63 | 89,27 | 3,15 |
| 6-5 | 20 | 159 | 76 | 75,7 | 1741 | 89,68 | 89,63 | 9,17 |
| 10-5 | 133 | 108 | 63 | 62,8 | 8161 | 89,68 | 88,95 | 2,67 |
| 9-5 | 33 | 108 | 63 | 62,8 | 2383 | 89,68 | 89,47 | 2,71 |
| 5-4 | 40 | 159 | 76 | 75,8 | 3487 | 89,74 | 89,68 | 14,55 |
| 4-3 | 96 | 159 | 76 | 75,9 | 8380 | 89,86 | 89,74 | 16,27 |
| 3-2 | 39 | 108 | 63 | 63 | 3260 | 89,90 | 89,86 | 17,83 |
| 2-1 | 45 | 159 | 76 | 76 | 3409 | 89,94 | 89,90 | 25,15 |
| 1-0 | 12 | 159 | 76 | 76 | 1049 | 89,95 | 89,94 | 28,21 |
| 14-13 | 73 | 89 | 57 | 56,6 | 4752 | 89,34 | 88,79 | 2,08 |
| 13-12 | 82 | 108 | 63 | 62,7 | 5913 | 89,61 | 89,34 | 5,14 |
| 12-2 | 120 | 108 | 63 | 63 | 8694 | 89,9 | 89,61 | 7,22 |
| 18-7 | 10 | 108 | 63 | 62,5 | 719 | 89,27 | 89,16 | 1,53 |
| 17-6 | 60 | 108 | 63 | 62,7 | 4326 | 89,63 | 89,3 | 3,13 |
| 4-11 | 13 | 89 | 57 | 56,83 | 850 | 89,74 | 89,62 | 1,72 |
| 3-16 | 22 | 57 | 46 | 45,9 | 1161 | 89,86 | 89,69 | 1,66 |
| 12-19 | 24 | 108 | 63 | 62,7 | 1731 | 89,61 | 89,41 | 2,08 |
| 1-15 | 28 | 108 | 63 | 63 | 2029 | 89,94 | 89,78 | 3,06 |
| Σ | | | | | 67452 | | | |

**1-0:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 76 \times \frac{89{,}95 - 5}{85} = 76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 76 \times 12 \times 1{,}15 = 1049$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}95 - \frac{1049}{4187 \times 28{,}21} = 89{,}94℃$$

**1-15:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}94 - 5}{85} = 63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 63 \times 28 \times 1{,}15 = 2029$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}94 - \frac{2029}{4187 \times 3{,}06} = 89{,}78℃$$

**2-1:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 76 \times \frac{89{,}94 - 5}{85} = 76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 76 \times 39 \times 1{,}15 = 3409$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89.94 - \frac{3409}{4187 \times 25{,}15} = 89{,}90℃$$

**3-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}90 - 5}{85} = 63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 63 \times 45 \times 1{,}15 = 3260$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89.90 - \frac{3260}{4187 \times 17{,}83} = 89{,}86$$

**4-3:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 76 \times \frac{89{,}86 - 5}{85} = 75{,}9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 75{,}9 \times 96 \times 1{,}15 = 8380$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89.86 - \frac{8380}{4187 \times 16{,}27} = 89{,}74℃$$

**5-4:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 76 \times \frac{89{,}74 - 5}{85} = 75{,}8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 75{,}8 \times 40 \times 1{,}15 = 3487$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89.74 - \frac{3487}{4187 \times 14{,}55} = 89{,}68℃$$

**9-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}68 - 5}{85} = 62{,}8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}8 \times 33 \times 1{,}15 = 2383$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}68 - \frac{2383}{4187 \times 2{,}71} = 89{,}47℃$$

**10-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}68 - 5}{85} = 62{,}8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}8 \times 133 \times 1{,}15 = 8161$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}68 - \frac{8161}{4187 \times 2{,}67} = 88{,}95℃$$

**6-5:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 76 \times \frac{89{,}68 - 5}{85} = 75{,}7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 75{,}7 \times 20 \times 1{,}15 = 1741$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}68 - \frac{1741}{4187 \times 9{,}17} = 89{,}63℃$$

**7-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}63 - 5}{85} = 62{,}73 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}73 \times 65 \times 1{,}15 = 4689$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}63 - \frac{4689}{4187 \times 3{,}15} = 89{,}27℃$$

**8-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}27 - 5}{85} = 62{,}46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}46 \times 10 \times 1{,}15 = 718$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}27 - \frac{718}{4187 \times 1{,}62} = 89{,}16℃$$

**12-2:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}9 - 5}{85} = 63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 63 \times 120 \times 1{,}15 = 8694$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}9 - \frac{8694}{4187 \times 7{,}22} = 89{,}61℃$$

**13-12:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}61 - 5}{85} = 62{,}7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}7 \times 82 \times 1{,}15 = 5913$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89.61 - \frac{5913}{4187 \times 5{,}14} = 89{,}34℃$$

**14-13:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 57 \times \frac{89{,}34 - 5}{45} = 56{,}6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 56{,}6 \times 73 \times 1{,}15 = 4752$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}34 - \frac{4752}{4187 \times 2{,}08} = 88{,}79℃$$

**12-19:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}61 - 5}{85} = 62{,}7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}7 \times 24 \times 1{,}15 = 1731$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}61 - \frac{1731}{4187 \times 2{,}08} = 89{,}41℃$$

**3-16:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 46 \times \frac{89{,}86 - 5}{85} = 45{,}9\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 45{,}9 \times 22 \times 1{,}15 = 1161$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}86 - \frac{1161}{4187 \times 1{,}66} = 89{,}69℃$$

**4-11:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 57 \times \frac{89{,}74 - 5}{85} = 56{,}83\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 56{,}83 \times 13 \times 1{,}15 = 850$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}74 - \frac{850}{4187 \times 1{,}72} = 89{,}62℃$$

**17-6:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}63 - 5}{85} = 62{,}7\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}7 \times 60 \times 1{,}15 = 4326$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}63 - \frac{4326}{4187 \times 3{,}13} = 89{,}3℃$$

**18-7:**

$$\boldsymbol{q} = q_{\text{табл}}^{\text{обр}} \times \frac{t_{\text{вх}} - 5}{90 - 5} = 63 \times \frac{89{,}27 - 5}{85} = 62{,}5\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q_{\text{уч}} = q \times l_{\text{уч}} \times 1{,}15 = 62{,}5 \times 10 \times 1{,}15 = 719$$

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q}{C \times G} = 89{,}27 - \frac{719}{4187 \times 1{,}53} = 89{,}16℃$$

## 3.4 Вплив ефективності утеплення будівель на тепловий стан розподільних теплових мереж мікрорайону

Провівши аналіз підсумків наших обчислень, для всіх розглянутих типів мережі змінювання теплопроводами відносних втрат теплоти майже не залежить від значення теплового навантаження групи будівель. Вплив місця знаходження будівлі на плані теплових мереж несуттєвий.

Різниця у тепловтратах подавальним трубопроводом між варіантом теплоізоляції всіх будівель забудови ($\mu_{\text{гр}} = 0{,}6$) і вихідним варіантом ($\mu_{\text{гр}} = 1$) розглянутої конфігурації мережі не перевищує 0,5 %.. Зменшення теплових втрат трубопроводу водопостачання зумовлено зміною витрат за воду трубопровідної мережі при нагріванні будівлі. Зменшення тепловтрат мережевого зворотного водопроводу при опаленні будівлі пов'язано у першу чергу із зниженням температури мережевої води на виході з теплообмінника системи опалення. На тепловий стан зворотних труб водорозподільної мережі також істотно впливає закон зміни водоспоживання трубної мережі по довжині теплових труб.

Щоб врахувати особливості розподілу витрат теплоносія беремо значення відносних середніх витрат:

$$\overline{G_{\text{ср}}} = \frac{G_{\text{ср}}}{G_{\text{вх}}} \tag{3.30}$$

Із розглянутих варіантів утеплення будівель виконання теплових мереж найбільші середні витрати теплоносія притаманні для 2 варіанту , а найменші – для 1 варіанту. Тобто більша величина витрат води визначає її менше охолодження під час руху через трубопровід та підвищене витрачання теплоти. Конструкція теплових мереж визначає суттєве зменшення витрат води на ділянках мережі та її меншу величину тепловитрат. При утепленні всіх будівель при збереженні існуючого температурного графіка регулювання опалювального навантаження зменшення втрат теплоти трубопроводами

мережі становить 5,8% . При переході на зниженний температурний графік регулювання навантаження слід очікувати зменшення теплових втрат трубопроводами на 9,6%.

## 4. Техніко-економічні показники етапів реформування системи теплопостачання

Згідно з концепцію модернізації системи теплопостачання Харкова у цей період повинні бути виконуватись проекти з основною метою максимального підвищення ефективності існуючої системи теплопостачання, а також попутні пілотні проекти етапу глибокої модернізації системи теплопостачання з наміром заміщення природного газу місцевими видами палива та енергії та термомодернізації будівель. Виконання таких проектів малої модернізації повинно витратити потенціал підвищення ефективності існуючої системи теплопостачання та почати процеси глибокої модернізації.

Вихідний варіант: $\Delta Q^{\text{п}} = 73136 \ (\tau_{1-0} = 95℃)$

$\Delta Q^{\text{зв}} = 66333 \ (\tau_{1-0} = 70℃)$

( при 80℃ ) $\Delta Q^{\text{зв}} = 66333 \times \frac{80-5}{70-5} = 76538$

$$\Delta Q^{\text{п+зв}} = 149674$$

Загальна економія 11% у порівнянні з вихідним варіантом

1 варіант: $\Delta Q^{\text{п}} = \ 73142 \ (\tau_{1-0} = 95℃)$

$\Delta Q^{\text{зв}} = 67055 \ (\tau_{1-0} = 70℃)$

( при 80℃ ) $\Delta Q^{\text{п+зв}} = 140197$

2 варіант: $\Delta Q^{\text{п}} = \ 73142$

$\Delta Q^{\text{зв}} = \ 67408$

$$\Delta Q^{\text{п+зв}} = 140550$$

Загальна економія 6% у порівнянні з вихідним варіантом

3 варіант: $\Delta Q^{\text{п}} = 73142$

$$\Delta Q^{\text{зв}} = 67810$$

$$\Delta Q^{\text{п+зв}} = 140952$$

Загальна економія 5,8 % у порівнянні з вихідним варіантом

Для 3 варіанта у порівнянні з вихідним варіантом зниження витрат т/н становить 47,5 %.

4 варіант: $\Delta Q^{\text{п}} = 67452$

$$\Delta Q^{\text{зв}} = 67810$$

$$\Delta Q^{\text{п+зв}} = 135262$$

Економія становить у порівнянні з вихідним варіантом 9,6%

Розрахунок річної економії тепловтрат 4 варіанту у порівнянні з вихідним варіантом

$$\text{E} = 149641 - 135262 = 14379$$

Річна економія:

$$T = n \times 24 \times 3600 = 189 \times 240 \times 3600 = 16{,}33 \times 10^6 c$$

*(де n = 189 - тривалість опалювального сезону)*

$$\Delta \text{E}_{\text{год}} = \frac{E \times T}{10^9} = \frac{14{,}379 \times 10^3 \times 16{,}33 \times 10^6}{10^9} = 234{,}8 \ \frac{\text{ГДж}}{\text{рік}}$$

*Сума економії становить: 352 200 грн / рік*

# Загальні висновки

1) Проведено оцінки потенціалу енергозбереження для ряду конструкцій житлових будинків. Можливе скорочення витрат теплоти на опалення становить 30 – 40%.

2) Сформульовано послідовність робіт з енергозбереження у мікрорайоні.

3) Розроблено графік регулювання опалювального навантаження з урахуванням можливого утеплення будівель. При ефективності утеплення будівель 0,35 температура мережної води у подавальному трубопроводі може бути знижена зі 105 до 80℃

4) Обчислено втрати теплоти теплопроводами. . Втрати  теплоти в мережі для вихідного варіанту опалення дорівнюють 149,6 кВт. Втрати теплоти при повному утепленні становлять 140,9 кВт , що на 5,8% менше , ніж для вихідного варіанту.

5) Зменшення втрат теплоти трубопроводами опалення при переході на зниженний температурний графік становить 9,6 %, що у грошовому еквіваленті становить 352 200 гривень за рік.

# Список використаних джерел

1. International Code Council. International Energy Conservation Code. Falls Church, VA, 2018.

2.Patrick Mitchell Central Heating, Installation, Maintenance and Repair. Writers Print Shop, 2008.−196 p.

3..Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31 : 2016. –Офіційне видання. – К. : Мінрегіон України, 2017.

4. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження [Текст] / В.А. Маляренко. – Харків: „ Вид. САГА”, 2006. – 484 с.

5.Алексахин А.А., Бобловский А.В. Оценка потенциала энергосберегающего потенциала функционирующих жилых зданий « Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит », №1(95), 2012, С.10-15.

6. Повышение эффективности работы тепловых пунктов [Текст] / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат, 1990. – 185 с.

7.Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Г. Л. Хавин и др.: под общ. ред. Л. Л. Товажнянского. –Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. –232с.

8 А.М. Тарадай. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения –Харьков : Основа, 1998. – 192 с.

9..Зингер Н.М.,Тарадай А.М., Бармина Л.С. Пластинчастые теплообменники в системах теплоснабжения – Москва.: Энергоатомиздат, 1995.−256 с.

10. Kays W.M., London A.L. Compact Heat Transfers. McGraw -Hill, 1964

11. Алексахін О.О. Теплові розрахунки мікрорайонних систем теплопостачання. Харків, ХНАМГ, 2010.– 138 с.

12. H.Y.Wong Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. Longman, LondonandNewYork.- 1977.