

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота
другий магістерський

(форма зведеної освіти)

тему Підвищення ефективності теплових
мереже шляхом вирободження предизольо-
ваного палива.

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-18-243
спеціальності 441 Теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Луназа А.І.

(підпис та прізвище)

Керівник к.т.н. доцент Кожкоб Ю.М.

(підпис, ім'я, прізвище, науковий ступінь, ступінь, інше та прізвище)

Рецензент Жук Р.О.

(підпис, ім'я, прізвище, науковий ступінь, ступінь, інше та прізвище)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 26 » 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Луназі Анні Ігорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) Підвищення енергетичної теплових мереже шийхал виробадження предизольованих труб
керівник роботи Кожоб Юрій Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 09 2019 року № 1534-с
- Строк подання студентом роботи 26.12.2019
- Вихідні дані до роботи кофіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,024 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, температурний графік $150/70^\circ\text{C}$, температура трунті 3°C
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Залежно у арабіриетика об'єкту дослідження з підвищення енергетичної теплових мереже з предизольованими трубами
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Схема предизольованих труб з залежність $\lambda = f(t)$.
2 Залежність $\eta = f(\text{до})$ 4 Залежність $\sigma = f(\text{до})$.
3 Залежність $\alpha = f(\text{до})$ 6 Фізичні теплові кірати труб.
- Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видан	пройдено
Розділ 1	Канюков Ю.М. доцент ТІЕ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Розділ 2	Канюков Ю.М. доцент ТІЕ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Сторінка підписі	Канюков Ю.М. доцент ТІЕ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7 Дата видачі завдання 18.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Проміжок
1	Зовнішня характеристика об'єкта дослідження	19.09.2018 - 20.02.2019	кінчений
2	Розробка заходів по підвищенню енергетичної ефективності теплової мережі	21.02.2019 - 01.10.2019	кінчений
3	Розробка заходів з техніки безпеки	02.10.2019 - 02.11.2019	кінчений
4	Розробка креденс	03.11. - 03.12.19	кінчений

Студент *[Signature]* Григор'єв А.М.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *[Signature]* Канюков Ю.М.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[Signature]* Канюков Ю.М.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Гуназа А.І. Підвищення ефективності теплових мереж шляхом впровадження предізольованих труб.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник Ю.М. Каюков. Запорізький національний університет. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, 2020.

В магістерській роботі проведено дослідження теплових мереж; різних варіантів теплової ізоляції та їх характеристик. Виконано аналіз літературних джерел з питання ефективності теплової ізоляції та теплових мереж. На основі отриманих результатів виведено залежності оптимальної товщини ізоляції від діаметру трубопроводів та складено висновки. Доведена ефективність впровадження попередньоізольованих трубопроводів з вспіненого циклопентану.

Ключові слова: ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ, ВТРАТИ ТЕПЛОТИ, ДІАМЕТР, ТЕПЛОВИЙ ПОТІК, РЕЖИМ РОБОТИ, МІНІМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВТРАТ.

ABSTRACT

Gunaza A.I. The efficiency improvint of heat networks by using pre-insulated pipes.

Qualification graduation work for the degree of master's degree in specialty 144 - Heat and Power Engineering, supervisor Yu.M. Kayukov. Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology, 2020.

In the master's work the research of thermal networks was conducted; different variants of thermal insulation and their characteristics. An analysis of the literature sources on the efficiency of thermal insulation and thermal networks was performed. On the basis of the obtained results the dependences of the optimal thickness of the

insulation on the diameter of the pipelines are deduced and conclusions are drawn. The efficiency of introduction of pre-insulated foamed cyclopentane pipelines has been proved.

Keywords: HEAT NETWORKS, ENERGY EFFICIENCY, OPTIMIZATION, HEAT INSULATION, HEAT LOSS, DIAMETER, HEAT FLOW, WORKING MODE, MINIMIZATION HEAT LOSS.

АННОТАЦИЯ

Гуназа А.И. Повышение эффективности тепловых сетей путем внедрения предизолированные труб.

Квалификационная выпускная работа на получение степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель Ю.Н. Каюков. Запорожский национальный университет. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, 2020.

В магистерской работе проведено исследование тепловых сетей; различных вариантов тепловой изоляции и их характеристик. Выполнен анализ литературных источников по вопросу эффективности тепловой изоляции и тепловых сетей. На основе полученных результатов выведено зависимости оптимальной толщины изоляции от диаметра трубопроводов. Доказана эффективность внедрения изоляционных трубопроводов из вспененного циклопентана.

Ключевые слова: ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ, ПОТЕРИ ТЕПЛОТЫ, ДИАМЕТР, ТЕПЛОМ ПОТОК, РЕЖИМ РАБОТЫ, МИНИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОПТЕРЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Теплові втрати трубопроводів.....	10
1.2 Втрати теплової енергії при передачі.....	13
1.3 Теплова ізоляція	19
1.4 Труби та елементи попередньо теплоізовані для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж.....	29
2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРЕДІЗОЛЬОВАНИХ ТРУБ.....	32
2.1 Вихідні дані.....	32
2.2 Визначення питомих теплових втрат через теплову ізоляцію трубопроводів теплової мережі при підземній безканальній прокладці трубопроводів.....	33
2.3 Визначення питомих теплових втрат енергії трубопроводів теплової мережі при наземній прокладці	35
2.4 Визначення нормативних та фактичних теплових втрат теплової енергії.....	36
2.5 Проектування трубопроводів з пінополіуретановою ізоляцією.....	41
2.6 Пропозиції з оптимізації товщин теплової ізоляції.....	47
2.7 Розрахунок ефективності труб з циклопентану.....	63
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	69
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	87

ВСТУП

Актуальність теми. Вирішення тактичних питань енергозбереження базується на детальному аналізі втрат енергії у вузлах системи та визначення найбільш проблемних елементів системи. Одним з таких проблемних вузлів системи тепlopостачання є теплові мережі, для яких характерна велика протяжність, і, внаслідок цього, суттєві втрати теплоти при транспортуванні теплоносія

Річні втрати теплоти в теплових мережах складаються з теплових втрат за рахунок охолодження води в трубопроводах і втрат з витоком води з трубопроводів. Багато виробників теплоізолюваних труб знаходяться в досить скрутному становищі при виборі оптимальної системи теплоізоляції через існуюче на ринку різноманіття (як вітчизняного, так і іноземного виробництва). Особливі труднощі викликає визначення оптимальної товщини ізоляції.

Теплова ізоляція трубопроводів і устаткування визначає технічну можливість та економічну ефективність реалізації технологічних процесів і широко застосовується в енергетиці, ЖКГ, хімічної, нафтопереробної, металургійної, харчової та інших галузях промисловості.

Теплова ізоляція забезпечує можливість проведення технологічних процесів при заданих параметрах, дозволяє створити безпечні умови праці на виробництві, знижує втрати легкокипарюємих нафтопродуктів в резервуарах, дає можливість зберігати зріджені і природні гази в ізотермічних сховищах.

У зв'язку з особливостями кліматичних умов безперербійне забезпечення населення і промисловості тепловою енергією в Україні є актуальною соціальною та економічною проблемою. Для цілей тепlopостачання щорічно витрачається понад 45 % від загального споживання всіх видів палива, що відповідає паливоємності всіх інших галузей економіки, без врахування електроенергетики.

В даний час відпуск тепла споживачам великих населених пунктів в основному виробляється і буде здійснюватися в подальшому від досить потужних систем централізованого теплопостачання (СЦТ), що мають в якості джерел тепла великі ТЕЦ або районні котельні. В сучасних СЦТ, поряд з джерелами теплоти, теплові мережі мають першорядне значення в забезпеченні споживачів тепловою енергією. Вони є також основним джерелом втрат і витрат енергії при транспортуванні мережної води і тепла.

Основним напрямком зниження втрат теплової енергії в теплових мережах є заміна трубопроводів, що використали свій ресурс із заміною теплової ізоляції. Перекладку трубопроводів доцільно здійснювати із застосуванням новітніх технологій. В даний час такою технологією є використання теплопроводів з пінополіуретанової (ППУ) ізоляцією підвищеної заводської готовності. Застосування ППУ ізоляції в теплових мережах обумовлено: простотою виготовлення теплоізоляційних конструкцій в заводських умовах разом з системою оперативного дистанційного контролю (ОДК) стану теплової ізоляції (по суті це - контроль витоків) і порівняно невеликі трудовитрати на монтаж, в сукупності з досить низьким коефіцієнтом теплопровідності. Характеристики міцності ППУ ізоляції дозволяють здійснювати прокладку таких теплопроводів безканально. Безканальна прокладка з усіх типів підземної прокладки теплопроводів є найменш витратною.

Об'єкт дослідження є теплопроводи і види ізоляції.

Предмет дослідження - оптимізація товщини ізоляції теплопроводів.

Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка методики розрахунку оптимальної товщини ізоляції теплопроводів з метою зниження тепловтрат і забезпечення надійного теплопостачання.

Напрямок досліджень: аналіз ефективності діючих норм тепловтрат теплопроводами і розрахункових втрат теплоти; розробка розрахункової теплової моделі з визначення оптимальної товщини ізоляції теплопроводу; чисельне моделювання теплообміну теплопроводу при надземній і підземній

прокладці; визначення оптимальної товщини ізоляції за допомогою цільової функції для вирішення питань енергозбереження та екологічних проблем.

Методи досліджень. Математичне моделювання фізичних процесів; методи аналітичного дослідження функцій; комплексний підхід до визначення оптимальної товщини теплоізоляції теплопроводів.

Достовірність і обґрунтованість: основні положення і висновки роботи обґрунтовані теоретичними рішеннями, отриманими з використанням методів математичного аналізу на основі відомих фізичних законів теплопередачі. Математичні моделі і цільова функція також належним чином теоретично обґрунтовані.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.

Матеріали дипломної роботи були опубліковані на Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції у квітні 2018 року, і XXIV науково-технічній конференції викладачів та студентів ЗДІА у листопаді 2019.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Теплові втрати трубопроводів

Теплова мережа - це система міцно і щільно з'єднаних між собою ділянок теплопроводів, за якими теплота за допомогою теплоносіїв (пари або гарячої води) транспортується від джерел до теплових споживачів. Основними елементами теплових мереж є трубопровід, що складається із сталевих труб, з'єднаних між собою за допомогою зварювання, ізоляційна конструкція, призначена для захисту трубопроводу від зовнішньої корозії та теплових втрат, і несуча конструкція, яка сприймає вагу трубопроводу і зусилля, що виникають при його експлуатації.

Найбільш відповідальними елементами є труби, які повинні бути достатньо міцними і герметичними при максимальних тисках і температурах теплоносія, мати низький коефіцієнт температурних деформацій, малу шорсткість внутрішньої поверхні, високий термічний опір стінок, що сприяє збереженню теплоти, незмінність властивостей матеріалу при тривалій дії високих температур і тисків .

Постачання теплотою споживачів (систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання і технологічних процесів) складається з трьох взаємопов'язаних процесів: вироблення теплоти теплоносія, транспорту теплоносія і використання теплового потенціалу теплоносія.

Системи теплопостачання класифікуються за такими основними ознаками: потужності, виду джерела теплоти і виду теплоносія.

За потужністю системи теплопостачання характеризуються дальністю передачі теплоти і числом споживачів. Вони можуть бути місцевими та централізованими. Місцеві системи теплопостачання - це системи, в яких три основних ланки об'єднані і знаходяться в одному або суміжних приміщеннях. При цьому отримання теплоти і передача її повітрю приміщень об'єднані в одному пристрої і розташовані в опалювальних приміщеннях. Централізовані

системи, в яких від одного джерела теплоти подається теплота для багатьох приміщень.

По виду джерела теплоти системи централізованого теплопостачання поділяють на районне теплопостачання та теплофікацію. При системі районного теплопостачання джерелом теплоти служить районна котельня, теплофікації - ТЕЦ.

По виду теплоносія системи теплопостачання діляться на дві групи: водяні і парові.

Теплоносій - середовище, що передає теплоту від джерела теплоти до нагрівальних приладів систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання. Теплоносій отримує теплоту в районній котельні (або ТЕЦ) і по зовнішніх трубопроводах, які носять назву теплових мереж, надходить в системи опалення, вентиляції промислових, громадських і житлових будівель. У нагрівальних приладах, розташованих усередині будівель, теплоносій віддає частину акумульованої в ньому теплоти і відводиться по спеціальних трубопроводах назад до джерела теплоти.

У водяних системах теплопостачання теплоносієм є вода, а в парових - пар. В Україні для міст і житлових районів використовуються водяні системи теплопостачання. Пара застосовується на промислових майданчиках для технологічних потреб. Системи водяних теплопроводів можуть бути однотрубними і двотрубними (в окремих випадках багатотрубними). Найбільш поширеною є двотрубна система теплопостачання (по одній трубі подається гаряча вода споживачеві, за іншою, зворотної, охолоджена вода повертається на ТЕЦ або в котельню).

Розрізняють відкриту та закриту системи теплопостачання. У відкритій системі здійснюється "безпосередній водоразбор", тобто гаряча вода з подаючої мережі розбирається споживачами для господарських, санітарно - гігієнічних потреб. При повному використанні гарячої води може бути застосована однотрубна система. Для закритої системи характерно майже повне повернення мережевої води на ТЕЦ (або районну котельню).

До теплоносія систем централізованого теплопостачання висувають такі вимоги:

- санітарно-гігієнічні (теплоносій не повинен погіршувати санітарні умови в закритих приміщеннях - середня температура поверхні нагрівальних приладів не може перевищувати (70...80) °С;
- техніко-економічні (щоб вартість транспортних трубопроводів була найменшою, маса нагрівальних приладів - малою і забезпечувався мінімальна витрата палива для нагрівання приміщень);
- експлуатаційні (можливість центрального регулювання тепловіддачі систем споживання у зв'язку зі змінними температурами зовнішнього повітря).

Напрямок теплопроводів вибирається з теплової карти району з урахуванням матеріалів геодезичної зйомки, плану існуючих і намічені надземних і підземних споруд, даних про характеристику ґрунтів і т. д. Питання про вибір типу теплопроводу (надземний або підземний) вирішується з урахуванням місцевих умов та техніко-економічних обґрунтувань.

При високому рівні ґрунтових і зовнішніх вод, густоті існуючих підземних споруд на трасі проектного теплопроводу, сильно пересіченій ярами та залізничними шляхами в більшості випадків перевага віддається надземним теплопроводів. Вони також найчастіше застосовуються на території промислових підприємств при спільному прокладанні енергетичних і технологічних трубопроводів на загальних естакадах або високих опорах.

У житлових районах з архітектурних міркувань зазвичай застосовується підземна кладка теплових мереж. Варто сказати, що надземні теплопровідні мережі довговічні і ремонтпригодні, в порівнянні з підземними. Тому бажано вишукування хоча б часткового використання підземних теплопроводів.

При виборі траси теплопроводу слід керуватися в першу чергу умовами надійності теплопостачання, безпеки праці обслуговуючого персоналу і населення, можливістю швидкої ліквідації несправностей і аварій.

В цілях безпеки та надійності теплопостачання, прокладка мереж не ведеться в загальних каналах з киснепроводу, газопроводами, трубопроводами

стисненого повітря з тиском вище 1,6 МПа. При проектуванні підземних теплопроводів за умовами зниження початкових витрат слід вибирати мінімальну кількість камер, споруджуючи їх тільки в пунктах установки арматури і приладів, які потрібно обслуговувати. Кількість потребуючих камер скорочується при застосуванні сильфонних або лінзових компенсаторів, а також осьових компенсаторів з великим ходом (здвоєних компенсаторів), природного компенсації температурних деформацій.

На не проїзній частини допускаються виступаючі на поверхню землі перекриття камер і вентиляційних шахт на висоту 0,4 м. Для полегшення спорожнення (дренажу) теплопроводів, їх прокладають із ухилом до горизонту. Для захисту паропроводу від попадання конденсату з конденсатопроводу в період зупинки паропроводу або падіння тиску пари після конденсатовідвідників повинні встановлюватися зворотні клапани або затвори.

По трасі теплових мереж будується поздовжній профіль, на який наносять планувальні та існуючі відмітки землі, рівень стояння ґрунтових вод, існуючі та проєктовані підземні комунікації, та інші споруди перетинаються теплопроводів, із зазначенням вертикальних відміток цих споруд.

1.2 Втрати теплової енергії при передачі

Для оцінки ефективності роботи будь-якої системи, в тому числі теплоенергетичної, зазвичай використовується узагальнений фізичний показник, - коефіцієнт корисної дії (ККД). Фізичний сенс ККД - відношення величини отриманої корисної роботи (енергії) до витраченої. Остання, у свою чергу, являє собою суму отриманої корисної роботи (енергії) і втрат, що виникають в системних процесах. Таким чином, збільшення ККД системи (а значить і підвищення її економічності) можна досягти тільки зниженням величини непродуктивних втрат, що виникають у процесі роботи. Це і є головним завданням енергозбереження. Основною ж проблемою, що виникає при вирішенні цього завдання, є виявлення найбільш великих складових цих

втрат і вибір оптимального технологічного рішення, що дозволяє значно знизити їхній вплив на величину ККД. Причому кожен конкретний об'єкт (мета енергозбереження) має ряд характерних конструктивних особливостей і складові його теплових втрат різні за величиною. І кожного разу, коли мова заходить про підвищення економічності роботи теплоенергетичного обладнання (наприклад, системи опалення), перед прийняттям рішення на користь використання якого-небудь технологічного нововведення, необхідно обов'язково провести детальне обстеження самої системи і виявити найбільш істотні канали втрат енергії. Розумним рішенням буде використання тільки таких технологій, які істотно знизять найбільш великі непродуктивні складові втрат енергії в системі і при мінімальних витратах значно підвищать ефективність її роботи.

1.2.1 Джерела втрат

Будь-яку теплоенергетичних систем з метою аналізу можна умовно розбити на три основні ділянки:

- ділянка виробництва теплової енергії (котельня);
- ділянка транспортування теплової енергії споживачу (трубопроводи теплових мереж);
- ділянка споживання теплової енергії (опалювальний об'єкт).

Кожна з наведених ділянок має характерні непродуктивні втрати, зниження яких і є основною функцією енергозбереження.

Розглянемо кожен ділянку окремо.

1. Ділянка виробництва теплової енергії. Існуюча котельня. Головною ланкою на цій ділянці є котлоагрегат, функціями якого є перетворення хімічної енергії палива у теплову і передача цієї енергії теплоносію. У котлоагрегаті відбувається ряд фізико-хімічних процесів, кожен з яких має свій ККД. І будь-який котлоагрегат, яким би досконалим він не був, обов'язково втрачає частину енергії палива в цих процесах.

На ділянці виробництва теплової енергії при нормальній роботі котлоагрегату завжди існують три види основних втрат: з недопалом палива і газами, що йдуть (зазвичай не більше 18 %), втрати енергії через обмурівку котла (не більше 4 %) і втрати з продувкою і на власні потреби котельні (близько 3 %). Зазначені цифри теплових втрат приблизно близькі для нормального не нового вітчизняного котла (з ККД близько 75 %). Більш досконалі сучасні котлоагрегати мають реальний ККД близько (80...85) % і стандартні втрати у них нижчі.

Однак вони можуть додатково зростати:

– якщо вчасно і якісно не проведена режимна наладка котлоагрегату з інвентаризацією шкідливих викидів, втрати з недопалом газу можуть збільшуватися на (6...8) %;

– діаметр сопел пальників, встановлених на котлоагрегаті середньої потужності зазвичай не перераховується під реальне навантаження котла. Однак підключена до котла навантаження відрізняється від тієї, на яку розрахована пальник. Ця невідповідність завжди призводить до зниження тепловіддачі від смолоскипів до поверхонь нагріву і зростанням на (2...5) % втрат з хімічним недопалом палива і відхідними газами;

– якщо очищення поверхонь котлоагрегатів проводиться, як правило, один раз на (2...3) роки, це знижує ККД котла з забрудненими поверхнями на (4...5) % за рахунок збільшення на цю величину втрат з димовими газами. Крім того, недостатня ефективність роботи системи хімводоочищення (ХВО) призводить до появи хімічних відкладень (накипу) на внутрішніх поверхнях котлоагрегату значно знижують ефективність його роботи.

– якщо котел не обладнаний повним комплектом засобів контролю та регулювання (паромерами, теплотічильниками, системами регулювання процесу горіння і теплового навантаження) або якщо засоби регулювання котлоагрегату налаштовані неоптимально, то це в середньому додатково знижує його ККД на 5%.

-при порушенні цілісності обмурівки котла виникають додаткові присоси повітря в топку, що збільшує втрати з недожогом і газами, що йдуть на (2...5) %

-використання сучасного насосного обладнання в котельні дозволяє в два-три рази знизити витрати електроенергії на власні потреби котельні та знизити витрати на їх ремонт та обслуговування.

-на кожен цикл "Пуск-зупинка" котлоагрегату витрачається значна кількість палива. Ідеальний варіант експлуатації котельні - її безперервна робота в діапазоні потужностей, визначеному режимної карти. Використання надійної запірної арматури, високоякісної автоматики і регулюючих пристроїв дозволяє мінімізувати втрати, що виникають із-за коливань потужності та виникнення нештатних ситуацій у котельні.

Перераховані вище джерела виникнення додаткових втрат енергії в котельні не є явними і прозорими для їх виявлення. Наприклад, одна з основних складових цих втрат - втрати з недопалом, можуть бути визначені тільки за допомогою хімічного аналізу складу газів, що йдуть. У той же час збільшення цієї складової може бути викликано цілим рядом причин: не дотримується правильне співвідношення суміші паливо-повітря, є неконтрольовані присоси повітря в топку котла, пальниковий пристрій працює в неоптимальному режимі.

Таким чином, постійні неявні додаткові втрати тільки при виробництві тепла в котельні можуть досягати величини (20...25) %.

2. Втрати тепла на ділянці його транспортування до споживача. Існуючі трубопроводи тепломереж. Зазвичай теплова енергія, передана в котельні теплоносію, надходить в теплотрасу і далі на об'єкти споживачів. Величина КПД даної ділянки зазвичай визначається наступним:

- ККД мережних насосів, які забезпечують рух теплоносія по теплотрасі;

- втратами теплової енергії по довжині теплотрас, пов'язаними зі способом укладання та ізоляції трубопроводів;

- втратами теплової енергії, пов'язаними з правильністю розподілу тепла між об'єктами-споживачами, т.зв. гідравлічної налаштованістю теплотраси;

- періодично виникаючими під час аварійних і позаштатних ситуацій витоками теплоносія.

При розумно спроектованої і гідравлічно налагодженій системі теплотрас, видалення кінцевого споживача від ділянки виробництва енергії рідко становить більше (1,5...2) км і загальна величина втрат звичайно не перевищує (5...7) %. Однак:

- використання вітчизняних потужних мережевих насосів з низьким ККД практично завжди призводить до значних непродуктивних перевитрат електроенергії.

- при великій протяжності трубопроводів теплотрас значний вплив на величину теплових втрат набуває якість теплової ізоляції теплотрас.

- гідравлічна налагодженість теплотраси є основоположним чинником, що визначає економічність її роботи. Підключені до теплотрасі об'єкти теплоспоживання повинні бути правильно шайбіровані таким чином, щоб тепло розподілялося по них рівномірно. В іншому випадку тепла енергія перестає ефективно використовуватися на об'єктах споживання і виникає ситуація з поверненням частини теплової енергії по зворотному трубопроводу на котельню. Крім зниження ККД котлоагрегатів це викликає погіршення якості опалення в найбільш віддалених по ходу тепломережі будівлях.

- якщо вода для систем гарячого водопостачання (ГВП) підігрівається на відстані від об'єкта споживання, то трубопроводи трас ГВП обов'язково повинні бути виконані за циркуляційної схемою. Присутність тупикової схеми ГВС фактично означає, що близько (35...45) % теплової енергії, що йде на потреби ГВП, витрачається даремно.

Зазвичай втрати теплової енергії в теплотрасах не повинні перевищувати (5...7) %. Але фактично вони можуть досягати величини у 25 % і вище.

3. Втрати на об'єктах споживачів тепла. Системи опалення та ГВП існуючих будівель. Найбільш істотними складовими теплових втрат у теплоенергетичних системах є втрати на об'єктах-споживачах. Наявність таких не є прозорим і може бути визначено тільки після появи в теплопункті будівлі приладу обліку теплової енергії, т.зв. теплотічильника. Досвід роботи з величезною кількістю вітчизняних теплових систем, дозволяє вказати основні джерела виникнення непродуктивних втрат теплової енергії.

У найпоширенішому випадку такими є втрати:

- в системах опалення пов'язані з нерівномірним розподілом тепла по об'єкту споживання і нераціональністю внутрішньої теплової схеми об'єкта (5...15) %;

- в системах опалення пов'язані з невідповідністю характеру опалення поточним погодним умовам (15...20) %;

- в системах ГВП через відсутність рециркуляції гарячої води втрачається до 25 % теплової енергії;

- в системах ГВП через відсутність або непрацездатності регуляторів гарячої води на бойлерах ГВП (до 15 % навантаження ГВП);

- в трубчастих (швидкісних) бойлерах через наявність внутрішніх витоків, забруднення поверхонь теплообміну і труднощі регулювання (до 10-15 % навантаження ГВП);

- загальні неявні непродуктивні втрати на об'єкті споживання можуть складати до 35 % від теплового навантаження.

Головною непрямою причиною наявності та зростання перерахованих вище втрат є відсутність на об'єктах теплоспоживання приладів обліку кількості споживаного тепла. Відсутність прозорої картини споживання тепла об'єктом обумовлює впливає звідси нерозуміння значимості прийняття на ньому енергозберігаючих заходів.

1.3 Теплова ізоляція

Теплоізоляція, теплова ізоляція, термоізоляція - це захист будівель, теплових промислових установок (або окремих їх вузлів), холодильних камер, трубопроводів та іншого від небажаного теплового обміну з навколишнім середовищем. Так, наприклад, у будівництві та теплоенергетиці теплоізоляція необхідна для зменшення теплових втрат у навколишнє середовище, в холодильній і кріогенній техніці - для захисту апаратури від припливу тепла ззовні. Теплоізоляція забезпечується пристроєм спеціальних огорож, виконуваних з теплоізоляційних матеріалів (у вигляді оболонки, покриттів і т. п.) і ускладнюють теплопередачу; самі ці теплозахисні кошти також називаються теплоізоляцією. При переважній конвективному теплообміні для теплоізоляції використовують огорожі, що містять шари матеріалу, непроникного для повітря; при променистому теплообміні - конструкції з матеріалів, що відображають теплове випромінювання (наприклад, з фольги, металізованої лавсановій плівки); при теплопровідності (основний механізм переносу тепла) - матеріали з розвинутою пористою структурою.

Ефективність теплоізоляції при перенесенні тепла теплопровідністю визначається термічним опором (R) ізолюючої конструкції. Підвищення ефективності теплоізоляції досягається застосуванням високопористих матеріалів і пристроєм багат шарових конструкцій з повітряними прошарками.

Завдання теплоізоляції будівель - знизити втрати тепла в холодний період року і забезпечити відносну сталість температури в приміщеннях протягом доби при коливаннях температури зовнішнього повітря. Застосовуючи для теплової ізоляції ефективні теплоізоляційні матеріали, можна істотно зменшити товщину і знизити масу огорожувальних конструкцій і таким чином скоротити витрату основних будматеріалів (цегли, цементу, сталі та ін) і збільшити допустимі розміри збірних елементів.

У теплових промислових установках (промислових печах, котлах, автоклавах і т. п.) теплоізоляція забезпечує значну економію палива, сприяє збільшенню потужності теплових агрегатів і підвищення їх ККД, інтенсифікації технологічних процесів, зниженню витрати основних матеріалів.

Економічну ефективність теплоізоляції в промисловості часто оцінюють коефіцієнтом заощадження тепла

$$h = (Q_1 - Q_2) / Q_1,$$

де Q_1 - втрати тепла установкою без теплоізоляції,

Q_2 - втрати тепла з теплоізоляцією.

Теплоізоляція промислових установок, що працюють при високих температурах, сприяє також створенню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці обслуговуючого персоналу в гарячих цехах та запобігання виробничого травматизму.

1.3.1 Теплоізоляційні матеріали та їх властивості

Від якості ізоляційної конструкції теплопроводу залежать не лише теплові втрати, але і його довговічність. При відповідній якості матеріалів і технології виготовлення теплової ізоляція може одночасно виконувати роль антикорозійного захисту зовнішньої поверхні сталевих теплопроводів. До таких матеріалів, відносяться поліуретан і похідні на його основі - полімербетон і біон.

Основні вимоги до теплоізоляційних конструкцій полягає в наступному:

- низька теплопровідність як у сухому стані так і в стані природної вологості;
- мале водопоглинання і невелика висота капілярного підйому рідкої вологи;
- мала корозійна активність;
- високий електричний опір;
- лужна реакція середовища ($pH > 8,5$);
- достатня механічна міцність.

Основними вимогами для теплоізоляційних матеріалів паропроводів електростанцій та котелень є низька теплопровідність і висока термостійкість. Такі матеріали зазвичай характеризуються великим вмістом повітряних пір і малої об'ємною щільністю. Остання якість цих матеріалів зумовлює їх підвищені гігроскопічність і водопоглинання.

Одне з основних вимог до теплоізоляційних матеріалів для підземних теплопроводів полягає в малому водопоглинанні. Тому високоефективні теплоізоляційні матеріали з великим змістом повітряних пір, легко всмоктуючі вологу з навколишнього ґрунту, як правило, непридатні для підземних теплопроводів.

Розрізняють тверді (плити, блоки, цегла, шкаралупи, сегменти та ін), гнучкі (мати, матраци, джгути, шнури та ін), сипучі (зернисті, порошкоподібні) або волокнисті теплоізоляційні матеріали. По виду основної сировини їх підрозділяють на органічні, неорганічні і змішані.

Органічні в свою чергу діляться на органічні природні й органічні штучні. До органічних природних матеріалів відносяться матеріали, одержувані переробкою неділової деревини та відходів деревообробки (деревноволокнисті плити і деревостружкові плити), сільськогосподарських відходів (солома, очерет та ін), торфу (торфопліти) та місцевої органічної сировини. Ці теплоізоляційні матеріали, як правило, відрізняються низькою водо-і біостійкістю. Зазначених недоліків позбавлені органічні штучні матеріали. Дуже перспективними матеріалами цієї підгрупи є пінопласти, одержувані шляхом спінювання синтетичних смол. Пінопласти мають дрібні замкнуті пори і цим відрізняються від поропластов - тяж спінених пластмас, але мають з'єднуються пори і тому не використовуються в якості теплоізоляційних матеріалів. Залежно від рецептури і характеру технологічного процесу виготовлення пінопласти можуть бути жорсткими, напівжорсткими і еластичними з порами необхідного розміру; виробам можуть бути додані бажані властивості (наприклад, зменшена горючість). Характерна особливість

більшості органічних теплоізоляційних матеріалів - низька вогнестійкість, тому їх застосовують зазвичай при температурах не вище 150 °С.

Більш вогнестійкі матеріали змішаного складу (фіброліт, арболіт та ін), отримані з суміші мінерального в'язучого речовини і органічного наповнювача (деревні стружки, тирса і т. п.).

Неорганічні матеріали. Представником цієї підгрупи є алюмінієва фольга (альфоль). Вона застосовується у вигляді гофрованих листів, укладених з утворенням повітряних прошарків. Перевагою цього матеріалу є висока відбивна здатність, що зменшує променистий теплообмін, що особливо помітно при високих температурах. Іншими представниками підгрупи неорганічних матеріалів є штучні волокна: мінеральна, шлакова і скляна вата. Середня товщина мінеральної вати (6...7) мкм, середній коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,045$ Вт/(м·К). Ці матеріали не горючі, не прохідні для гризунів. Вони мають малу гігроскопічність (не більше 2 %), але велика водопоглинання (до 600 %).

Легкі і комірчасті бетони (головним чином газобетон і пінобетон), піноскло, скляне волокно, вироби з спученого перліту та ін

Неорганічні матеріали, використовувані як монтажних, виготовляють на основі азбесту (азбестові картон, папір, повсть), сумішей азбесту і мінеральних в'язучих речовин (асбестодіатомові, азбестоцементні вироби) та на основі спучених гірських порід (вермикуліту, перліту).

Для ізоляції промислового обладнання і установок, що працюють при температурах вище 1000 °С (наприклад, металургійних, нагрівальних та ін печей, топків, котлів і т. д.), застосовують так звані легковагі вогнетриви, що виготовляються з вогнетривких глин або високовогнетривких окислів у вигляді штучних виробів (цегли, блоків різного профілю). Перспективно також використання волокнистих матеріалів теплоізоляції з вогнетривких волокон і мінеральних в'язучих речовин (коефіцієнт їх теплопровідності при високих температурах в (1,5...2) рази нижче, ніж у традиційних).

Таким чином, є велика кількість теплоізоляційних матеріалів, з яких може здійснюватися вибір в залежності від параметрів і умов експлуатації різних установок, які потребують теплозахисту.

Визначення фактичного технічного стану трубопроводів теплових мереж повинне включати аналіз структурної надійності та аналіз експлуатаційних даних при комплексному застосуванні різних методів моніторингу та контролю.

Контроль технічного стану трубопроводів дає можливість визначити наявні пошкодження трубопроводів та їх ізоляції. Основними наслідками пошкодження трубопроводів теплових мереж під час експлуатації є руйнування металу трубопроводів під впливом внутрішньої і зовнішньої корозії, а також погіршення характеристик теплової ізоляції та гідроізоляції.

Для визначення технічного стану підземних теплових мереж в процесі їх експлуатації використовується кілька видів контролю та велика кількість контактних і безконтактних методів. Візуальне обстеження поверхні ґрунту над тепломережею дає змогу виявити тільки значні за площею розриви металу трубопроводу. Методом індикаторів корозії, як зауважив автор статті [61], пошкодження металу трубопроводів та погіршення стану їхньої теплової ізоляції виявити неможливо, але він дає змогу через задані проміжки часу аналізувати зміни маси індикаторних пластин, поміщених у діючий трубопровід, які відображають ступінь стоншення стінок трубопроводу.

Наземне тепловізійне сканування дає змогу виявляти розриви металу трубопроводів, місця зволоження та руйнування теплової ізоляції.

Теплова аерозйомка здійснюється шляхом аналізу теплової карти об'єкта, яка отримується за допомогою тепловізора, розміщеного на літаку чи гелікоптері, та перетворення температурного розподілу чи інфрачервоного випромінювання у видиме зображення.

При безконтактному тепловому контролі тепло від підземної тепломережі, яке виділяється на поверхні ґрунту, передається вимірювальному приладу шляхом теплової радіації через проміжне середовище (повітря).

При контактному тепловому контролі тепло від нагрітої тепломережею поверхні ґрунту передається приладу, який визначає температуру, шляхом безпосереднього контакту з його термочутливими елементами (термопарами).

На основі вище перелічених методів контролю стану трубопроводів, а зокрема базуючись на їх основних можливостях виявляти пошкодження (дефекти) для кращого розуміння чинників, що впливають на надійність теплових мереж, а відповідно і на їх фактичний технічний стан запропонована класифікація за параметрами: термін експлуатації, призначення, конструктивні характеристики, руйнуючі фактори.

Головною причиною промерзання труб є мала швидкість циркуляції в них робочих рідин. Негативним фактором вважається процес замерзання, здатний призвести до незворотних і катастрофічних наслідків. Саме тому теплоізоляція мереж вкрай необхідна.

В особливій мірі, потрібно приділяти увагу трубопроводам, які функціонують періодично, будь то подача води зі свердловини або дачне водяне опалення. Щоб не довелося в подальшому проводити відновлення робочих систем, краще, все-таки, виконати їх своєчасну теплоізоляцію.

Зважаючи на спрямованості застосування робити порівняння матеріалів і говорити про те, що один краще іншого буде неправильним. З цієї причини нижче буде розкрито переваги та недоліки існуючих сьогодні ізоляторів.

За варіантом подання компонента:

- листовий;
- рулонний;
- заливний;
- кожуховий;
- комбінований.

По області використання:

- для відведення води і каналізації;
- для мереж подачі пари, опалення, гарячої та холодної води;
- для трубопроводів вентиляції і морозильних агрегатів [62].

Популярні матеріали:

1. Шкаралупа. Її перевагою є легкість монтажу, оптимальні характеристики і висока якість виконання. Відрізняється низькою теплопровідністю, пожежостійкістю, мінімальним рівнем вологовбирання. Підходить для захисту опалювальних мереж і систем водопостачання. Приклад шкаралупного виконання зображений на рисунку 1.1 [63].

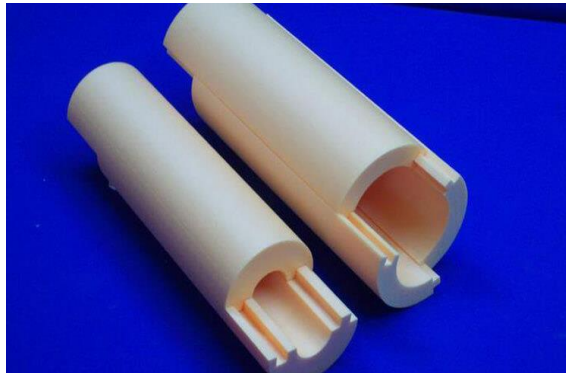


Рисунок 1.1 - Утеплювач для труб шкаралупа

2. Мінеральна вата. Зазвичай вона поставляється в рулонах, і застосовується для обробки труб, теплоносій яких має дуже високу температуру. Цей варіант доцільний тільки при невеликих площах обробки, оскільки мінвата досить дорогий матеріал. Укладання його виконується шляхом обмотки комунікацій з фіксацією в заданому положенні дротом з нержавіючої сталі або мотузкою. Додатково рекомендується виконувати гідроізоляцію, оскільки вата легко вбирає вологу [64]. Ізоляція мінеральною ватою зображена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Мінераловатний циліндровий утеплювач

3. Пінополістирол. Конструкція теплової ізоляції подібного типу більше нагадує дві половинки, або ж шкаралупу, за допомогою чого здійснюється ізоляція трубопроводу. Варіант сміливо можна назвати якісним і зручним у плані монтажу. За рахунок мінімального вологовбирання і низької теплопровідності, високої пожежостійкості, мінімальної товщини, пінополістирол відмінно підходить для захисту мереж опалення і подачі води [65]. Приклад ізоляції пінополістиролом зображений на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Утеплення пінополістиролом

4. Піноізол. Дана теплоізоляція володіє схожими параметрами з пінополістиролом, правда, з істотною відмінністю в монтажі. Завдання виконується за допомогою відповідного розпилювача, оскільки матеріал має рідкий стан. Після повного висихання вся оброблена поверхня труби має щільну і міцну герметичну структуру, яка надійно зберігає температуру теплоносія. Істотною перевагою є відсутність необхідності застосовувати додаткові кріпильні елементи для фіксації матеріалу. Мінусом вважається, хіба що, його дорога ціна [66]. Ізоляція піноізолом зображена на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Утеплення труб піноізолом

5. Пінофол з фольгованою основою. Інноваційний продукт, з кожним днем стає все популярнішим. Він складається зі спіненого поліетилену і алюмінієвої фольги. Двошарова конструкція дозволяє як зберігати температуру мереж, так і обігрівати простір, оскільки фольга здатна відображати і накопичувати тепло. Особливу увагу заслуговує низька здатність до горіння, високі екологічні дані, здатність витримувати підвищену вологість і суттєві перепади температур [67]. Зображений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Труба, утеплена фольгованим пінофолом

6. Поліетилен спіненого виконання. Теплоізоляція цього виду дуже поширена, при цьому вона часто зустрічається на водопровідних магістралях. Особливістю є простота укладання, для чого досить відрізати потрібний розмір матеріалу і обмотати їм технологічну лінію, з фіксацією скотчем. Часто спінений поліетилен поставляється у вигляді обгортки для труби певного діаметра з технологічним розрізом, які надіваються на потрібну ділянку

системи [68]. Приклад поліетилену спіненого виконання показано на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 - Поліетилен спіненого виконання

Специфікації СНіП і багато професіоналів рекомендують керуватися наступними варіантами захисту магістральних ліній:

1. Повітряне утеплення. Зазвичай комунікаційні системи, які проходять в землі, захищаються за допомогою теплоізоляції певної товщини. Однак, найчастіше не враховується фактор, що промерзання землі йде від верхньої точки до нижньої, в той час як потік тепла від труб прагне до верху. Оскільки трубопровід з усіх боків захищений компонентом мінімальної товщини, то і тепло, що прагне вверх, виявляється також ізольованим. Раціональніше в даному випадку встановлювати утеплювач над верхньою частиною магістралі, так, щоб утворювався тепловий прошарок [69].

2. Використання утеплювача і обігрівального елемента. Відмінно підходить в якості альтернативи традиційним варіантами. В даному випадку враховується момент, що захист ліній сезонний, і прокладати їх на землі не раціонально з фінансових міркувань, як і використовувати велику товщину ізолятора. За правилами СНіП та інструкцій виробників кабель може знаходитися як всередині труб, так і зовні їх [70].

3. Прокладка труби втрубі. Тут, у поліпропіленових трубах додатково встановлюються окремі труби. Особливістю способу є те, що відігріти системи реально практично завжди, в тому числі і з застосуванням принципу

всмоктування теплих повітряних мас. Крім цього, при необхідності, в наявному зазорі легко може бути прокладений аварійний шланг [71].

1.4 Труби та елементи попередньо теплоізовані для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж

Труби та елементи попередньо теплоізовані для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж спіненим поліуретаном відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.5-31: 2007 «Трубопроводи попередньо теплоізовані спіненим поліуретаном для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж. Труби, фасонні вироби і арматура. Технічні умови».

Температура теплоносія + 140 °C (150 °C) максимальний робочий тиск не більше 1,6 МПа).

Високі експлуатаційні параметри труби та фасонних виробів дозволяють забезпечити:

- втрати тепла при транспортуванні до (1,5...2) % (такі незначні втрати тепла стали можливими завдяки сучасним технологіям виробництва попередньо ізованих труб і, перш за все, процесу спінення поліуретану під дією циклопентану);
- термін експлуатації теплотраси (30...40) років (теплоізоляційні характеристики попередньо ізованих труб незмінні впродовж усього терміну експлуатації, старіння металевої труби і гідроізоляційної оболонки відповідає міжнародним стандартам);
- зменшення капітальних витрат на (15...20) %, експлуатаційних - в 9 разів, ремонтних - в 3 рази (експлуатація попередньо ізованих трубопроводів не потребує профілактики, як наслідок - споживачі не потерпають від щорічних літніх відключень гарячого водопостачання; виникненню аварійних ситуацій на теплотрасі запобігає система аварійної сигналізації; її вартість в межах 1,5 % від загальної вартості теплотраси);
- час безканалльної прокладки теплотраси зменшується у (3...4) рази;

З кожним роком комунікації стають все надійнішими, тому що для монтажу трубопроводів використовуються матеріали з більш високими технічними характеристиками. Сучасні труби для теплопровідних трас - це не звичайні вироби з металу.

Сталеві труби тепер «одягнені» у спінену поліуретанову ізоляцію. Це дозволяє зберігати високу температуру носіїв, забезпечує надійний захист трубах від негативного впливу зовнішнього середовища, від механічних пошкоджень і деформацій.

У країні кілька провідних компаній, що випускають попередньоізольовані труби для теплових мереж, і серед них можна виділити фірму «Фаворит», чії заводи розмістилися в місті Львів. На промислових площах підприємства встановлено сучасне обладнання, що дозволяє виготовляти сталеві попередньоізольовані труби високої якості за інноваційними технологіями.

Висококваліфіковані працівники, контроль виробництва на кожному етапі виключають шлюби в роботі. А новітні розробки дозволяють створювати матеріали з високим ступенем міцності і стійкості до агресивних середовищ.

Попередньоізольовані труби для теплотрас відповідають всім нормам і мають стандартні розміри, що дозволяють використовувати матеріал у всіх системах і при різних умовах експлуатації.

Застосування ізольованих труб при монтажі теплотрас дає масу переваг в порівнянні з іншими матеріалами:

- труби попередньоізольовані ППУ витримує досить високі температури;
- має мінімальні теплові втрати;
- надійна ізоляція забезпечує можливість безканальної прокладки траси, що економить і засоби, і час;
- труби попередньоізольовані пенополіуратаном практично не виходить з ладу, тому не вимагає великих грошових коштів на обслуговування і ремонт;
- високі технічні характеристики забезпечують досить тривалу експлуатацію теплотраси.

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРЕДІЗОЛЬОВАНИХ ТРУБ

2.1 Вихідні дані

Джерело теплоти – районна опалювальна котельня у м. Київ.

Температурний графік котельні 150/70 °С.

Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $t_{ср\text{оп}} = -0,1$ °С.

Середня температура зовнішнього повітря за міжопалювальний період, $t_{ср\text{моп}} = 23$ °С.

Середня температура зовнішнього повітря за рік, $t_{зп} = 8$ °С.

Середня розрахункова температура ґрунта за опалювальний період, $t_{г\text{роп}} = 0,7$ °С.

Середня розрахункова температура ґрунта за міжопалювальний період, $t_{г\text{рмоп}} = 14$ С.

Середня розрахункова температура ґрунта, $t_{г\text{р}} = 5$ °С.

Середня розрахункова температура теплоносія за опалювальний період у прямому трубопроводі, $t_{o1} = 80$ °С.

Середня розрахункова температура теплоносія за опалювальний період у зворотньому трубопроводі, $t_{o2} = 42$ °С.

Середня температура теплоносія за між опалювальний період на потреби гарячого водопостачання (ГВП) у прямому трубопроводі, $t_{г\text{вп1}} = 65$ °С.

Середня температура теплоносія за між опалювальний період на потреби гарячого водопостачання (ГВП) у зворотньому трубопроводі, $t_{г\text{вп2}} = 55$ °С.

Тривалість опалювального періоду, $n = 176$ діб.

Метою роботи є визначення тепловтрат при транспортуванні теплоносія та визначити енергоефективну ізоляцію для їх зменшення.

2.2 Визначення питомих теплових втрат через теплову ізоляцію трубопроводів теплової мережі при підземній безканалній прокладці трубопроводів.

Загальний вид попередньо ізольованої труби представлено на рисунку 2.1.

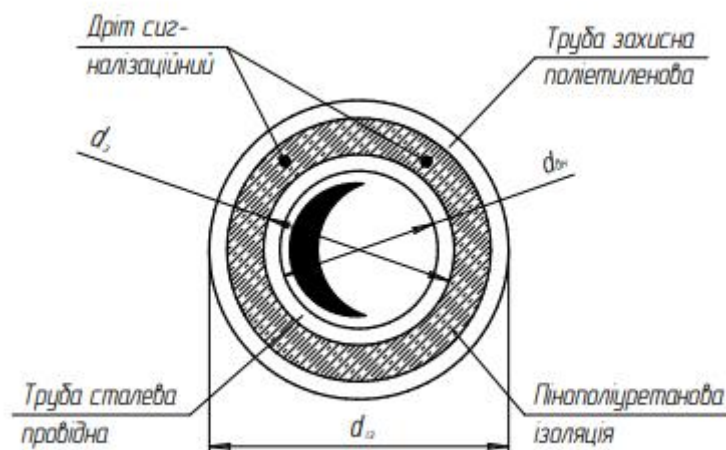


Рисунок 2.1 - Загальний вид попередньо ізольованої труби

Підземна безканална прокладка трубопроводів введена в експлуатацію до 1997 року. Еквівалентний діаметр трубопроводів теплової мережі 500 мм.

Середні різниці температур теплоносія та температури ґрунту, °С

$$\Delta t_{оп} = \frac{\tau_{o1} + \tau_{o2}}{2} - t_{гроп},$$

$$\Delta t_{оп1} = \frac{t_{по1} + t_{o2}}{2} - t_{гр},$$

$$\Delta t_{оп2} = \frac{t_{по2} + t_{o2}}{2} - t_{гр},$$

$$\Delta t_{\text{оп}} = \frac{79 + 42}{2} - 0,7 = 59,8.$$

$$\Delta t_{\text{оп1}} = \frac{65 + 50}{2} - 5 = 52,5.$$

$$\Delta t_{\text{оп2}} = \frac{90 + 50}{2} - 5 = 65.$$

Середні сумарні теплові втрати по прямому та зворотньому трубопроводу

$$q_{\text{сум}} = (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}}) + [(q_{\text{пн2}} + q_{\text{зн2}}) - (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}})] \frac{\Delta t_{\text{оп}} - \Delta t_{\text{оп1}}}{\Delta t_{\text{оп2}} - \Delta t_{\text{оп1}}},$$

де $q_{\text{пн1}}$, $q_{\text{зн1}}$ - норми щільності теплового потоку для прямого та зворотнього трубопроводів зі середньою температурою теплоносія у них 65/50 °С;

$q_{\text{пн2}}$, $q_{\text{зн2}}$ - норми щільності теплового потоку для прямого та зворотнього трубопроводів зі середньою температурою теплоносія у них 95/50 °С.

$$q_{\text{сум}} = (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}}) + [(q_{\text{пн2}} + q_{\text{зн2}}) - (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}})] \frac{\Delta t_{\text{оп}} - \Delta t_{\text{оп1}}}{65 - \Delta t_{\text{оп1}}},$$

Середня різниця температури теплоносія та температури ґрунту, °С

$$\Delta t_{\text{моп}} = \frac{65 + 55}{2} - 14 = 46.$$

Середні сумарні теплові втрати по прямому та зворотньому трубопроводу

$$q_{\text{сум}} = (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}}) + [(q_{\text{пн2}} + q_{\text{зн2}}) - (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}})] \frac{\Delta t_{\text{оп}} - \Delta t_{\text{оп1}}}{65 - \Delta t_{\text{оп1}}},$$

Для підземної прокладки у непрохідних каналах теплових мереж з ППУ тепловою ізоляцією

Середні сумарні теплові втрати по прямому та зворотньому трубопроводу у опалювальний період

$$q_{\text{сум}} = (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}}) + [(q_{\text{пн2}} + q_{\text{зн2}}) - (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}})] \frac{\Delta t_{\text{оп}} - \Delta t_{\text{оп1}}}{\Delta t_{\text{оп2}} - \Delta t_{\text{оп1}}}$$

Середні сумарні теплові втрати по прямому та зворотньому трубопроводу у міжопалювальний період

$$q_{\text{сум}} = (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}}) + [(q_{\text{пн2}} + q_{\text{зн2}}) - (q_{\text{пн1}} + q_{\text{зн1}})] \frac{\Delta t_{\text{оп}} - \Delta t_{\text{оп1}}}{\Delta t_{\text{оп2}} - \Delta t_{\text{оп1}}}$$

2.3 Визначення питомих теплових втрат енергії трубопроводів теплової мережі при наземній прокладці

Середні сумарні теплові втрати по прямому та зворотньому трубопроводу у опалювальний період

$$q_{\text{сум}} = \left[(q_{\text{пн1}} + (q_{\text{пн1}} - q_{\text{зн1}}) \frac{(t_{o1} - t_{\text{сроп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}{(t_{o1} - t_{\text{зп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}) \right] + \left((q_{\text{пн1}} + (q_{\text{пн1}} - q_{\text{зн1}}) \frac{(t_{o2} - t_{\text{сроп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}{(t_{o1} - t_{\text{зп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}) \right)$$

Середні сумарні теплові втрати по прямому та зворотньому трубопроводу у міжопалювальний період

$$q_{\text{сум}} = \left[(q_{\text{пн1}} + (q_{\text{пн1}} - q_{\text{зн1}}) \frac{(t_{o1} - t_{\text{сроп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}{(t_{o1} - t_{\text{зп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}) \right] + \left((q_{\text{пн1}} + (q_{\text{пн1}} - q_{\text{зн1}}) \frac{(t_{o2} - t_{\text{сроп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}{(t_{o1} - t_{\text{зп}}) - (t_{o2} - t_{\text{зп}})}) \right)$$

2.4 Визначення нормативних та фактичних теплових втрат теплової енергії

Попередньоізолювана труба представляє собою систему труба в трубі між якими існує прошарок пінополіуретану. Поліуретанова піна утворюється з рідини, яка поступово стає все більш вузькою і, в кінцевому рахунку, гелеобразною.

Властивості жорстких поліуретанових пін, як і всіх композиційних матеріалів, залежать від їх складу і структури. Вони не є ізотропним і однофазними, всі властивості визначаються формою і орієнтацією осередків піни. Властивості полімерних пін сильно залежать від щільності або, іншими словами, відносної кількості полімерної і газової фаз. Зміни, викликані поглинанням води або дифузією газів в осередку піни, можуть серйозно вплинути на їх властивості. Широке використання жорстких пінополіуретанів в якості теплоізоляції засноване на низькому значенні їх теплопровідності. Більшість ізоляційних пін складається з закритих осередків, які містять пари інертних піноутворювачів.

Теплопередача через конкретний пінополіуретан відбувається за допомогою радіації, конвекції всередині осередків і провідності через полімерну сітку, а також за рахунок провідності пари. Теплопровідність є результатом не тільки складу газу, але також щільності піни і її структури. Радіаційний компонент при цьому становить приблизно одну чверть від значення загальної теплопередачі. Промислові піни містять, крім вспінювача,

невелику кількість повітря і CO_2 . Зміст пара в осередках піни прагне до рівноваги з навколишнім середовищем за рахунок дифузії повітря всередину, а піноутворювача - назовні з осередків.

Для цивілізованого світу енергозберігаюча циклопентанова технологія спінювання давно стала звичайною і успішно застосовується більше 10 років в країнах Західної Європи. Сьогодні це новий рівень науково-технічного прогресу на виробництві, що дозволяє отримати коефіцієнт теплопровідності ізоляції не вище $0,027 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Теплоізоляція труб ППУ на основі циклопентана практично не схильна до процесів старіння, має низку переваг: зменшений коефіцієнт теплопровідності $0,027 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ в порівнянні з піною на основі водних вспінювачів ($0,033 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) і забезпечує стабільні теплофізичні параметри піни протягом нормативного терміну експлуатації трубопроводу (30 років); відповідає вимогам екологічних норм Євросоюзу (див. рис. 2.2).

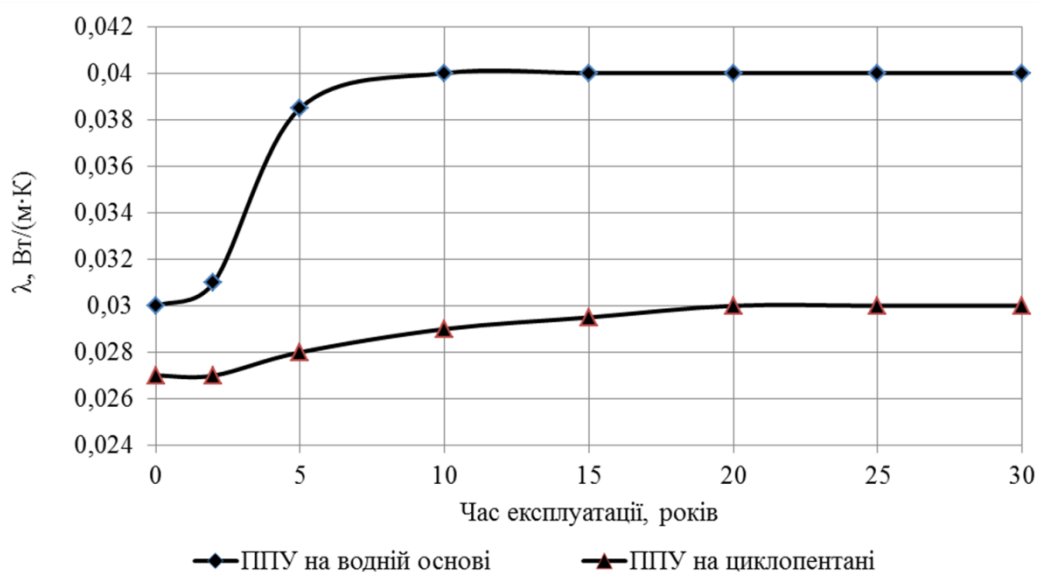


Рисунок 2.2 - Залежність коефіцієнту теплопровідності від часу експлуатації

Нами було проведено дослідження, метою яких було визначення теплових потоків, теплових втрат, а також необхідних товщини ППУ ізоляції для умов його виробництва на основі циклопентану при збереженні величини

теплових втрат для ізоляції, по якій розроблявся ГОСТ 30732-2006. На підставі поставленої мети досліджень були сформульовані такі завдання:

1. Розрахунок теплових потоків при товщині теплової ізоляції відповідно до ГОСТ 30732-2006 при різній теплопровідності ППУ на основі CO₂ і циклопентану;

2. Розрахунок однаковою для виходу та повернення води товщини теплової ізоляції при теплових потоках відповідно до ГОСТ 30732-2006, але при зниженому коефіцієнті теплопровідності ППУ на основі циклопентану;

3. Розрахунок товщини теплової ізоляції на зворотному трубопроводі зі збереженням її величини для трубопроводу, що подає при теплових потоках з ГОСТ 30732-2006 і зниженою величиною коефіцієнта теплопровідності ППУ на основі циклопентану.

Для попередньо визначених умов розрахунку по поставленим завданням отримані наступні результати.

Побудовано графіки залежностей сумарних теплових потоків на подавальних і зворотних лініях теплотрас від їх діаметра і відповідає ГОСТ 30732-2006 товщині ізоляції, виконаної з ППУ на основі CO₂ і циклопентану (див. рис.2.3).

Як впливає з наведеного графіка, зниження теплового потоку при переході на ППУ на основі циклопентана при тій же товщині теплоізоляційного шару становить (7...9) % по відношенню до ППУ на основі CO₂. Це дозволяє говорити про енергозберігаючому ефекті в експлуатаційних умовах теплових мереж при використанні удосконаленої теплової ізоляції.

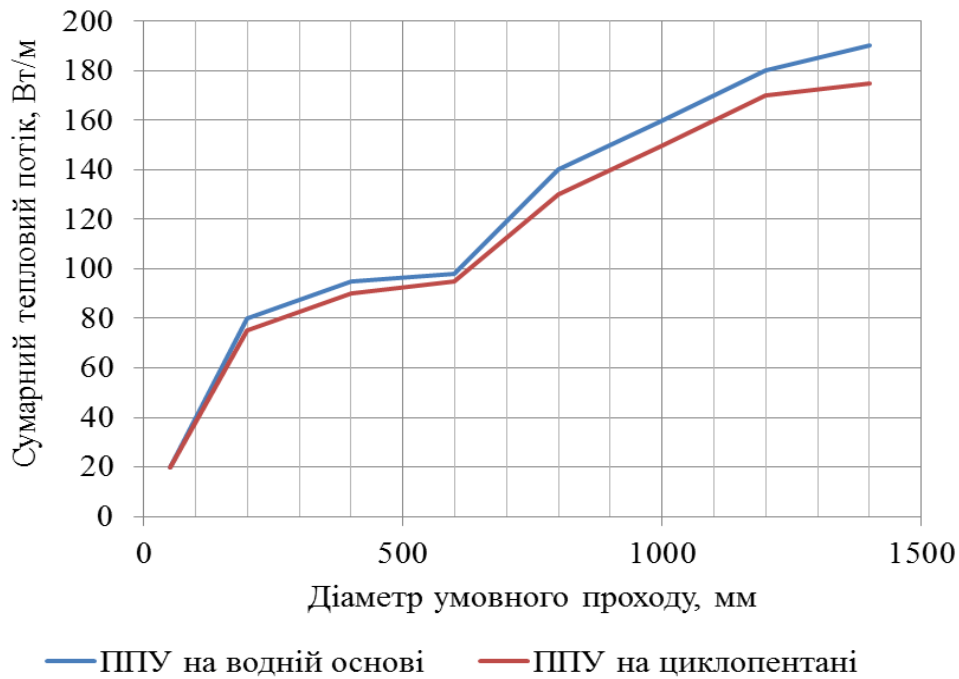


Рисунок 2.3 – Теплові втрати для різних видів попередньоізольованих труб

За другою задачею були отримані залежності необхідних товщини ізоляції ППУ на основі CO_2 і циклопентана при однакових теплових потоках (див. рис. 2.4), визначених за ГОСТ 30732-2006 для ППУ на вуглекислотному піноутворювачі.

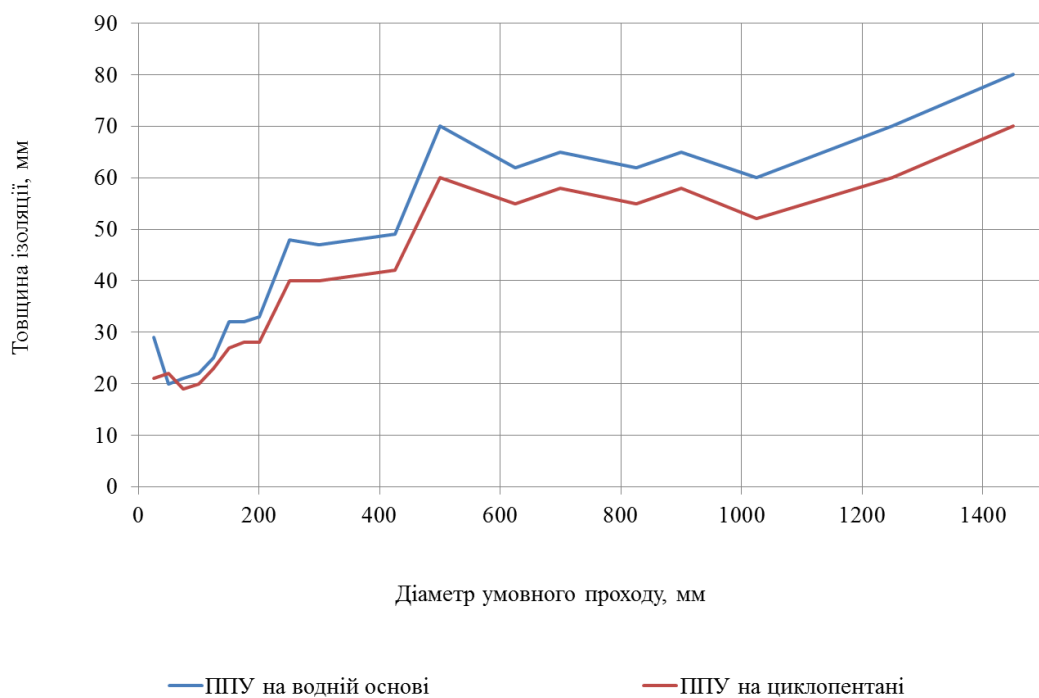


Рисунок 2.4 – Товщина ізоляції різних видів попередньоізольованих труб

Як впливає з наведеного графіка, має місце зниження товщини теплоізоляційного шару, в середньому на 12 %, при меншому коефіцієнті теплопровідності матеріалу і однакових теплових потоках. Таке зниження відзначається для всіх діаметрів. При цьому найбільше зниження в процентному відношенні (16,7 %) відповідає найменшим діаметрами, і його величина зменшується до 10,3 % при діаметрі 1400 мм.

Отримана зміна товщини теплової ізоляції при однаковій величині теплових потоків дає можливість зменшення необхідної кількості теплоізоляційного матеріалу і призводить до відповідного зниження вартості будівництва або перекладки теплових мереж.

За результатами розрахунків третього завдання, при зниженні товщини на зворотному трубопроводі для ППУ ізоляції на основі циклопентану при однаковою сумарною величиною теплових потоків відбулося їх перерозподіл між подає і зворотним трубопроводами в порівнянні з розподілом при однаковій товщині теплоізоляції (див. рис. 2.5).

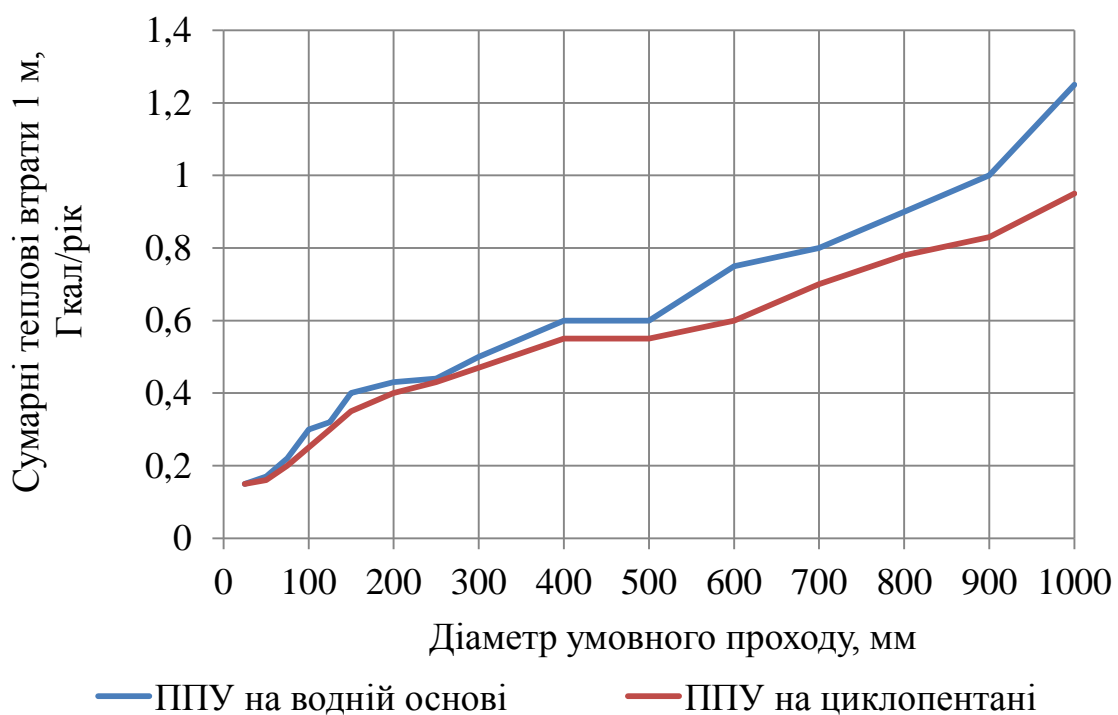


Рисунок 2.5 – Сумарні теплові втрати різних видів попередньоізольованих труб

Досягається зниження в середньому на 16% сумарної товщини теплової ізоляції для виходу та повернення води в порівнянні з їх однаковою товщиною для обох трубопроводів. Такий результат дозволяє говорити про економію теплової ізоляції при прокладці трубопроводів теплових мереж з тим же низьким рівнем сумарних теплових втрат.

Крім того, отримано перерозподіл теплових потоків між подаючим і зворотним трубопроводами дозволяє отримати додатковий енергозберігаючий ефект при теплопостачанні за рахунок регулювання витрати теплоносія, що забезпечує зниження температури в зворотній лінії на джерелі тепла.

Побудовано графіки теплових втрат, отримані з використанням методики, представленої в [3] для ряду типорозмірів труб по ГОСТ 30732 - 2006 при безканальній прокладці і наступних умовах експлуатації: температурний графік 130/70; коефіцієнт теплопровідності ґрунту - 1,5 Вт/(м°С); температура ґрунту - 5,8 °С; тривалість опалювального періоду 215 діб.

2.5 Проектування трубопроводів з пінополіуретановою ізоляцією

Основною характеристикою теплоізоляційних конструкцій є товщина теплоізоляційного шару, що визначає витрати матеріалу і величину теплових втрат в теплових мережах.

В даний час, виробництво труб з пінополіуретановою (ППУ) ізоляцією регламентується ДСТУ 30732-2006 (далі ДСТУ) [72], в якому дано товщини теплової ізоляції, однакові для подавального і зворотнього трубопроводів та інші характеристики. При цьому, зазначений ДСТУ регламентує значення товщини ППУ ізоляції в залежності тільки від діаметра труб, незалежно від температурних умов роботи теплопроводів. Це дозволяє уніфікувати виробництво, проте при цьому втрачається зв'язок з ефективністю транспорту тепла по величині теплових втрат при різних температурних умовах в теплових мережах.

У той же час такий зв'язок в першому наближенні встановлюється вимогами по нормуванню теплових втрат, які визначаються СНіП 41-03-2003 (далі - СНіП) [73]. Цей нормативний документ регламентує лінійну щільність теплового потоку через теплову ізоляцію для різних умов роботи трубопроводів тепломережі. При цьому тепловтрати нормуються в залежності від: типу прокладки (на відкритому повітрі, в приміщенні, при підземній каналній і безканалній прокладці), кліматичних умов регіону (температури навколишнього середовища і тривалість роботи, год/рік), температурного графіка тепломережі (параметр в СНіП - середньорічна температура теплоносія). Таким чином, можна говорити про те, що в розглянутому СНіП враховуються всі основні фактори, що впливають на величину тепловтрат через ізоляцію трубопроводів тепломереж.

Для оцінки впливу прийнятого для проектування трубопроводів нормативного документа при різних типах прокладок і однакових температурних умовах наведемо отримані розрахунковим шляхом величини теплових втрат для трубопроводів з товщиною теплової ізоляції відповідно до ГОСТ в зіставленні з величиною нормативів теплових втрат і необхідною товщиною теплової ізоляції при використанні даних СНіП .

У розрахунках значення температури навколишнього середовища (повітря і ґрунту) приймалися для середньоєвропейських умов України.

Температури мережевої води в подавальних і зворотних трубопроводах відповідно до таблиць СНіП приймалися рівними 90 °С і 50 °С, що відповідає температурному графіку теплових мереж 150/70 °С.

Коефіцієнт теплопровідності ППУ ізоляції приймався рівним $0,033 + 0,00015 \cdot T_{cp}$ Вт/(м·К).

Розрахунки проводилися з урахуванням термічного опору поліетиленової оболонки при коефіцієнті її теплопровідності 0,4 Вт/(м·К).

Товщина поліетиленової оболонки приймалася по ГОСТ для відповідних діаметрів трубопроводів.

Розрахунки проводилися для двох типів прокладок теплових мереж: безканальної і в непрохідних каналах, для всіх діаметрів трубопроводів, наведених в ГОСТ.

При розрахунках теплової ізоляції і тепловтрат трубопроводів безканальної прокладок були прийняті наступні вихідні дані.

Розрахунки проводилися за даними для безканальної прокладок трубопроводів із середньою глибиною залягання, яка визначається з умови глибини 0,6 м від поверхні поліетиленової оболонки теплової ізоляції. Відстань між осями трубопроводів визначалося з умов по відстані між оболонками:

- 150 мм при діаметрах 200 мм і менше;
- 250 мм при діаметрах більше 250 мм.

Теплопровідність ґрунту приймалась рівною 1,83 Вт/(м·К).

Середньорічна температура ґрунту на середній глибині закладення осей трубопроводів за даними для розглянутого населеного пункту приймалась рівною 6,4 °С.

При розрахунках теплової ізоляції і тепловтрат трубопроводів в непрохідних каналах були прийняті наступні вихідні дані:

- розрахунки проводилися за даними для прокладок трубопроводів в непрохідних каналах з середньою глибиною залягання по розглянутій тепловій мережі 2,4 м;

- габарити каналів для розглянутих діаметрів трубопроводів приймалися для серії магістральних каналів;

- значення теплопровідності ґрунту, середньорічних температур мережної води в прямому та зворотному лініях, коефіцієнта теплопровідності ППУ ізоляції приймалися такими ж, як і для безканальної прокладки;

- середньорічна температура ґрунту на середній глибині закладення осей трубопроводів за даними для розглянутого населеного пункту приймалась рівною 7,51 °С.

Розрахунки товщини теплової ізоляції і теплових втрат проводилися відповідно до формулами і методиками, наведеними в Зводі правил з проектування теплової ізоляції СП 41-103-2000 [74].

Результати виконаних розрахунків наведені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 - Результати розрахунків теплових потоків і товщин ізоляції при безканальній прокладці

D _y , мм	ДСТУ 30732				СНіП 41-03-2003			
	Товщина под., мм	Товщина звор., мм	Товщина сум., мм	Втрати, Вт/м	Товщина под., мм	Товщина звор., мм	Товщина сум., мм	Втрати, Вт/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	31,5	31,5	63,0	37,2	27,2	27,2	54,4	41,0
80	32,5	32,5	65,0	49,9	30,5	30,5	60,9	52,0
100	33,0	33,0	66,0	56,1	31,4	31,4	62,7	58,0
125	42,5	42,5	85,0	55,0	32,3	32,3	64,5	66,0
150	41,5	41,5	83,0	63,5	33,7	33,7	67,4	73,0
200	42,0	42,0	84,0	79,7	33,5	33,5	66,9	93,0
270	57,0	57,0	114,0	76,8	35,8	35,8	71,6	106,0
300	55,5	55,5	111,0	89,4	35,9	35,9	71,7	121,0
400	58,2	58,2	116,4	106,6	36,1	36,1	72,2	148,0
500	78,9	78,9	157,8	101,8	35,7	35,7	71,3	176,0
600	72,5	72,5	145,0	124,1	34,4	34,4	68,9	205,0
700	76,0	76,0	152,0	133,4	33,8	33,8	67,6	229,0
800	72,4	72,4	144,8	153,3	32,7	32,7	65,5	257,0
900	74,4	74,4	148,8	164,8	31,8	31,8	63,6	284,0
1000	70,4	70,4	140,8	186,1	30,7	30,7	61,4	312,0
1200	79,0	79,0	158,0	198,2	28,5	28,5	56,9	368,0
1400	90,0	90,0	180,0	204,4	26,1	26,1	52,2	425,0

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків теплових потоків і товщин ізоляції при прокладці у непрохідних каналах

D _y , мм	ДСТУ 30732				СНіП 41-03-2003			
	Товщина под., мм	Товщина звор., мм	Товщина сум., мм	Втрати, Вт/м	Товщина под., мм	Товщина звор., мм	Товщина сум., мм	Втрати, Вт/м
50	31,5	31,5	63,0	32,4	36,5	36,5	73,0	30,0
80	32,5	32,5	65,0	41,8	40,7	40,7	81,4	37,0
100	33,0	33,0	66,0	46,4	43,1	43,1	86,3	40,0
150	41,5	41,5	83,0	53,2	46,2	46,2	92,4	50,0
200	42,0	42,0	84,0	64,5	46,4	46,4	92,8	61,0
270	57,0	57,0	114,0	61,7	51,0	51,0	102,0	71,0
300	55,5	55,5	111,0	75,7	51,7	51,7	103,5	79,0
400	58,2	58,2	116,4	87,7	50,0	50,0	100,0	96,0
500	78,9	78,9	157,8	86,6	51,0	51,0	101,9	113,0
600	72,5	72,5	145,0	102,3	48,7	48,7	97,4	129,0
700	76,0	76,0	152,0	111,9	49,6	49,6	99,2	144,0
800	72,4	72,4	144,8	125,5	47,1	47,1	94,2	160,0
900	74,4	74,4	148,8	136,6	47,7	47,7	95,4	176,0
1000	70,4	70,4	140,8	155,1	48,3	48,3	96,5	192,0
1200	79,0	79,0	158,0	162,2	42,8	42,8	85,6	225,0
1400	90,0	90,0	180,0	171,4	43,0	43,0	86,1	256,0

При цьому отримані наступні співвідношення величин теплових втрат по ГОСТ і СНіП.

Для безканальної прокладки при прийнятих температурних умовах при всіх діаметрах (50...1400) мм лінійна щільність теплового потоку теплових втрат, що визначається за діаметрами відповідно до СНіП, перевершує аналогічні втрати по ДСТУ (більш жорсткі вимоги до теплових втрат за ДСТУ). При цьому товщини теплової ізоляції для теплових втрат по СНіП відповідно менше, ніж прийнято в ДСТУ (див. табл. 2.1).

При прокладанні в непрохідних каналах ситуація інша. Є якийсь «перехідний» діаметр. Для діаметрів трубопроводів до D_y = 200 мм включно,

лінійна щільність тепловтрат за ДСТУ (відповідна товщинам ППУ ізоляції, зазначеним в ДСТУ, і розрахована за Зводом правил) перевищує таку по СНіП. При діаметрах трубопроводів понад $D_u = 200$ мм спостерігається зворотне співвідношення: тепловтрати по СНіП перевищують аналогічні, розраховані для товщини теплової ізоляції за ДСТУ. Ставлення товщини теплової ізоляції відповідно має зворотний порядок.

Слід зазначити, що отримані співвідношення визначаються температурними умовами роботи теплових мереж. При інших кліматичних умовах і температурних графіках величини «перехідних» діаметрів можуть відрізнятись від наведених вище.

З наведених результатів випливає, що величина теплових втрат при безканальній прокладці і товщині теплової ізоляції відповідно до ДСТУ істотно менше, ніж це регламентується СНіП. Можливо, це обумовлено умовами виробництва теплоізолюваних труб.

Для прокладки в непрохідних каналах при малих діаметрах трубопроводів, які є найбільш вживаними на кінцевих ділянках теплових мереж і мають значну сумарну протяжність, прийняті в ДСТУ товщини ППУ ізоляції не забезпечують нормативну величину теплових потоків, регламентовану СНіП, що може призводити до підвищених втрат при транспортуванні мережевий води.

З огляду на ту обставину, що норми теплових втрат в СНіП визначаються в тому числі і економічними міркуваннями (включаючи вартість теплової ізоляції і допустимий рівень теплових втрат), представляється доцільним провести перегляд товщини ППУ ізоляції з урахуванням прийнятих в СНіП значень цих втрат і передбачати різні товщини ППУ ізоляції в залежності від кліматичних районів використання і температурних графіків теплових мереж.

2.6 Пропозиції з оптимізації товщин теплової ізоляції

Слід зазначити, що для підземних прокладок (безканальної і в непрохідних каналах) в СНіП вказані сумарні значення теплових потоків прямих і зворотних трубопроводів. Відповідно до загальноприйнятої практики проектування теплової ізоляції при цьому зводиться до визначення необхідної товщини теплоізоляційних конструкцій, однаковою для подачі та повернення води, таких, щоб при середньорічних (середньосезонних) умовах роботи теплопроводів забезпечувався нормативний тепловий потік через ізоляцію.

Однак такий підхід видається нерациональним з наступних причин.

Як показує аналіз застосовуваних формул, забезпечення необхідного сумарного теплового потоку може бути отримано при різних співвідношеннях товщин теплової ізоляції подачі та повернення води. При цьому можуть бути визначені такі товщини, при яких сумарна їх величина буде мати найменше значення серед усіх можливих варіантів розподілу теплової ізоляції між подавальним і зворотним трубопроводами. Такий результат має місце при збільшенні товщини трубопроводу, що подає з одночасним її зниженням на зворотному трубопроводі і призводить до сумарної економії матеріалу теплової ізоляції.

Крім того, реалізація зазначеного перерозподілу призведе до зниження теплових втрат в подавальних трубопроводах і відповідного їх зростання в зворотних, в порівнянні з їх величиною при однакових товщинах.

Зниження теплових втрат в подавальних трубопроводах теплових мереж призведе до підвищення температури прямої мережаної води безпосередньо перед споживачами, що при наявності регуляторів викличе скорочення об'ємів води, що перекачується в тепловій мережі, і зниження температури води після споживачів. Додаткове зниження температури зворотної мережаної води буде отримано на теплогерелі за рахунок підвищених теплових втрат в зворотних трубопроводах.

Таким чином, розглядається перерозподіл товщини теплової ізоляції між подавальним і зворотним трубопроводами, що буде супроводжуватися зниженням витрат води в мережах і витрат електроенергії на її перекачування. Зниження температури в зворотній лінії при теплопостачанні від ТЕЦ дозволить збільшити вироблення електроенергії на тепловому споживанні за рахунок зниження тиску в нижньому теплофікаційному відборі.

Все це дозволяє говорити про виражений енергозберігаючий ефект при виробництві і транспорті теплоносія в теплових мережах, що супроводжується одночасним зниженням витрат на теплову ізоляцію трубопроводів.

Для визначення величини зниження витрат теплоізоляційного матеріалу були проведені відповідні розрахунки для безканалної прокладки і прокладки в непрохідних каналах при наведених вище вихідних даних по температурним режимам і умов закладення.

Метою розрахунків було визначення мінімальної сумарної товщини теплової ізоляції (при дотриманні сумарного нормативного теплового потоку через ізоляцію), що забезпечує більш сприятливий розподіл теплових витрат між подавальним і зворотними трубопроводами.

Для всіх діаметрів трубопроводів з ДСТУ проводилися такі розрахунки:

а) для товщини ППУ ізоляції при всіх діаметрах трубопроводів теплових мереж відповідно до ДСТУ визначалася сумарна щільність теплового потоку теплових витрат (див. вище);

б) відповідно до СП визначалися однакові для подавального та зворотного трубопроводів води товщини ППУ ізоляції такі, щоб сумарний тепловий потік через ізоляцію відповідав нормам СНіП для розглянутих типів прокладки та умов роботи теплопроводів. При цьому значення товщини теплоізоляції приймалися однаковими для подавального та зворотного трубопроводів;

в) для подавального трубопроводу, товщина ППУ ізоляції приймалася відповідно до ДСТУ. Товщина ізоляції на зворотному трубопроводі

підбиралася таким чином, щоб сумарні тепловтрати прокладки відповідали нормам СНіП (варіант №1).

г) була проведена оптимізація (мінімізація) сумарної товщини ізоляції для розглянутих прокладок, по результатами якої підбиралися такі значення товщини ізоляції для подавального та зворотного трубопроводів, щоб сумарна товщина ізоляції обох трубопроводів при забезпеченні нормованої в СНіП щільності теплових втрат була мінімальною (варіант №2).

Розрахунки товщини теплової ізоляції для безканальної прокладки за варіантами №1 і №2 проводилися за всіма діаметрами вихідних даних, наведених в таблиці 2.1.

Результати всіх розрахунків щільності теплових потоків при прийнятих умовах для безканальної прокладки наведені в таблиці 2.3. Результати розрахунку товщини теплової ізоляції для безканальної прокладки, відповідають наведеним у таблиці 2.3 тепловим потокам, представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунків теплових потоків для безканальної прокладки

D _y , мм	Сумарна лінійна щільність теплового потоку, Вт/м		Лінійна щільність теплового потоку по подавальній лінії, Вт/м				Лінійна щільність теплового потоку по подавальній лінії, Вт/м			
	ДСТУ ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	СНіП ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	ДСТУ ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	СНіП ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	Варі- ант 1	Варі- ант 2	ДСТУ ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	СНіП ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	Варі- ант 1	Варі- ант 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	37,2	41,0	25,7	28,3	25,5	25,3	11,5	12,8	15,5	15,7
80	49,9	52,0	34,5	36	34,3	32,3	15,4	16	17,7	19,7
100	56,1	58,0	38,9	40,2	38,7	35,4	17,2	17,8	19,3	22,6
125	55	66,0	38	46	37,4	40,4	17	20,1	28,6	25,6
150	63,5	73,0	44	50,9	43,4	44,9	19,5	22,1	29,6	28,1
200	79,7	93,0	55,6	65,3	54,6	56,2	24,1	27,7	38,3	36,8
270	76,8	106,0	53,1	74,1	51,5	65,6	23,7	31,8	54,4	40,4

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
300	89,4	121,0	62	84,9	60,1	73,8	27,4	36	60,9	47,3
400	106,6	148,0	74,1	104,6	71,4	90,8	32,5	43,4	76,6	57,2
500	101,8	176,0	70,5	125,1	66,2	108,6	31,3	50,8	109,8	67,4
600	124,1	205,0	86,3	146,8	80,8	126,9	37,7	58,2	124,2	78,1
700	133,4	229,0	92,9	164,8	86,2	142,3	40,5	64,2	142,8	86,7
800	153,3	257,0	107,2	186,1	99	160,3	46,1	70,9	158	96,7
900	164,8	284,0	115,4	206,8	105,7	177,9	49,4	77,2	178,3	106,2
1000	186,1	312,0	130,9	228,7	119,4	196,1	55,2	83,3	192,6	115,9
1200	198,2	368,0	139,4	273,1	123,9	233	58,8	94,9	244,1	135
1400	204,4	425,0	143,5	319,8	123,9	271,1	60,8	105,2	301,2	153,9

У таблиці 2.4 наведені сумарні товщини теплової ізоляції у подавальному і зворотному трубопроводах, а також питомі її обсяги на 1 м довжини трубопроводів. Останні значення представляють собою сумарну площу поперечного перерізу ізоляції, що характеризують витрати теплоізоляційного матеріалу.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунків товщин ізоляції для безканальної прокладки

D _y , мм	Сумарна товщина ізоляції, δ _{сум} , Вт/м				Сумарний питомий об'єм теплової ізоляції, V _y , м ³ /м				Порівняння з ДСТУ (V _{y вар} / V _{y ДСТУ})·100%		Порівняння зі СНіП (V _{y вар} / V _{y СНіП})·100%	
	ДСТУ (δ _{пол} =δ _{звор})	СНіП (δ _{пол} =δ _{звор})	Варіант 1	Варіант 2	ДСТУ (δ _{пол} =δ _{звор})	СНіП (δ _{пол} =δ _{звор})	Варіант 1	Варіант 2	ДСТУ (δ _{пол} =δ _{звор})	СНіП (δ _{пол} =δ _{звор})	Варіант 1	Варіант 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12
50	63,0	54,4	51,6	52,3	0,018	0,014	0,014	0,014	77,8	79,3	94,7	96,5
80	65,0	60,9	59,0	58,4	0,025	0,023	0,022	0,022	88,8	88,3	96,4	95,9
100	66,0	52,7	61,0	60,1	0,029	0,027	0,027	0,026	90,9	90,2	95,8	96,1
125	85,0	64,5	62,8	61,8	0,047	0,033	0,033	0,032	70,9	68,6	99,2	96,0
150	83,0	67,4	64,6	64,4	0,052	0,041	0,039	0,039	75,3	74,7	96,5	95,7
200	84,0	66,9	64,1	63,8	0,069	0,053	0,051	0,051	74,3	73,6	96,5	95,6
270	114,0	71,6	74,9	68,2	0,118	0,069	0,075	0,066	63,8	56,0	108,6	95,3
300	111,0	71,7	73,7	68,2	0,133	0,081	0,086	0,077	64,8	58,3	105,8	95,2
400	116,4	72,2	75,3	68,5	0,177	0,105	0,112	0,099	63,5	56,2	107,2	94,9
500	157,8	71,3	91,2	67,4	0,302	0,127	0,172	0,120	56,9	39,7	135,7	94,5
600	145,0	68,9	84,3	64,8	0,320	0,144	0,184	0,135	57,4	42,3	127,8	94,1
700	152,0	67,6	86,4	63,4	0,380	0,160	0,214	0,150	56,3	39,5	133,6	93,8
800	144,8	65,5	82,0	61,1	0,406	0,175	0,228	0,164	56,2	40,4	130,1	93,4
900	148,8	63,6	82,7	59,2	0,465	0,190	0,257	0,177	55,2	38,1	134,8	93,0
1000	140,8	61,4	78,0	56,8	0,482	0,203	0,266	0,188	55,1	38,9	131,0	92,6

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12
1200	158,0	56,9	83,3	52,1	0,645	0,223	0,339	0,205	52,6	31,7	151,8	91,6
1400	180,0	52,2	91,4	47,2	0,854	0,237	0,433	0,215	50,7	25,1	182,5	90,4

Залежності величин теплових потоків у подавальному і зворотному трубопроводах для різних умов підбора товщин теплової ізоляції наведені на рисунку 2.6 і 2.7.

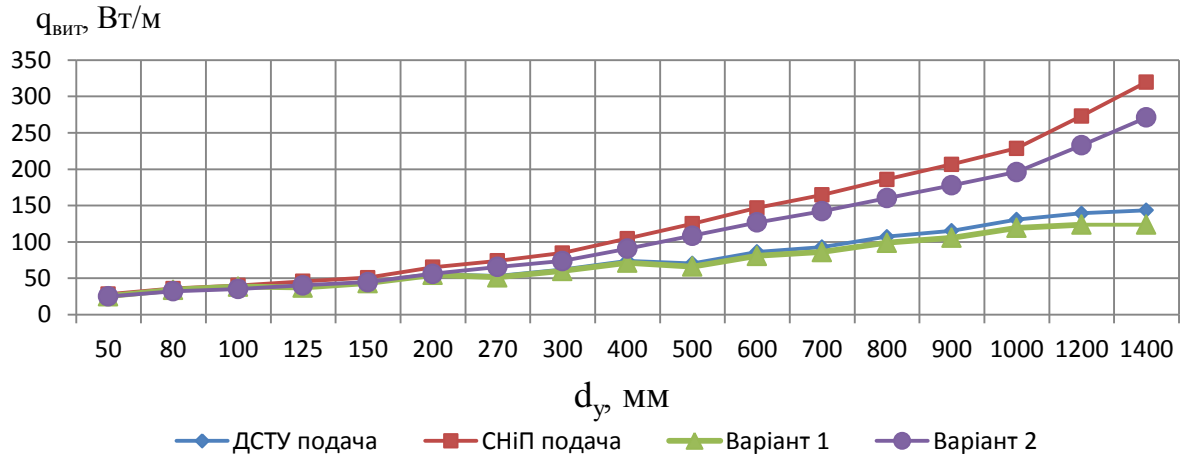


Рисунок 2.6 - Лінійна щільність теплового потоку для безканалної прокладки при умовах вибору теплової ізоляції подавального варіанту

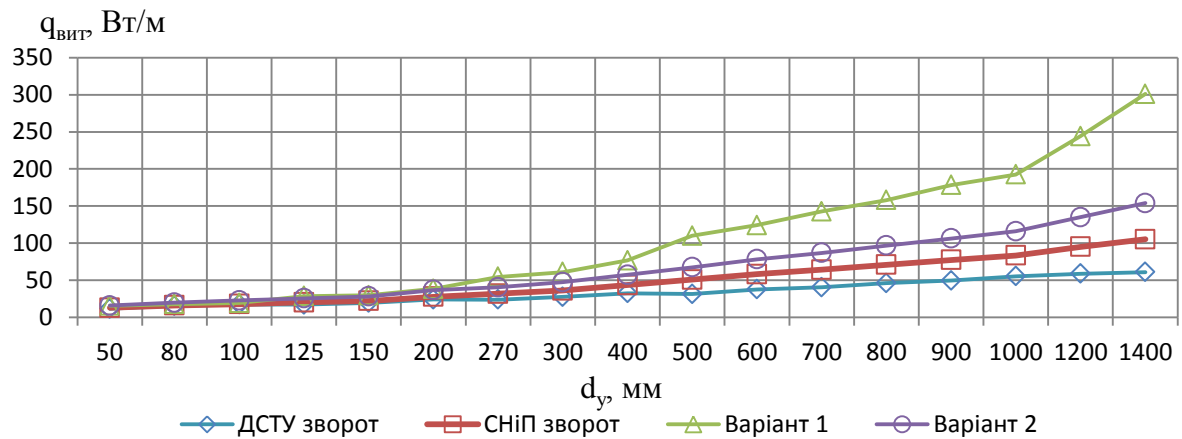


Рисунок 2.7 - Лінійна щільність теплового потоку для безканалної прокладки при умовах вибору теплової ізоляції зворотного варіанту

Як впливає з наведених таблиць і рисунків, лінійні теплові потоки (теплові втрати) для товщини ізоляції за СНіП перевершують аналогічні значення, визначені відповідно до ДСТУ. Це відноситься також і до теплових потоків подавальних і зворотних трубопроводів окремо.

Використання варіанту №1 при сумарній величині теплових потоків за СНіП призводить разом з цим, до їх зниження у подавальному трубопроводі до величин, менших, ніж при товщині за ДСТУ (найменший рівень теплових потоків у подавальному трубопроводі). При цьому істотно зростають теплові потоки у зворотному трубопроводі. Теплові потоки в зворотному трубопроводі для цих умов збільшуються до рівня, відповідного потокам у подавальному трубопроводі, отриманим на підставі СНіП, і характеризуються найбільшим рівнем для зворотних трубопроводів (по всіх варіантах).

Теплові потоки для варіанта №2 у подавальному трубопроводі перевершують значення, що відповідають умовам ДСТУ, і знаходяться в проміжку між значеннями за СНіП та за варіантом №1. Теплові потоки для варіанта №2 по зворотному трубопроводі при більшості діаметрів менші, ніж за ДСТУ.

З точки зору економії витрат на перекачку мережаної води розподіл теплових втрат між подавальним та зворотним трубопроводами для варіанта №1 є найбільш переважними, оскільки характеризуються найменшими втратами подавального, і найбільшими за зворотним трубопроводами. Ці умови забезпечують найбільший енергозберігаючий ефект.

Дещо інші результати мають місце при аналізі товщини і обсягів теплової ізоляції, необхідної для забезпечення наведених вище теплових потоків. Найбільші товщини має теплова ізоляція, прийнята відповідно до вимог ДСТУ. Істотно менші товщини і потреби в матеріалі виходять при розрахунках за нормами СНіП, що обумовлюється більшою регламентованою величиною лінійних теплових потоків.

За варіантом №1 сумарні товщини при діаметрах менше 250 мм мають менші значення, що визначаються відповідно до СНіП, а при великих діаметрах

перевершують вказані значення. Найменша сумарна товщина і потреба в теплоізоляційних матеріалах виходить за результатами розрахунків для варіанта №2, що і є метою оптимізації цієї товщини.

Залежність відсоткових показників, що відповідають необхідному питомому об'єму для варіантів №1 і №2 у порівнянні з цими величинами для СНіП і ДСТУ при безканальній прокладці наведені на рисунках 2.8 і 2.9.

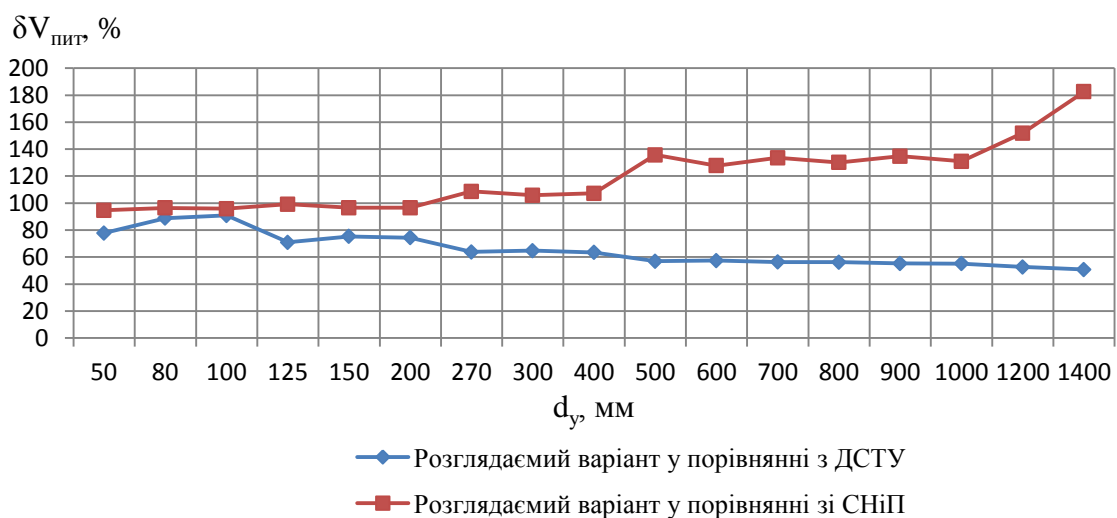


Рисунок 2.8 - Порівняння питомих об'ємів теплової ізоляції, розрахованої за варіантом №1, з ДСТУ і СНіП

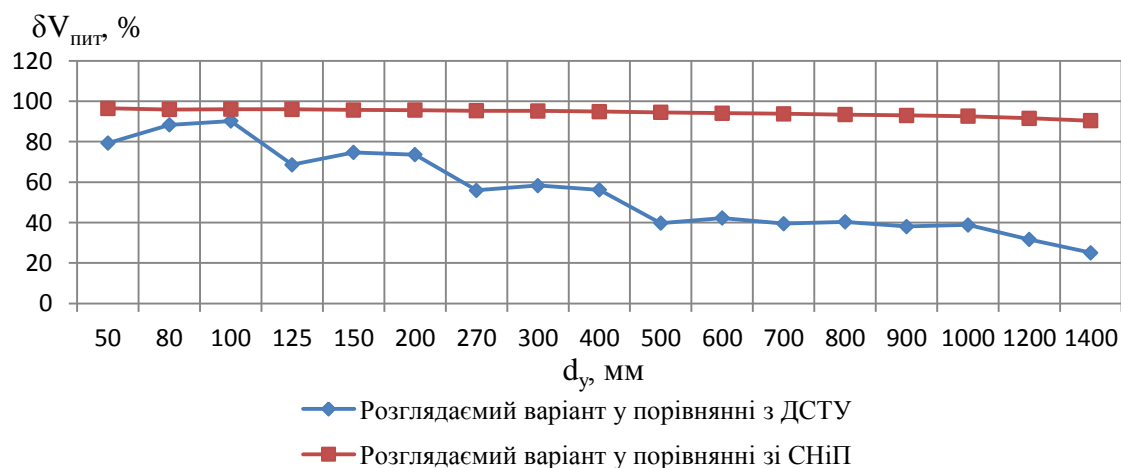


Рисунок 2.9 - Порівняння питомих об'ємів теплової ізоляції, розрахованої за варіантом №2, з ДСТУ і СНіП

Розрахунки для прокладки в непрохідному каналі також проводилися для всіх діаметрів трубопроводів, наведених в ДСТУ. Результати всіх розрахунків теплових потоків для розглянутого типу прокладки наведені в таблиці 2.5. Відповідні товщини теплової ізоляції і її питомі обсяги для непрохідного каналу при різних варіантах наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.5 - Результати розрахунків теплових потоків для прокладки у непрохідному каналі

D _y , мм	Сумарна лінійна щільність теплового потоку, Вт/м		Лінійна щільність теплового потоку по подавальній лінії, Вт/м				Лінійна щільність теплового потоку по подавальній лінії, Вт/м			
	ДСТУ ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	СНіП ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	ДСТУ ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	СНіП ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	Варі- ант 1	Варі- ант 2	ДСТУ ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	СНіП ($\delta_{\text{под}} = \delta_{\text{звор}}$)	Варі- ант №1	Варі- ант №2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	32,4	30,0	22,9	21,1	23,1	19,3	9,5	8,9	6,9	10,7
80	41,8	37,0	30,1	26,4	30,6	24,1	11,8	10,6	6,4	12,9
100	46,4	40,0	33,6	28,6	34,4	25,6	12,8	11,4	5,6	14,4
150	53,2	50,0	38,5	36,0	39,0	32,1	14,7	14,0	11,0	17,9
200	64,5	61,0	47,6	44,7	48,2	39,7	16,9	16,3	12,8	21,3
270	61,7	71,0	48,3	51,4	47,2	45,3	13,5	19,6	23,8	25,7
300	75,7	79,0	55,1	57,7	54,6	50,9	20,6	21,3	24,4	28,1
400	87,7	96,0	64,8	71,7	63,4	62,7	22,9	24,3	32,6	33,3
500	86,6	113,0	63,0	84,8	59,2	73,1	23,6	28,2	53,8	39,9
600	102,3	129,0	75,8	98,8	70,9	84,6	26,5	30,2	58,1	44,4
700	111,9	144,0	82,6	110,2	77,0	94,4	29,3	33,8	67,0	49,6
800	125,5	160,0	93,9	125,0	86,8	106,2	31,5	35,0	73,2	53,8
900	136,6	176,0	102,2	137,4	94,1	117,0	34,5	38,6	81,9	59,0
1000	155,1	192,0	116,5	149,8	108,6	125,8	38,5	42,2	83,4	66,2
1200	162,2	225,0	122,7	182,9	108,2	153,1	39,5	42,1	116,8	71,9
1400	171,4	256,0	128,4	208,7	110,5	172,0	43,0	47,3	145,5	84,0

Залежності величини теплових потоків у подавальному і зворотному трубопроводах для різних умов підбору товщини теплової ізоляції при прокладці в непрохідних каналах наведені на рисунках 2.10 і 2.11.

Таблиця 2.6 - Результати розрахунків товщин ізоляції для безканальної прокладки

D _y , мм	Сумарна товщина ізоляції, δ _{сум} , Вт/м				Сумарний питомий об'єм теплової ізоляції, V _y , м ³ /м				Порівняння з ДСТУ (V _{y вар} / V _{ДСТУ})·100%		Порівняння зі СНіП (V _{y вар} / V _{СНіП})·100%	
	ДСТУ (δ _{пол} =δ _{звор})	СНіП (δ _{пол} =δ _{звор})	Варіант 1	Варіант 2	ДСТУ (δ _{пол} =δ _{звор})	СНіП (δ _{пол} =δ _{звор})	Варіант 1	Варіант 2	ДСТУ (δ _{пол} =δ _{звор})	СНіП (δ _{пол} =δ _{звор})	Варіант 1	Варіант 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	63,0	73,0	84,6	70,7	0,018	0,021	0,027	0,021	154,9	118,9	126,5	97,2
80	65,0	81,4	117,5	78,4	0,025	0,033	0,059	0,032	237,3	128,8	177,5	96,4
100	66,0	86,3	155,3	83,0	0,029	0,041	0,103	0,040	352,7	135,4	251,7	96,6
125	83,0	92,4	103,7	88,5	0,052	0,060	0,069	0,057	132,7	109,3	116,4	95,9
150	84,0	92,8	104,3	88,1	0,069	0,077	0,089	0,074	129,9	106,7	115,7	95,0
200	114,0	102,0	97,6	97,3	0,118	0,104	0,099	0,099	83,8	83,8	95,4	95,5
270	111,0	103,5	99,7	98,2	0,133	0,122	0,118	0,116	88,6	87,7	95,0	95,0
300	116,4	100,0	93,9	93,8	0,177	0,149	0,140	0,140	79,2	79,2	93,8	93,8
400	157,8	101,9	103,1	95,2	0,302	0,186	0,193	0,174	64,0	57,6	103,8	93,5
500	145,0	97,4	95,1	89,8	0,320	0,208	0,206	0,191	64,5	59,8	99,4	92,2
600	152,0	99,2	98,0	91,3	0,380	0,240	0,241	0,221	63,5	58,1	100,6	92,0
700	144,8	94,2	91,6	85,3	0,406	0,256	0,254	0,232	62,4	57,3	98,8	90,6
800	148,8	95,4	93,1	86,1	0,465	0,290	0,288	0,262	61,9	56,3	99,2	90,4
900	140,8	96,5	90,9	87,0	0,482	0,324	0,308	0,292	63,9	60,6	95,1	90,2
1000	158,0	85,6	88,9	74,0	0,645	0,339	0,361	0,294	55,9	45,6	106,2	86,6
1200	180,0	86,1	97,3	73,7	0,854	0,396	0,460	0,339	53,8	39,7	116,2	85,7
1400	63,0	73,0	84,6	70,7	0,018	0,021	0,027	0,021	154,9	118,9	126,5	97,2

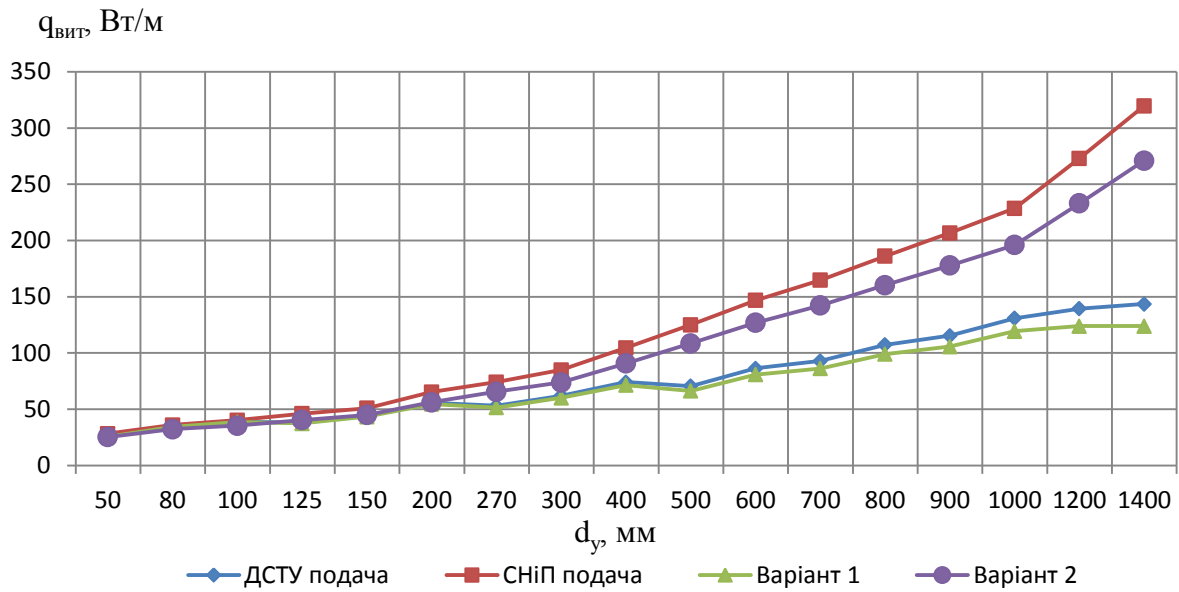


Рисунок 2.10 - Лінійна щільність теплового потоку для прокладки у непрохідних каналах при умовах вибору теплової ізоляції подавального варіанту

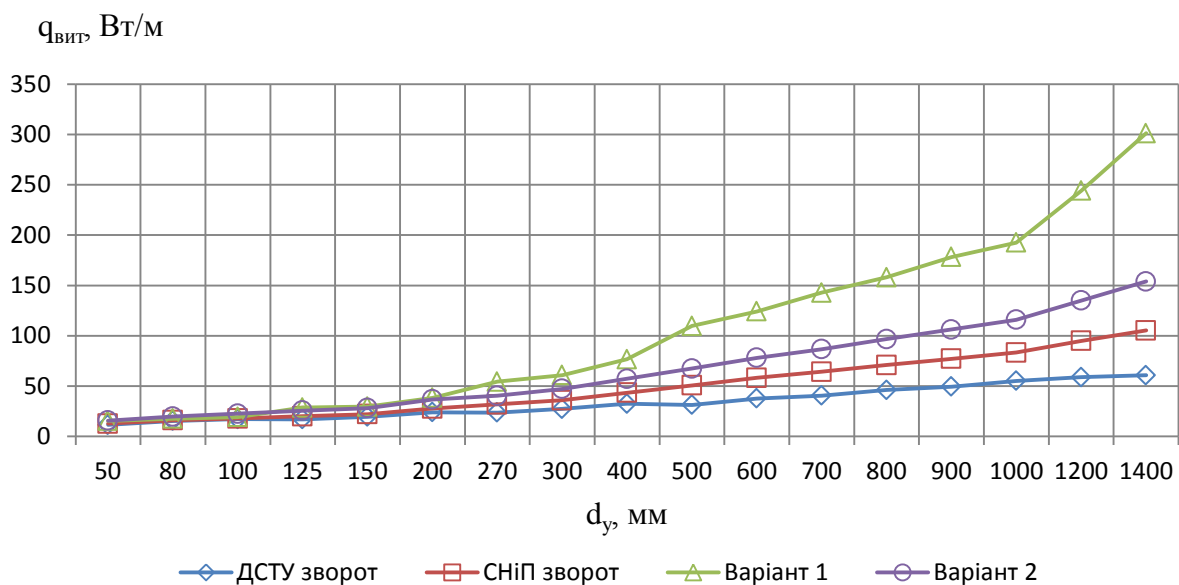


Рисунок 2.11 - Лінійна щільність теплового потоку для прокладки у непрохідних каналах при умовах вибору теплової ізоляції зворотного варіанту

Результати розрахунків для непрохідних каналів в цілому, повторюють результати розрахунків для безканалної прокладки, однак для малих діаметрів

(менше 250 мм) ситуація ускладнюється тією обставиною, що теплові втрати відповідно до СНіП менше теплових втрат, отриманих для товщини, зазначених в ДСТУ.

Відповідно до цього, сумарні товщини за СНіП при однаковій їх товщині для обох трубопроводів для діаметрів 200 мм і менше, перевершують аналогічну товщину за ДСТУ.

Для діаметрів більше 200 мм найбільші теплові потоки, як в сумі, так і окремо, по подавальному і зворотному трубопроводах мають місце при використанні вимог СНіП при однакових товщинах теплової ізоляції. Найменші теплові потоки відповідають товщинам ізоляції за ДСТУ.

Реалізація умов варіанту №1 дозволяє знизити сумарну товщину теплової ізоляції в порівнянні з ДСТУ до значень, близьких до рівня товщини за СНіП при зниженні теплових потоків на подавальному трубопроводі і їх збільшенні на зворотному. При цьому наголошується, що найкраще з точки зору режимів теплових мереж - розподіл теплових втрат між прямою та зворотною лініями.

На діаметрах більше 200 мм найменша товщина виходить при реалізації умов варіанта №2, що і відповідає кінцевій меті розв'язуваної задачі по пошуку оптимуму. Для менших діаметрів найменша товщина відповідає умовам ДСТУ, але при цьому теплові втрати прокладки перевершують рекомендовані СНіП значення.

Залежність відсоткових показників необхідного питомого об'єму для варіантів №1 і №2 при всіх діаметрах в порівнянні з цими величинами для СНіП та ДСТУ наведені на рисунках 2.12 і 2.13.

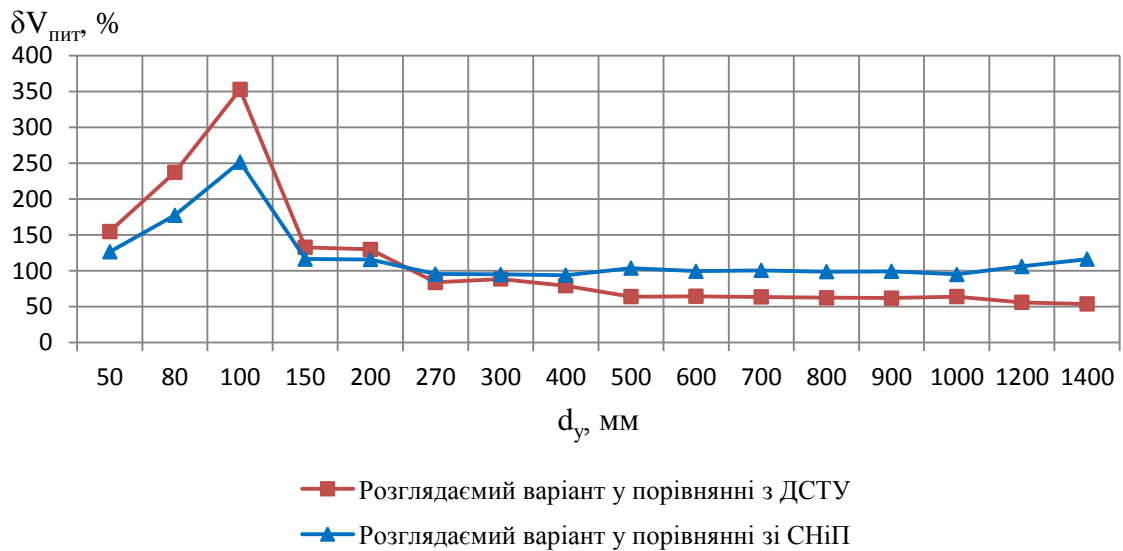


Рисунок 2.12 - Порівняння питомих об'ємів теплової ізоляції, розрахованої за варіантом 1, з ДСТУ і СНіП

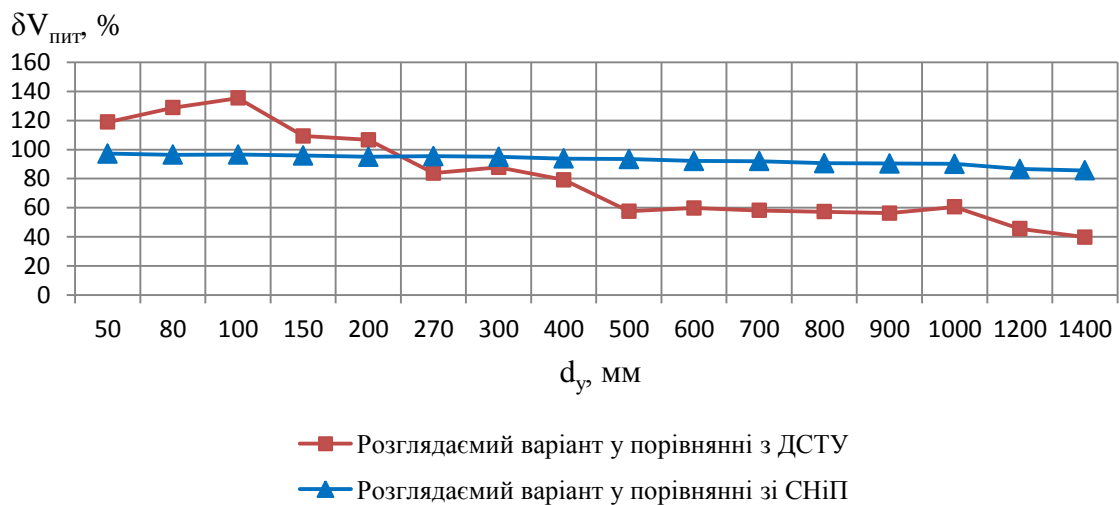


Рисунок 2.13 - Порівняння питомих об'ємів теплової ізоляції, розрахованої за варіантом 2, з ДСТУ і СНіП

Наведені результати розрахунків дозволяють зробити висновок про наявність найменшої сумарної товщини теплової ізоляції для подавальних і зворотних трубопроводів при безканалній прокладці і прокладанні в непрохідних каналах, при якій забезпечується сумарна нормативна величина теплових втрат, відповідних СНіП [73]. При цьому, розподіл теплових потоків

забезпечує можливість отримання енергозберігаючого ефекту при експлуатації теплових мереж за рахунок організації більш вигідних теплогідравлічних режимів. Найкращі співвідношення теплових втрат в трубопроводах по прямій та зворотній лініях відповідають умовам варіанту №1, однак це призводить до збільшення товщини теплової ізоляції і необхідних обсягів теплоізоляційних матеріалів.

Остаточний вибір умов проектування теплової ізоляції буде, як завжди, визначатися результатами техніко-економічних розрахунків за показниками системи тепlopостачання в цілому.

Для визначення бажаного співвідношення товщини теплової ізоляції і теплових потоків за варіантом №2 потрібне проведення численних оптимізаційних розрахунків прокладок теплових мереж, що проводяться кожного разу при зміні умов проектування.

Однак за результатами вже проведених розрахунків можуть бути запропоновані наступні рекомендації, що дозволяють оцінити необхідний розподіл заданих СНіП сумарних теплових потоків між подавальним і зворотним трубопроводами. Наявність такого оціночного розподілу дозволяє досить просто визначити відповідні товщини теплової ізоляції, використовуючи формули, наведені в СП [74].

Для формування практичних рекомендацій слід використовувати добре відому формулу для визначення теплового потоку q (Вт/м) на 1 м протяжності трубопровода через циліндричну поверхню

$$q = \Delta t / R,$$

де R - сумарний термічний опір теплової ізоляції, $(\text{м} \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

Δt - різниця температур на розглядаємій тепловій ізоляції, $^{\circ}\text{C}$.

Тоді співвідношення термічних опорів для подачі та повернення води дорівнюватиме

$$A = R_{\text{зв}} / R_{\text{п}} = q_{\text{п}} / q_{\text{зв}} \cdot \Delta t_{\text{зв}} / \Delta t_{\text{п}},$$

де $\Delta t_{зв}$ і $\Delta t_{п}$ - середньорічні різниці температури мережаної води і навколишнього середовища по зворотній і подавальній лініях відповідно, а $q_{п}$ і $q_{зв}$ - нормативні теплові потоки для відповідних трубопроводів.

Прийнявши співвідношення теплових потоків з отриманих вище результатів розрахунків за спрощеним варіантом №2, а різниці температур для відповідних середньорічних умов розрахунків, отримаємо розрахункове значення $R_{зв}/R_{п}$, яке для всіх діаметрів буде приблизно постійною величиною.

Тоді відношення теплових потоків при будь-яких значеннях середньорічних різниць температур води і навколишнього середовища дорівнюватиме

$$q_{п} / q_{зв} = A \cdot \Delta t_{п} / \Delta t_{зв}.$$

При відомій із СНіП величині сумарного теплового потоку по відповідним прокладкам для визначення теплових потоків по подавальному і зворотному трубопроводах можна використовувати такі вирази:

$$q_{зв} = q / (1 + A \cdot \Delta t_{п} / \Delta t_{зв}),$$

$$q_{п} = q - q_{зв}.$$

На підставі отриманого розподілу теплових потоків при відомій різниці температур між водою в трубопроводах і навколишнім середовищем можуть бути отримані товщини теплової ізоляції, близькі до мінімальних сумарних значень на широкому діапазоні зміни зазначених температур.

Оціночні значення відповідних коефіцієнтів A для розглянутих типів прокладок отримані на підставі обробки наведених вище результатів розрахунків по оптимізації товщини теплової ізоляції.

Так, для безканалльної прокладки при середньорічних різницях температур, рівних різниці температури мережаної води у відповідному

трубопроводі і ґрунту, середня величина $A = R_{зв} / R_{п} = 0,85$ при мінімальному значенні 0,80 і максимальному 0,92.

При однакових товщинах теплової ізоляції для розглянутих умов і безканальній прокладці при нормуванні сумарного теплового потоку по СНіП середня величина коефіцієнта A становить 1,30.

Для прокладки в непрохідних каналах при середньорічних різницях температур, рівних різниці температури мережаної води у відповідному трубопроводі і ґрунту, середня величина $A = R_{зв} / R_{п} = 0,97$ при мінімальному значенні 0,91 і максимальному 1,10.

Для однакових товщин теплової ізоляції при прокладці в непрохідних каналах при нормуванні сумарного теплового потоку по СНіП середня величина коефіцієнта A становить 1,61.

Наведені результати розрахунків показують, що для підземних прокладок теплових мереж з нормованим сумарним тепловим потоком теплових втрат можна визначити товщини теплової ізоляції подачі та повернення води, що забезпечують найменшу їх сумарну товщину для прокладки в цілому.

Розрахунки проведені на прикладі ППУ ізоляції, яка може використовуватися як для безканальної прокладок, так і для прокладок в непрохідних каналах.

Для практичної реалізації результатів розрахунків повинна бути виконана умова можливості безперервної зміни товщини теплової ізоляції відповідно до розрахованих значень і підбирається під конкретні температурні умови. Вже згадана ППУ ізоляція при заводському виготовленні труб цілком може задовольняти вказаним умові.

Однак з'явилися в даний час інші типи навісної теплової ізоляції з можливістю варіювання її товщини в широкому діапазоні, які також можуть бути застосовані для практичної реалізації отриманих результатів при прокладці в непрохідних каналах.

До таких типів теплової ізоляції слід віднести теплову ізоляцію K-FLEX, одержувану на основі спіненого каучуку. Ця тепла ізоляція накладається на трубопроводи при їх монтажі і може бути виготовлена з різною товщиною для прямого та зворотного трубопроводів. Суттєвим обмеженням для ізоляції цього типу є максимальна температура в трубопроводах, яка, як показує досвід, не повинна перевищувати 110 °С.

Більш дешевим і універсальним типом є тепла ізоляція СТУ, виробництва ТОВ «Системи Теплоізоляційні Універсальні». Ця тепла ізоляція на основі мінераловати, яка має радіальну орієнтацію волокон і сегментована поперечними радіальними перемичками. Така конструкція дозволяє отримати найменші для використовуваного матеріалу коефіцієнти теплопровідності і перешкоджає його осипанню в процесі експлуатації. Максимальна температура для цього типу ізоляції становить 400 °С.

Слід також зазначити, що одночасна реалізація пропонованих заходів на всій тепловій мережі неможлива, однак використання отриманих результатів в процесі щорічних перекладань дозволять в кінцевому підсумку перейти на більш раціональні теплогідравлічні режими роботи теплових мереж і отримати зниження витрат при подачі тепла споживачам.

Вимоги СНіП для теплової ізоляції оновлюються не так часто. Починаючи з 1959 року було розроблено тільки 4 нормативні документи, що регламентують нормативи теплових втрат теплоізованих трубопроводів. Зрозуміло, що СНіП враховує лише загальні тенденції до посилення вимог щодо втрат тепла при транспорті теплоносія. При цьому складно врахувати вплив всіх факторів, особливо економічних для всього переліку діаметрів трубопроводів, тому визначення необхідної товщини теплової ізоляції, що забезпечує нормативні втрати тепла, не завжди є економічно обґрунтованим. Найбільш правильно на наш погляд розраховувати оптимальну товщину ізоляційного покриття для конкретних умов сьогодення з урахуванням оцінки перспектив зміни основних факторів, що впливають [75], [76]. Критерієм оптимізації є мінімум суми витрат на покупку матеріалу теплової

ізоляції і покривного матеріалу, які ростуть зі збільшенням товщини ізоляції, і витрат на теплові втрати, які, відповідно, зменшуються з ростом товщини ізоляції (див. рис. 2.13).

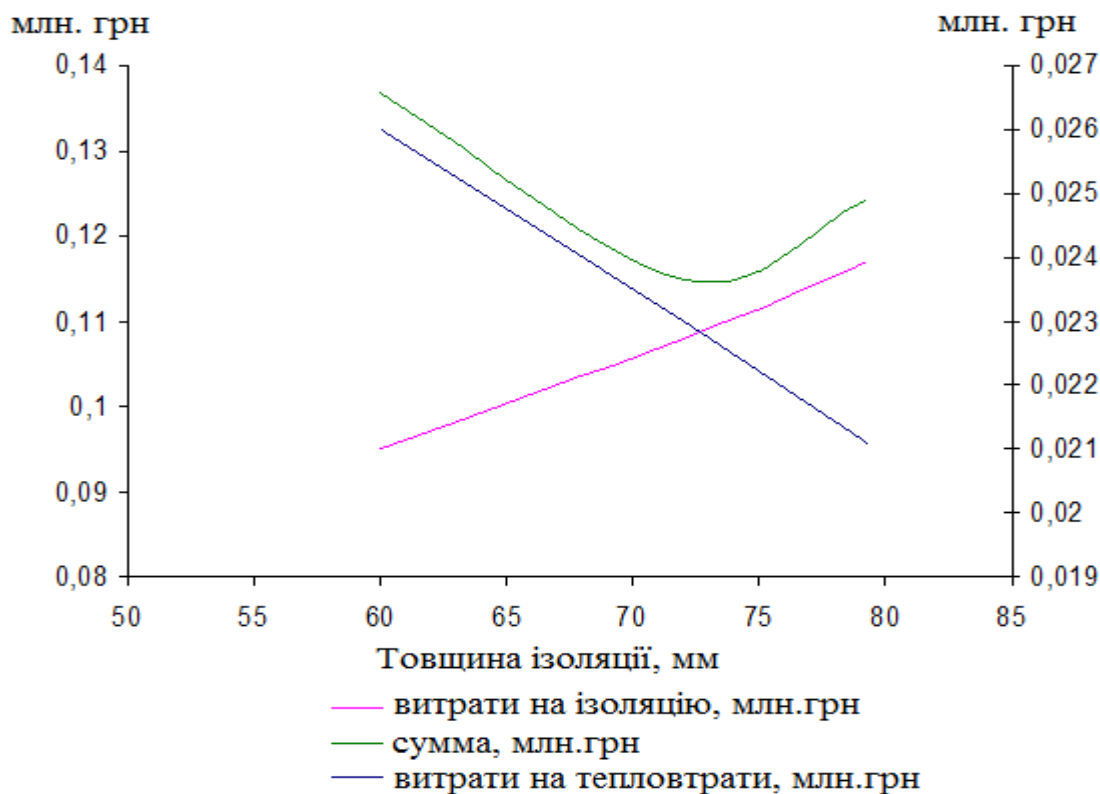


Рисунок 2.13 – Принцип оптимізації товщини ізоляції

2.7 Розрахунок ефективності труб з циклопентану

Застосовуючи методику розрахунку приведеного під час презентації трубопроводів BRUGG визначаємо економію коштів при експлуатації теплових мереж ізоляція яких вспінена за допомогою циклопентану (середня вартість 1 кВтч в Польщі, згідно «PGE» - 0,15 euro).

Проектні цифри – постійна робоча температура 70°C, температура ґрунта 10°C. Результати розрахунків труб CALPEX/СМИТФЛЕКС-Р зводимо до таблиці 2.7, а CALPEX/ИЗОКОМ до таблиці 2.8.

Застосовуємо цю методику та приймаємо тариф на теплову енергію (виробництво теплової енергії для надання послуг по централізованому опаленню та централізованому постачанню гарячої води) – 1611,58 грн./Гкал.

Переводимо кВт в Гкал: $1 \text{ кВт} = 0,00086 \text{ Гкал/год.}$

Отримуємо наступний результат:

$0,2300 \text{ Гкал} * 8424 \text{ год.} * 1 \text{ рік} * 1611,58 \text{ грн.} = 3\,122\,468,48 \text{ грн.}$

$0,2300 \text{ Гкал} * 8424 \text{ год.} * 30 \text{ років} * 1611,58 \text{ грн.} = 93\,674\,054,44 \text{ грн.}$

$267,48 \text{ кВт} * 8424 \text{ год.} * 1 \text{ рік} * 0,15 \text{ euro} = 337\,987,72 \text{ euro.}$

$267,48 \text{ кВт} * 8424 \text{ год.} * 30 \text{ років} * 0,15 \text{ euro} = 10\,139\,631,84 \text{ euro.}$

Таблиця 2.7 - Розрахунок CALPEX/СМИТФЛЕКС-Р

Метраж, який планується перекласти в 2019 році за програмою благоустрою дворових проїздів (м)	Розмір	CALPEX (теплоізоляція зі спіненого циклопентаном поліетилену) (Вт/м)	Розмір	СМИТФЛЕКС-Р (теплоізоляція зі спіненого CO ₂ поліетилену) (Вт/м)
123	40/91	10,00 (10,00*123=1230)	40/110	25,2 (25,2*123=3099,6)
233	50/111	10,28 (10,28*233=2395,24)	50/125	28,6 (28,6*233=6663,8)
2743	63/126	11,74 (11,74*2743=32202,82)	63/140	31,1 (31,1*2743=85307,3)
825	75/142	11,36 (11,36*825=9372)	75/160	33,5 (33,5*825=27637,5)
3294	90/162	12,22 (12,22*3294=40252,68)	90/180	38,04 (38,04*3294=125303,76)
2156	110/162	17,48 (17,48*2156=37686,88)	110/200	40,1 (40,1*2156=86455,6)
1192	140/202	18,50 (18,50*1192=22052)	140/250	42,1 (42,1*1192=50183,2)

765	160/25 0	18,17 (18,17*765=13900,05)	160/25 0	54,8 (54,8*765=41922)
11331		∑ 159091,67 (159,091 кВт)		∑ 426572,76 (426,572 кВт)

Таблиця 2.8 - Розрахунок CALPEX/ИЗОКОМ:

Метраж, який планується перекласти в 2019 році за програмою благоустрою дворових проїздів (м)	Розмір	CALPEX (теплоізоляція зі спіненого циклопентаном поліетилену) (Вт/м)	Розмір	ИЗОКОМ (теплоізоляція зі спіненого CO2 поліуретану) (Вт/м)
123	40/91	10,00 (10,00*123=1230)	40/110	10,2 (10,2*123=1254,6)
233	50/111	10,28 (10,28*233=2395,24)	50/110	12,6 (12,6*233=2935,8)
2743	63/126	11,74 (11,74*2743=32202,82)	63/110	16,2 (16,2*2743=44436,6)
825	75/142	11,36 (11,36*825=9372)	75/125	17,4 (17,4*825=14355)
3294	90/162	12,22 (12,22*3294=40252,68)	90/145	18,6 (18,6*3294=61268,4)
2156	110/162	17,48 (17,48*2156=37686,88)	110/160	21,6 (21,6*2156=46569,6)
1192	140/202	18,50 (18,50*1192=22052)	140/180	27 (27*1192=32184)
765	160/250	18,17 (18,17*765=13900,05)	160/200	30,6 (30,6*765=23409)
11331		∑ 159091,67 (159,091 кВт)		∑ 226 413 (226,413 кВт)

$67,322 \text{ кВт} * 8424 \text{ год.} * 1 \text{ рік} * 0,15 \text{ euro} = 85 \text{ 068,07 euro.}$

$67,322 \text{ кВт} * 8424 \text{ год.} * 30 \text{ років} * 0,15 \text{ euro} = 2 \text{ 552 042,37 euro.}$

Застосовуємо цю методику та приймаємо тариф на теплову енергію (виробництво теплової енергії для надання послуг по централізованому опаленню та централізованому постачанню гарячої води) – 1611,58 грн./Гкал.

Переводимо кВт в Гкал: $1 \text{ кВт} = 0,00086 \text{ Гкал/год.}$

Отримуємо наступний результат:

$0,0578 \text{ Гкал} * 8424 \text{ год.} * 1 \text{ рік} * 1611,58 \text{ грн.} = 784 \text{ 689,9 грн.}$

$0,0578 \text{ Гкал} * 8424 \text{ год.} * 30 \text{ років} * 1611,58 \text{ грн.} = 23 \text{ 540 697,16 грн.}$

Таблиця 2.9 - Розрахунок AustroPUR /СМИТФЛЕКС-Р:

Метраж, який планується перекласти в 2019 році за програмою благоустрою дворових проїздів (м)	Розмір	AustroPUR (теплоізоляція зі спіненого циклопентаном поліуретану) (Вт/м)	Розмір	СМИТФЛЕКС-Р (теплоізоляція зі спіненого CO2 поліетилену) (Вт/м)
123	40/ 145	6,80 (6,80*123=836,4)	40/110	25,2 (25,2*123=3099,6)
233	50/ 145	8,30 (8,30*233=1933,9)	50/125	28,6 (28,6*233=6663,8)
2743	63/ 175	8,71 (8,71*2743=23891,53)	63/140	31,1 (31,1*2743=85307,3)
825	75/ 175	10,65 (10,65*825=8786,25)	75/160	33,5 (33,5*825=27637,5)
3294	90/ 200	11,59 (11,59*3294=38177,46)	90/180	38,04 (38,04*3294=125303,76)
2156	110/ 200	16,04 (16,04*2156=34582,24)	110/200	40,1 (40,1*2156=86455,6)
1192	140/ 200	17,669 (17,669*1192=21061,45)	140/250	42,1 (42,1*1192=50183,2)
765	160/ 250	17,06 (17,06*765=13050,9)	160/250	54,8 (54,8*765=41922)
11331		$\Sigma 142320,13$ (142,32 кВт)		$\Sigma 426572,76$ (426,572 кВт)

$284,252 \text{ кВт} * 8424 \text{ год.} * 1 \text{ рік} * 0,15 \text{ euro} = 359 \text{ 180,82 euro.}$

$284,252 \text{ кВт} * 8424 \text{ год.} * 30 \text{ років} * 0,15 \text{ euro} = 10 \text{ 775 424,81 euro.}$

Застосовуємо цю методику та приймаємо тариф на теплову енергію (виробництво теплової енергії для надання послуг по централізованому опаленню та централізованому постачанню гарячої води) – 1611,58 грн./Гкал.

Переводимо кВт в Гкал: 1 кВт=0,00086 Гкал/год.

Отримуємо наступний результат:

0,2444 Гкал * 8424 год. * 1 рік * 1611,58 грн. = 3 317 962,16 грн.

0,2444 Гкал * 8424 год. * 30 років * 1611,58 грн. = 99 538 864,81 грн.

Таблиця 2.10 - Розрахунок AustroPUR / ІЗОКОМ

Метраж, який планується перекласти в 2019 році за програмою благоустрою дворових проїздів (м)	Розмір	AustroPUR (теплоізоляція зі спіненого циклопентаном поліуретану) (Вт/м)	Розмір	ІЗОКОМ (теплоізоляція зі спіненого CO2 поліуретану) (Вт/м)
123	40/ 145	6,80 (6,80*123=836,4)	40/110	10,2 (10,2*123=1254,6)
233	50/ 145	8,30 (8,30*233=1933,9)	50/110	12,6 (12,6*233=2935,8)
2743	63/ 175	8,71 (8,71*2743=23891,53)	63/110	16,2 (16,2*2743=44436,6)
825	75/ 175	10,65 (10,65*825=8786,25)	75/125	17,4 (17,4*825=14355)
3294	90/ 200	11,59 (11,59*3294=38177,46)	90/145	18,6 (18,6*3294=61268,4)
2156	110/ 200	16,04 (16,04*2156=34582,24)	110/160	21,6 (21,6*2156=46569,6)
1192	140/ 200	17,669 (17,669*1192=21061,45)	140/180	27 (27*1192=32184)
765	160/ 250	17,06 (17,06*765=13050,9)	160/200	30,6 (30,6*765=23409)
11331		∑ 142 320,13 (142,32 кВт)		∑ 226 413 (226,413 кВт)

84,09 кВт * 8424 год. * 1 рік * 0,15 єуро= 106 256,12 єуро.

84,09 кВт * 8424 год. * 30 років * 0,15 єуро= 3 187 683,72 єуро.

Застосовуємо цю методику та приймаємо тариф на теплову енергію (виробництво теплової енергії для надання послуг по централізованому опаленню та централізованому постачанню гарячої води) – 1611,58 грн./Гкал.

Переводимо кВт в Гкал: 1 кВт=0,00086 Гкал/год.

Отримуємо наступний результат:

$$0,072 \text{ Гкал} * 8424 \text{ год.} * 1 \text{ рік} * 1611,58 \text{ грн.} = 977 \text{ 468,39 грн.}$$

$$0,072 \text{ Гкал} * 8424 \text{ год.} * 30 \text{ років} * 1611,58 \text{ грн.} = 29 \text{ 324 051,83 грн.}$$

Таким чином ми бачимо, що дуже приблизний розрахунок показує економічний ефект при застосуванні попередньо ізольованих пінополіуретаном труб (ПТПУ) ізоляція яких спінена циклопентаном ніж труб ПТПУ ізоляція яких спінена CO₂.

Тобто, при перекладці мереж ГВП за програмою благоустрою дворових проїздів трубопроводами ПТПУ ізоляція яких спінена CO₂ може нанести за один рік приблизно на 3 122 тис.грн.

За 30 років експлуатації цей збиток може скласти приблизно 93 674 тис.грн.

Якщо в ці розрахунки додати запланований метраж перекладки ЦО та ГВП по програмі реконструкції поточного року, програми на наступні роки та врахувати тарифи на теплову енергію для промислових підприємств, релігійних закладів, адміністративних установ тощо, то економічний ефект буде набагато більший.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

При монтажі трубопроводів найбільшу небезпеку представляють роботи, пов'язані з навантаженням і розвантаженням труб, транспортуванням їх і укладанням в траншеї, зваркою стиків і розтрубів, очищенням і ізоляцією. З метою забезпечення високої якості та рівня індустріалізації монтажу систем водопостачання і каналізації та дотримання норм охорони праці і техніки безпеки основний обсяг робіт з підготовки трубопроводів до укладання повинен виконуватися на виробничих базах будівельно-монтажних організацій: центрування; автоматичне зварювання в секції; очищення і ізоляція сталевих трубопроводів на механізованих лініях; контрольна і складання устаткування насосних, градирень, різних споруд водоочищення; виготовлення фасонних деталей та вузлів [86].

Сталеві заізольовані труби та секції, що надходять з промислових баз, згідно з проектом виробництва робіт, розкладаються вздовж траншеї, де проводиться їх зварювання. Перед початком монтажу трубопроводів в траншеях майстер або виконавець робіт повинен перевірити стійкість укосів і міцність кріплення траншей, котлованів і колодязів.

Місця виробництва електрозварювальних робіт на трубопроводах захищають від атмосферних опадів, вітру, сонячної радіації тимчасовими навісами, парасольками і т.п. При початку грози всі роботи на трасі припиняють, а робочі ховають труби і механізмів у безпечне місце.

Перед початком робіт по опусканню трубопроводів в траншею повинні бути ретельно перевірені м'які рушники, сталеві стропи, канати і трубоукладальні машини. Складність представляє опускання в траншею довгих сталевих трубопроводів. У цих випадках виробником робіт повинна бути забезпечена синхронна робота декількох трубоукладачів, що виключає можливість перекидання одного з них в траншею або ж руйнування зварних стиків від перенапруги. Розтрубні труби при опусканні їх у траншею повинні бути застроплені так, щоб розтруб був вище гладкого кінця [87].

Не допускається скочування труб в траншею за допомогою ломів і ваг. При опусканні в траншеї або котловани різної трубопровідної арматури вантажопідйомними механізмами забороняється закріплювати стропи за маховики, штоки і важелі. Застропувати арматуру дозволяється тільки за корпус. При цьому під стропи повинні бути підкладені м'які підкладки в місцях ребер або гострих виступів.

При роботі людей у нерозкріплених траншеях і котлованах необхідно постійно стежити за станом укосів. При виникненні рухливості ґрунту або ослабленні кріплень всі люди негайно видаляються з траншей і котлованів до тих пір, поки не будуть прийняті заходи, що виключають можливість обвалення ґрунту. Якщо трубопроводи прокладаються в траншеях, пересікаються залізничними або трамвайними коліями, то знаходження в них людей під час руху транспорту забороняється [88].

Спуск робітників у колодязі і камери мереж водопостачання та каналізації, особливо на діючих підприємствах, без попередньої перевірки їх на загазованість повинен бути виключений. Для виявлення наявності небезпечних газів використовують газоаналізатори. Щоб уникнути вибуху не дозволяється кидати в колодязі і камери запалені сірники, папір і т. п. Виявлені небезпечні гази видаляють нагнітанням в колодязі і камери свіжого повітря вентиляторами або тривалим природним провітрюванням при відкритих кришках люків. Перед спуском людей повинна бути виконана повторна перевірка на відсутність загазованості.

При роботі в колодязях і камерах використовуються світильники у вибухобезпечному виконанні напругою не вище 12 Вт. Виконання робіт у колодязях дозволяється ланці не менше ніж з трьох працівників. Одна людина працює в колодязі в запобіжному поясі, на якому закріплений страхувальний канат. Другий кінець каната закріплюється нагорі, причому його повинен тримати в руках один з двох страхуючих робітників, що підтримує постійний візуальний і звуковий контакт з працюючим внизу. У разі необхідності надання допомоги робітникові, який з якихось причин не може самотійно вибратися з колодязя, він повинен бути піднятий звідти на канаті. Спускатися в колодязь для надання

допомоги потерпілому без ізолюючого або шлангового протигаза забороняється [89].

При переміщенні важких вантажів потрібно стежити, щоб вони виступали за межі вантажу не більше ніж на 40 см. При переміщенні важких вантажів на санях, сталевих листах - волокушах або просто волоком з застосуванням трактора робітники, які супроводжують вантаж, повинні знаходитися ззаду нього на безпечній відстані. Перебувати на вантажі, що переміщується санях або волокушах забороняється.

Монтаж трубопроводів виконувати згідно з ПВР після перевірки відповідності проекту розмірів траншей, кріплення стінок, відміток дна, а при наземному прокладанні - опорні конструкції.

Монтаж трубопроводів і арматури, які були в експлуатації, допускається тільки за наявності акта, підтверджуючого відсутність в них залишків технологічних продуктів і який дає дозвіл на виконання робіт.

Вивезені на трасу секції і зварені нитки трубопроводів розташовують уздовж траншеї для виконання підготовчих робіт (стикування, очищення, прихватки) на відстані не менше 1,5 м від бокової поверхні труби до бровки траншеї за відсутності нахилу в бік траншеї.

У противному разі труби укладають по інший бік виїнятого ґрунту [90].

При розкладанні труб, призначених для господарсько-питного водопостачання, не слід допускати попадання у них поверхневої та стічної води.

Зварювані секції укладають на спеціальні підкладки (лежні) чи валки з ущільненого ґрунту, які виключають їх осідання і самовільне зміщення.

Лежні підкладають таким чином, щоб вони перекривали траншею, а їх кінці були розташовані від краю траншеї на відстані, яка виключає можливість обвалення стінок траншеї.

При встановленні арматури стик болтових отворів перевіряти за допомогою оправки і монтажних ломиків.

Виконувати цю роботу пальцями не допускається.

Для заправлення прокладок фланцевих з'єднань слід застосовувати спеціальні дротові гачки.

Затягування болтів (шпильок) виконують рівномірно з почерговим загвинчуванням гайок, розташованих навхрест при паралельному розташуванні фланців.

Вирівнювання перекосу фланців шляхом нерівномірного затягування болтів (шпильок) та усунення зазору між фланцями за допомогою клинцевих прокладок чи шайб забороняється [91].

Під час прокладання труб, на прямолінійних ділянках траси, з'єднувані кінці суміжних труб повинні бути відцентровані так, щоб ширина розтрубної щілини була однаковою по всьому колу.

Перевертати труби при центруванні і зварюванні стиків необхідно спеціальними трубними гайковими ключами.

В місцях проведення монтажу кривих вставок, катушок і запірної арматури траншею необхідно збільшити на 1,25 м в обидва боки від трубопроводу на ділянці довжиною не менше 3 м.

Під зварюваним стиком трубопроводу необхідно улаштувати приямок глибиною 0,5 м.

Роботи виконувати в присутності і під безпосереднім керівництвом керівника робіт. У разі зварювання усередині трубопроводу необхідно передбачити вентиляцію.

Забороняється усередині трубопроводів одночасно виконувати роботи газозварнику і електрозварнику [92].

При необхідності зварювання усередині труби чи трубопроводу, а також при зварюванні зовні після дощу чи снігопаду, зварник, крім спецодягу, повинен користуватися діелектричними рукавицями, калошами, килимком, а також діелектричним шоломом.

Вільні кінці трубопроводів, що монтуються, а також отвори у фланцях запірної та іншої арматури при перервах в роботі, необхідно закривати заглушками чи дерев'яними пробками.

Укладання труби в траншеї виконується трубоукладниками, а також вантажопідіймальними кранами.

Вантажопідіймальні машини і механізми повинні знаходитись на відстані не менше 1 м від краю траншеї.

Дно траншеї перед укладанням труб необхідно розчистити від обваленого ґрунту.

Якщо обвалення виникло під час опускання трубопроводу, то видаляти ґрунт дозволяється тільки після того, як під трубопровід впоперек траншеї будуть підкладені спеціальні лежні, які забезпечують надійне і стійке положення трубопроводу.

Кінці лежнів повинні виходити за бровку траншеї не менше, ніж на 1 м.

Перед подаванням сигналу про підйом секції необхідно впевнитись в наступному:

- секція надійно застроплена і нічим не утримується;
- у середині секції відсутні земля, каміння, лід та інші сторонні предмети;
- в зоні дії стріли крана чи трубоукладника відсутні люди;
- сигнали повинен подавати бригадир чи трубоукладач-стропальник, призначений на цю роботу.

При переміщенні труб і зібраних секцій, які мають антикорозійне покриття, слід застосовувати м'які кліщові захвати, гнучкі рушники та інші засоби, які виключають пошкодження цього покриття [93].

Для підймання і переміщення секцій трубопроводів в горизонтальному положенні слід застосовувати не менше двох стропів чи спеціальні траверси.

При опусканні труб в траншеї з розкріпленими стінами не дозволяється знімати розпори.

З дозволу і під безпосереднім наглядом керівника робіт допускається видалення окремих розпірок, але за умов одночасного перекріплення.

На розпірки кріплення траншеї не дозволяється укладати чи опирати труби, фасонні частини та інші вантажі.

При підйманні та опусканні труб і фасонних частин вагою більше 250 кг для строповки слід застосовувати тільки сталеві троси.

Застосовувати для цього конопляні троси, канати забороняється.

Опускати в траншею вручну чавунні труби діаметром до 250 мм і каналізаційні труби малого перерізу допускається тільки за допомогою каната.

Не допускається використовувати зрошувані сталеві троси і конопляні канати для опускання труб в траншею.

При опусканні чавунної труби діаметром більше 600 мм вручну по укосу траншеї, кінці троса необхідно надійно закріпляти в протилежний бік від траншеї.

При опусканні в траншею розтрубної труби, трос необхідно закріпляти ближче до розтрубу (до центра тяжкості). Щоб не сталося сковзання троса, опускати труби в траншею слід розтрубом до верху.

При підніманні і опусканні з траншеї важкої арматури стропи необхідно накладати на корпус арматури; не можна накладати стропи на штоки чи маховики [94].

Легкі труби і арматуру слід опускати в траншею, передаючи їх з рук в руки. Скидати їх в траншею забороняється.

Опускання в траншею труб, секцій трубопроводів, фасонних частин і арматури слід виконувати повільно, без ривків і ударів вантажу об стінки і дно траншеї чи об розпірки кріплення.

При опусканні в траншеї труб і фасонних частин необхідно знаходитись від краю вантажу не ближче, ніж на 2 м.

Наближатися до кінців труб і фасонних частин, які опускаються в траншею для укладання їх на місце, дозволяється тільки тоді, коли вантаж буде знаходитись не більше, ніж на 30 см від дна траншеї.

Скочувати труби, а також скидати їх і фасонні частини, арматуру в траншеї за допомогою ломів, важелів забороняється.

Звільняти укладені в траншеї труби від захоплювальних пристроїв,

вантажопідіймальних механізмів можна тільки після надійного укладання їх на постійні опори.

При виявленні будь-яких змін стану укосів траншеї чи несправності їх кріплення роботи необхідно припинити і доповісти про це керівнику робіт.

Для опускання з траншею слід користуватися переносними драбинами.

Не можна опускатися по розпідках траншеї.

Переходити через траншею дозволяється по перехідних містках шириною не менше 0,6 м з поруччям висотою не менше 1,1 м.

Не дозволяється виконувати трубопровідні роботи в камерах, колодязях, тунелях з температурою повітря більше 40 °С без припливної і витяжної вентиляції.

Допускається укладання двох і більше газопроводів в одній траншеї на одному чи різних рівнях (ступенях). При цьому відстань між газопроводами слід передбачати достатню для монтажу і ремонту газопроводу.

В місцях перетину газопроводами каналів теплової мережі, комунікаційних колекторів, каналів різного призначення з проходом над або під спорудами, які перетинаються, необхідно виконати прокладання газопроводів в футлярі, який виходить на 2 м в обидва боки від зовнішніх стінок споруд, які перетинаються, а також зробити перевірку неруйнівним методом контролю всіх зварних стиків в межах перетину і по 5 м у боки від зовнішніх стінок споруд, які перетинаються [95].

На одному кінці футляра повинна бути передбачена контрольна трубка, яка виходить під захисний пристрій.

Під час роботи в водонасичених і перезволожених ґрунтах (пливунах) із застосуванням сталевих короба забороняється:

- знаходитись між коробом і стінкою траншеї;
- знаходитись в коробі при підніманні чи опусканні труби;
- знаходитись між коробом і трубою до повного її опускання на ґрунт чи бетонну основу;
- спускатися в короб і виходити з нього слід по драбині.

Глибина відкритих приямків для замазування швів стиків чавунних водопровідних труб повинна бути не більше 0,4 м для труб діаметром до 300 мм.

Для сталевих зварюваних труб глибина приямка повинна бути не більше 0,7 м. При більшій глибині приямків необхідно встановлювати кріплення.

Замазування стиків залізобетонних та інших труб розчинами із застосуванням рідкого скла повинно виконуватись в гумових рукавицях.

Стики залізобетонних розтрубних труб розчином з гладкими кінцями при їх з'єднанні на муфтах слід ущільнювати гумовими кільцями.

Свинець для заливання розтрубів труб дозволяється плавити на такій відстані від траншеї (колодязя), щоб при випадковому перекиданні посудини, розплавлений свинець не влучив на працюючих унизу.

Посудину з розплавленим металом слід опускати на дно приямка (траншеї) на міцній мотузці.

Приймати посудину з свинцем дозволяється тільки після надійного встановлення її на дно приямка (траншеї) [96].

При заливанні розтрубів свинцем слід користуватися спеціальним ковшем з носиком і на довгій рукоятці. Працювати необхідно в захисних окулярах і брезентових рукавицях.

Розтруби перед заливанням свинцем слід ретельно просушити.

Котли для варіння і розігріву ізоляційних і бітумних мастик повинні бути справними і мати щільно закриваючі негорючі кришки.

Заповнення котлів допускається не більше, ніж на 3/4 їх ємності. Наповнювач повинен бути сухим.

Доставляти бітумну мастику до робочих місць тільки за допомогою вантажопідіймальних машин чи по бітумопроводу.

Для переміщення гарячого бітуму на робочих місцях слід застосовувати металеві бачки, які мають форму зрізаного конуса, зверненого широкою частиною вниз, з щільно закриваючими кришками і запірним пристосуванням.

Розливати бітум у бачки слід через штуцер з засувкою, обладнаною в нижній частині котла.

Не допускається використовувати в роботі бітумні мастики температурою вище 180 °С.

Переміщати гарячу мастику у відкритій тарі, передавати з рук в руки при підніманні на висоту забороняється.

Котли для варіння і розігріву бітумних мастик повинні бути обладнані приладами для вимірювання температури.

Площадка, де розігрівається бітум, повинна бути забезпечена ящиком з піском, лопатою, вогнегасником.

Змішувати бітум з бензином, дизельним паливом чи іншими органічними розчинниками дозволяється на відстані не менше 50 м від відкритого вогню [97].

Забороняється вливати розчинник в розплавлений бітум (при приготуванні праймера), тому що при цьому обов'язково виникне вибух.

Необхідно вливати бітум в бензин з постійним перемішуванням дерев'яною мішалкою.

Температура бітуму не повинна перевищувати 70°С.

Теплоізоляційні роботи на трубопроводах повинні виконуватися, як правило, до їх встановлення чи після постійного закріплення згідно з проектом.

Розбирання кріплення траншей і котлованів слід виконувати знизу у верх по мірі зворотного засипання ґрунту.

Кількість одночасно видалених дощок по висоті не повинно перевищувати трьох, а в сипучих і нестійких ґрунтах – однієї. Під час видалення дощок слід відповідно переставляти розпірки, причому існуючі розпірки треба виймати тільки при встановленні нових.

Розбирання кріплення слід проводити в присутності керівника робіт.

Засипати котловани і траншеї можна тільки з дозволу керівника робіт і в його присутності з дотриманням наступних вимог:

- перед засипанням траншеї впевнитись, що в ній немає людей;

- розпірки видаляти поступово знизу по вказівці керівника робіт;
- в пливунах чи при розташуванні поблизу фундаментів будівель (якщо подошва фундаменту знаходиться вище дна траншеї) кріплення залишають з ґрунті;
- засипання виконується шарами по 30-40 см, ущільнюючи кожний шар ручними чи механізованими трамбівками.

Перед початком випробування трубопроводів слід перевірити наявність і справність на їх кінцях упорів, які забезпечують сприймання зусиль, і, при необхідності, підтягнути ослаблені болти і шпильки кріплення трубопроводів на опорах [98].

Якщо випробуванню підлягає ділянка трубопроводу, то її необхідно ізолювати від суміжних ділянок заглушками чи арматурою.

Приєднання трубопроводу, що випробується, гідравлічного пресу, насоса чи мережі, які створюють необхідний тиск, необхідно здійснювати через два запірних вентиля.

Після досягнення потрібного тиску трубопровід необхідно відключити від преса, насоса чи мережі.

Піднімання і зниження тиску в трубопроводах виконувати рівномірно, без товчків і ударів, при постійному контролі показань приладів і стану випробуваної системи.

Випробувальний тиск необхідно витримувати продовж 5 хвилин, після чого він зменшується до робочого, при цьому тиску необхідно оглянути трубопровід.

При пневматичному випробуванні трубопроводу компресор повинен бути розташований на відстані не менше 10 м від трубопроводу, що випробується.

Вистукування зварних швів при огляді слід виконувати молотком вагою не більше 1,5 кг.

Трубопроводи з кольорових металів і сплавів можна обстукувати тільки дерев'яними молотками вагою не більше 0,8 кг [99].

Трубопроводи з інших металів і матеріалів обстукувати не дозволяється.

Приєднання і роз'єднання ліній, які подають стиснене повітря від компресора, допускається тільки після припинення подачі повітря.

Забороняється:

- під час піднімання тиску в трубопроводах знаходитись напроти фланцевих з'єднань і швів.

- усувати дефекти під час знаходження трубопроводу під тиском;

- знаходитись в небезпечній зоні під час піднімання тиску в трубопроводах і при випробуванні їх на міцність;

- після випробування трубопроводи необхідно продути і промити для видалення забруднення і окалини.

Для цього трубопровід необхідно розділити на частини, забезпечити вільний вихід повітря, що нагнітається, чи пари шляхом зняття заглушок чи окремих деталей і вузлів трубопроводу [100].

У відкритих кінцях встановити міцні щити для захисту працюючих від окалини. Після промивання трубопроводів звільнену воду необхідно відвести в каналізацію.

В місцях підключення до трубопроводів води чи повітря повинні бути передбачені вентиля чи крани, які повинні розташовуватись на висоті, доступній для відкривання і закривання без застосування драбин.

Запобіжні клапани повинні забезпечити скидання надмірного тиску і повинні бути відрегульовані таким чином, щоб не було можливості створити в випробуваному трубопроводі тиск більше встановленої величини.

Робітники, які приймають участь в роботах по випробуванню трубопроводів, повинні знати розташування арматури, заглушок, штуцерів для видалення повітря з трубопроводів, місця підключення до магістралі води чи повітря, які подаються для випробування, місця підключення ручних чи привідних насосів чи компресорів, місця розташування манометрів на випробуваному трубопроводі, а також розташування запобіжних клапанів.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на

МОНТАЖНИКА:

- рухомі машини, механізми;
- захаращеність робочої зони, робочого місця;
- відсутність спеціальних пристроїв, інструменту та обладнання для виконання робіт відповідно прийнятої технології;
- незахищені струмоведучі частини електрообладнання;
- недостатня освітленість робочої зони;
- шкідливі компоненти, які виділяються при зварювальних роботах;
- знижена температура повітря у холодний період року.

Аварійна ситуація може виникнути в разі: обвалення ґрунту в траншеях, котлованах; обривання тросів, канатів; падіння трубопроводів; виходу з ладу обладнання під час випробування трубопроводів; падіння з висоти; ураження електричним струмом та інше.

При виникненні аварійної ситуації негайно припинити роботи; виключити від живлення всі споживачі; огородити небезпечну зону; не допускати до неї сторонніх осіб. Повідомити про те, що сталося, керівника робіт. Якщо стався нещасний випадок, надавати потерпілому першу медичну допомогу; при необхідності, викликати швидку медичну допомогу [70].

ВИСНОВКИ

Аналіз витрат теплової енергії та обсягів природного газу, що використовується на виробництво втраченої теплової енергії в комунальній теплоенергетиці у схемах централізованого тепlopостачання, свідчить про те, що найбільші перевитрати природного газу відносяться до виробництва теплової енергії, втраченої у споживача 30%, при транспортуванні теплової енергії 25 % при її виробництві на котельнях 22 %.

Україну характеризує централізована система тепlopостачання, в якій превалюють великі ТЕЦ, котельні, магістралі. Тільки загальна довжина тепломереж України становить більше 100 тисяч кілометрів. Так на Слайді 3 ми бачимо, що станом на 2006 рік протяжність аварійних ділянок збільшилася у порівнянні з 1999 роком, а загальна довжина трубопроводів зменшилася. Тому заміна морально та технічно застарілих трубопроводів є актуальною задачею. Аналіз теплоізоляційних матеріалів показав, що на сьогоднішній день найбільш ефективним є заміна трубопроводів на попередньоізольовані.

Перші полімерні труби з'явилися в середині ХХ століття. Сьогодні промисловість пропонує вже широкий вибір полімерних труб. При правильному монтажі їх довговічність в кілька разів вище, ніж у сталевих. Висока довговічність компенсує підвищену вартість.

Полімерні труби заслужено завоювали популярність у будівельників завдяки багатьом позитивних властивостей: вони не схильні до корозії; санітарно-гігієнічні показники полімерних труб вище, ніж у сталевих; полімерні труби характеризуються невеликою вагою; пропускна здатність полімерних труб за рахунок гладкості стінок і відсутності обростання значно вище, ніж у сталевих і чавунних при рівному діаметрі; полімерні труби безшумні при будь-якій швидкості потоку.

Попередньоізольована труба представляє собою систему труба в трубі між якими існує прошарок пінополіуретану. Поліуретанова піна утворюється з

рідини, яка поступово стає все більш вузькою і, в кінцевому рахунку, гелеобразною.

Властивості жорстких поліуретанових пінь, як і всіх композиційних матеріалів, залежать від їх складу і структури. Вони не є ізотропним і однофазними, все властивості визначаються формою і орієнтацією осередків піни. Властивості полімерних пінь сильно залежать від щільності або, іншими словами, відносної кількості полімерної і газової фаз. Зміни, викликані поглинанням води або дифузиею газів в осередку піни, можуть серйозно вплинути на їх властивості. Широке використання жорстких пінополіуретанів в якості теплоізоляції засноване на низькому значенні їх теплопровідності. Більшість ізоляційних пінь складається з закритих осередків, які містять пари інертних піноутворювачів.

Теплопередача через конкретний пінополіуретан відбувається за допомогою радіації, конвекції всередині осередків і провідності через полімерну сітку, а також за рахунок провідності пари. Теплопровідність є результатом не тільки складу газу, але також щільності піни і її структури. Радіаційний компонент при цьому становить приблизно одну чверть від значення загальної теплопередачі. Промислові піни містять, крім вспінювача, невелику кількість повітря і CO_2 . Зміст пара в осередках піни прагне до рівноваги з навколишнім середовищем за рахунок дифузії повітря всередину, а піноутворювача - назовні з осередків.

Для цивілізованого світу енергозберігаюча циклопентанова технологія спінювання давно стала звичайною і успішно застосовується більше 10 років в країнах Західної Європи. Сьогодні це новий рівень науково-технічного прогресу на виробництві, що дозволяє отримати коефіцієнт теплопровідності ізоляції не вище $0,027 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Теплоізоляція труб ППУ на основі циклопентана практично не схильна до процесів старіння, має низку переваг: зменшений коефіцієнт теплопровідності $0,027 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ в порівнянні з піною на основі водних вспінювачів ($0,033 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) і забезпечує стабільні теплофізичні

параметри піни протягом нормативного терміну експлуатації трубопроводу (30 років); відповідає вимогам екологічних норм Євросоюзу.

Нами було проведено дослідження, метою яких було визначення теплових потоків, теплових втрат, а також необхідних товщини ППУ ізоляції для умов його виробництва на основі циклопентану при збереженні величини теплових втрат для ізоляції, по якій розроблявся ГОСТ 30732-2006. На підставі поставленої мети досліджень були сформульовані такі завдання:

1. Розрахунок теплових потоків при товщині теплової ізоляції відповідно до ГОСТ 30732-2006 при різній теплопровідності ППУ на основі CO_2 і циклопентану;

2. Розрахунок однаковою для виходу та повернення води товщини теплової ізоляції при теплових потоках відповідно до ГОСТ 30732-2006, але при зниженому коефіцієнті теплопровідності ППУ на основі циклопентану;

3. Розрахунок товщини теплової ізоляції на зворотному трубопроводі зі збереженням її величини для трубопроводу, що подає при теплових потоках з ГОСТ 30732-2006 і зниженою величиною коефіцієнта теплопровідності ППУ на основі циклопентану.

Для попередньо визначених умов розрахунку по поставленим завданням отримані наступні результати.

Побудовано графіки залежностей сумарних теплових потоків на подавальних і зворотних лініях теплотрас від їх діаметра і відповідає ГОСТ 30732-2006 товщині ізоляції, виконаної з ППУ на основі CO_2 і циклопентану.

Як впливає з наведеного графіка, зниження теплового потоку при переході на ППУ на основі циклопентана при тій же товщині теплоізоляційного шару становить (7...9) % по відношенню до ППУ на основі CO_2 . Це дозволяє говорити про енергозберігаючому ефекті в експлуатаційних умовах теплових мереж при використанні удосконаленої теплової ізоляції.

За другою задачі були отримані залежності необхідних товщини ізоляції ППУ на основі CO_2 і циклопентана при однакових теплових потоках, визначених за ГОСТ 30732-2006 для ППУ на вуглекислотному піноутворювачі.

Як впливає з наведеного графіка, має місце зниження товщини теплоізоляційного шару, в середньому на 12 %, при меншому коефіцієнті теплопровідності матеріалу і однакових теплових потоках. Таке зниження відзначається для всіх діаметрів. При цьому найбільше зниження в процентному відношенні (16,7 %) відповідає найменшим діаметрами, і його величина зменшується до 10,3 % при діаметрі 1400 мм.

Отримана зміна товщини теплової ізоляції при однаковій величині теплових потоків дає можливість зменшення необхідної кількості теплоізоляційного матеріалу і призводить до відповідного зниження вартості будівництва або перекладки теплових мереж.

За результатами розрахунків третього завдання, при зниженні товщини на зворотному трубопроводі для ППУ ізоляції на основі циклопентану при однаковою сумарною величиною теплових потоків відбулося їх перерозподіл між подає і зворотним трубопроводами в порівнянні з розподілом при однаковій товщині теплоізоляції. Досягається зниження в середньому на 16% сумарної товщини теплової ізоляції для виходу та повернення води в порівнянні з їх однаковою товщиною для обох трубопроводів. Такий результат дозволяє говорити про економію теплової ізоляції при прокладці трубопроводів теплових мереж з тим же низьким рівнем сумарних теплових втрат.

Крім того, отримано перерозподіл теплових потоків між подаючим і зворотним трубопроводами дозволяє отримати додатковий енергозберігаючий ефект при теплопостачанні за рахунок регулювання витрати теплоносія, що забезпечує зниження температури в зворотній лінії на джерелі тепла.

Побудовано графіки теплових втрат, отримані з використанням методики, представленої в [3] для ряду типорозмірів труб по ГОСТ 30732 - 2006 при безканальній прокладці і наступних умовах експлуатації: температурний графік 130/70; коефіцієнт теплопровідності ґрунту - 1,5 Вт/(м°С); температура ґрунту - 5,8 °С; тривалість опалювального періоду 215 діб.

Будівництво теплотрас із застосуванням попередньо ізольованих труб з ППУ на основі циклопентану дозволяє додатково, на (13...18) %, скоротити

теплові втрати в порівнянні з вуглекислотою піною. Знаючи тариф на теплову енергію, для зазначених умов, нескладно визначити економію коштів при експлуатації конкретної теплової мережі.

Переваги централізованої системи тепlopостачання, її ефективність та надійність неможливі без використання сучасних попередньо ізольованих теплопроводів, оснащених не тільки потужною гідроізоляцією, але і системою попередження пошкоджень і контролю за станом мереж.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Громова, Н.К. Водяні теплові мережі. Довідковий посібник з проектування/ Н.К. Громова, Є.П. Шубіна.-К:Університет, 2008. – 183с.
2. Аналіз систем теплопостачання з різним ступенем централізації// Енергозбереження.– 2008.– № 1.-С.13-15.
3. Про практичну методику кількісної оцінки надійності теплових мереж при їх проектуванні в умовах експлуатації // Енергозбереження. – 2012. – № 10.-С.24-27.
4. Пошук маршруту прокладання інженерних мереж з найменшою вартістю// Науковий вістник.-2009.-№4.-С.6-8.
5. Методика ідентифікації параметрів моделі теплової мережі за даними експлуатації// Автоматизація і сучасні технології.-2015.- №9.-С.48-53.
6. Берлін шукає «третій шлях»// РБК Daily.– 2012.-№9.-С.22-23.
7. СНіП2.04.07:1986 (ред. 2000 року) Теплові мережі. – К.: Держспоживстандарт України, 2000.-140с.
8. Полімерні труби// Пластичні маси.-2013.-№1.-С.8-9.
9. Четверте покоління поліетилену для трубопроводів// Трубопроводи і екологія.-2014.-№8.-С.35-39.
10. Про надійність систем комунального теплопостачання, попередження і усунення аварій і інцидентів// Новини теплопостачання.-2013.-№3.-С.53-58.
11. Перспективні технології в теплопостачанні// Промислове і громадянське будівництво.- 2010.-№10.-С.22-27.
12. Дослідження режимів функціонування теплопостачальних систем// Системні дослідження в енергетиці.-2014.-№5.-С.68-71.
13. Прилади і системи. Управління, контроль, діагностика// Новини теплопостачання.-2002.-№8.-С.24-28.
14. Методика розрахунку центрального регулювання відкрито-закритих систем теплопостачання// Теплоенергетика.-2004.-№ 12.-С.48-49.

15. [ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.](#)-К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017.-24с.
16. Вологдін, С.В. Дослідження і оптимізація режимів теплопостачання будівель, обслуговуваних централізованим джерелом тепла / С.В. Вологдін.-К.: НТУУ КПІ, 2000.-132с.
17. Енергозбереження в системах централізованого теплопостачання на новому етапі розвитку// Енергозбереження.–2012.–№ 2.-С.42-45.
18. Розподілення вартості споживаної теплоти від кімнатних опалювальних приладів// АВОК.–2017.- №4.-С.28-32.
19. Особливості протикорозійного захисту сталевих підземних трубопроводів// Захист металів.-2014.- № 5.-С.39-41.
20. Удосконалення захисту внутрішньої поверхні трубопроводів від корозії// Нафтогазова справа.-2010.-№8.-С.18-23.
21. Воюцький, С.С. Аутогезія і адгезія високополімерів/ С.С. Воюцький.-К.: Основа,1960.-235с.
22. Онищук, М.А. Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика/ М.А. Онищук.-К.: Лібра, 2012.-112с.
23. Енергозберігаючі технології// Теплоенергетика.– 2013.– № 2.-С.11-13
24. Поквартирне опалення. Автономні газові котли// Промислова теплотехніка.– 2014.- №5.-С.28-32.
25. Однопозов, О.С. Безканальне прокладання теплових мереж/ О.С. Однопозов, С.В. Блонштейн.-К.: Освіта, 2015.-145с.
26. Оптично-електронні системи контролю// Все про енергетику. – 2013. - №9.-С.45-46.
27. Електронні системи контролю стану ізоляції// Енерготехнології. – 2016. - №6.-С.28-32.
28. Шарова запірна арматура// Теплоенергетика.– 2015.- №11.-С.16-17.
29. Шиберна арматура. Переваги і недоліки// Новини теплопостачання. – 2014. - №4.-С.33-34.

30. Використання сильфонних компенсаторів на трубопроводах// АрматуроБудівництво. – 2015. - №8.-С.19-23.
31. Засоби захисту трубопроводів від корозії// Енерготехнології. – 2013. - №3.-С.5-7.
32. Автоматизація систем управління// Технології майбутнього. – 2016. - №5.-С.12-15.
33. Перспективи розвитку систем теплопостачання// Енергетика і промисловість України. – 2014. - №7.-С.34-35.
34. Джерело теплоти і теплоносії// Трубопроводи і екологія. – 2016. - №3.-С.26-29.
35. Теплові мережі// Енергозбереження. 2013. - №12.-С.48-53.
36. Концепція реформування сфери теплопостачання// Енерготехнології. 2014. - №1.-С.35-38.
37. Міське опалення по-новому// Житлово-комунальне господарство України. 2015. – №3.-С.16-19.
38. Ціна тепла. Можемо платити менше// Енергобезпека і енергозаощадження. 2016. - №6.-С.45.
39. Муніципальна енергетична реформа в Україні// Енергетика і промисловість України. 2017. - №10.-С.34-36.
40. Теплова ізоляція промислових об'єктів// Теплові мережі. 2016. - №9.-С.43-44.
41. Теплоізоляція трубопроводів// Теплоенергоефективні технології. 2016. - №2.-25-30.
42. Сучасна ізоляція та утеплення трубопроводів// Євробудівництво. 2017.- №5.-С.41-42.
43. Промислова ізоляція теплотраси// Трубопроводи та екологія. 2015. - №11.-С.48-50.
44. Розрахунок товщини ізоляції// Енергозбереження.2014.- №8.-С.1-3.
45. Системи утеплення фасадів// Сучасний будинок. 2015. - №9.-С.24.

46. Економічна ефективність теплової ізоляції// Будівництво високих технологій. 2016. - №5.-С.48-50.
47. Розрахунок коефіцієнта економії теплової енергії// Енергія без кордонів.2015.- №7.-С.13-14.
48. Теплоізоляція будівель та споруд// Теплотехнічний ринок.2016. -№3.-С.23-26.
49. Вимоги до теплової ізоляції трубопроводів// Технології. Організація.2015.-№5.-С.43-46.
50. Вимоги до ізоляції паропроводів// БудЕксперт.2014.- №6.-С.8-12.
51. Горлов, Ю.П. Технологія ізоляційних матеріалів і виробів/ Ю.П.Горлов.- К.: Основа, 2016. - 38с.
52. Різновиди та властивості теплоізоляційних матеріалів// Технології будівництва.2015.- №9.-С.33-34.
53. Природні та штучні матеріали теплової ізоляції// Енергетика і промисловість України.2016.- №2.-С.29-32.
54. Теплова ізоляція. Перспективи розвитку// Техніка і технології. 2016. - №5.-С.8-11.
55. Утеплення пінопластом. Як розрахувати товщину// Теплотехнічний ринок. 2015.- №4.-С.45-47.
56. Як обрати пінопласт// Новини теплопостачання.2015.- №9.-С.12-15.
57. Неорганічні матеріали теплової ізоляції// Новини енергетики.2016. -№7.-С.49-53.
58. Легкі бетони на пористих заповнювачах// Теплоенергетика.2014. -№4.-С.14-19.
59. Модернізація вогнетривкої промисловості// Нові вогнетриви.2015. -№5.-С.32.
60. Забезпечення функціонування трубопроводів при підземному прокладанні// Теплові мережі.2015.- №11.-С.13-17.
61. Експрес-метод оптимального контролю// Теплоенергетика.–2014. -№3.-С.28-33.

62. Сучасні ізолятори. Переваги та недоліки// Східно-Європейський журнал передових технологій.– 2014.- №11.-С.39-41.
63. Шкаралупа з пінополіуретану// Нові рішення в сучасних технологіях.–2015.- №8.-С.24-29.
64. Види мінеральної вати. Параметри вибору// Енергетика: економіка, технології, екологія.– 2013.– №2.-С.45-48.
65. Безшовна ізоляція пінополіуретаном// Головний енергетик.– 2016.-№2.-С.14-16.
66. Що таке піноізол. Характеристики і переваги// Техносвіт. – 2015.-№1.-С.36-40.
67. Утеплювач пінофол. Характеристики, відгуки, монтаж// Новини енергетики.– 2016.-№4.-С.5-8.
68. Процес виготовлення спіненого поліетилену// Наука і технології.–2015.-№12.-С.15.
69. Вдосконалення засобів зовнішнього утеплення// Теплоенергетика.–2014.-№5.-С.35-38.
70. Фольгований утеплювач. Альтернативна енергетика// Енергетика і електрифікація.-2015.-№6.-С.24-28.
71. Принцип «труба в трубі». Переваги і недоліки// Академія енергетики.–2016.-№8.-С.19-23.
72. ДСТУ 30732:2006. Труби і фасонні вироби сталеві із тепловою ізоляцією із пінополіуретана з захисною оболонкою. - К.: Основа, 2007.-36-41.
73. СНіП 4103:2003. Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів. - Київ, 2004.-18-24.
74. Звід правил по проектуванню і будівництву СП 41103:2000. Проектування теплової ізоляції обладнання і трубопроводів. - К.: Основа, 2001.-36-41.
75. Визначення оптимальної товщини ізоляції/ Шістнадцята Міжнародна науково-технічна конференція «Радіоелектроніка, електротехніка і енергетика».- К.: Стандарт, 2010.489-490.

76. Регіональні норми з теплової ізоляції промислового обладнання і трубопроводів// Енергозбереження.-2001.-№6.-С.65-67.