

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

О. О. АЛЕКСАХІН,
О. В. БОБЛОВСЬКИЙ

ТЕПЛОВІ І ГІДРАВЛІЧНІ РЕЖИМИ МІКРОРАЙОННИХ
СИСТЕМ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

МОНОГРАФІЯ

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021

УДК 658.24

A46

Автори:

Алексахін Олександр Олексійович, кандидат технічних наук, доцент;
Бобловський Олександр Володимирович, асистент

Рецензенти:

Антон Миколайович Ганжа, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «ХПІ»;

Світлана Вікторівна Альохіна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем машинобудування НАН України

*Рекомендовано до друку Вченою Радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
протокол № 11 від 29 червня 2021 р.*

Алексахін О. О.

A46 Теплові і гідравлічні режими мікрорайонних систем в умовах реформування централізованого теплопостачання : монографія / О. О. Алексахін, О. В. Бобловський ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 180 с.

ISBN 978-966-695-563-3

Монографія містить оцінки потенціалу енергозбереження житлових будинків та узагальнення результатів обчислення зміни теплового стану розподільних теплопроводів системи опалення і режимних показників підігрівних установок централізованого гарячого водопостачання при впровадженні заходів з енергозбереження для функціонуючих будівель. Наведені також методики для обчислення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі за укрупненими показниками забудови.

УДК 658.24

© О. О. Алексахін, О. В. Бобловський, 2021

ISBN 978-966-695-563-3

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНІВ.....	6
2 ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ ПІСЛЯ ЇЇ УТЕПЛЕННЯ.....	14
2.1 Стан енергоспоживання у житлово-комунальному господарстві України.....	14
2.2 Оцінка потенціалу енергозбереження для житлових будівель.....	18
2.3 Визначення показників роботи системи опалення утепленої будівлі.....	22
2.4 Температурний стан утепленої будівельної конструкції.....	28
3 ОЦІНКИ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ТРУБОПРОВОДІВ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ МІКРОРАЙОНУ.....	32
3.1 Теплові розрахунки теплових мереж.....	33
3.2 Спрощені методики визначення втрат теплоти теплопроводами.....	36
3.3 Результати обчислень теплових втрат теплопроводами опалювальної мережі.....	52
3.4 Спрощені методики визначення теплових втрат теплопроводами опалювальної мереж з урахуванням утеплення будівель	72
3.5 Теоретичне обґрунтування методики визначення фактичних втрат теплоти у мікрорайонних мережах.....	88
3.6 Вплив утеплення будівель на показники роботи мікрорайонної підігрівної установки гарячого водопостачання.....	105

4 ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ДВОТРУБНОЇ СХЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНІВ.....	117
4.1 Оцінка зміни теплообмінної поверхні водопідігрівачів при переході на двотрубну мікрорайонну систему теплопостачання.....	117
4.2 Оцінка зміни параметрів мікрорайонної теплової мережі при переході від чотиритрубної системи теплопостачання до двотрубної.....	128
4.3 Зменшення непродуктивних витрат води і теплоти у системі гарячого водопостачання при переході до двотрубної системи теплопостачання мікрорайону.....	143
5 ОЦІНКА РЕСУРСУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ МІКРОРАЙОНУ.....	150
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	167
ДОДАТКИ.....	171

ВСТУП

Цикл виробництва і споживання теплової енергії при централізованому теплопостачанні включає втрати при її генерації, транспортуванні та споживанні. За існуючими оцінками значну частину втрат теплоти складають втрати у кінцевого споживача. У структурі теплоспоживання витрата теплоти йде на компенсацію теплових втрат через зовнішні огорожувальні конструкції.

Для забезпечення сучасних теплотехнічних вимог стосовно до огорожувальних конструкцій будівель термічний опір конструктивних елементів необхідно збільшити в порівнянні з діючими на момент їх спорудження нормами від 1,5 до 3 разів залежно від виду огороження. І хоча за деякими оцінками період окупності витрат на утеплення житлових будинків досить великий, додаткова теплоізоляція існуючих будівельних конструкцій залишається основним заходом щодо зниження енерговитрат будівель. З ростом цін на первинні енергоносії термін окупності вже найближчим часом може скоротитися до 3–5 років.

Теплові втрати трубопроводами системи теплопостачання залежать від способу прокладки мереж, діаметру теплопроводів, параметрів теплової ізоляції і температури теплоносія та оточуючого середовища. Спосіб прокладки теплових мереж залежить від геологічних умов, щільності існуючих інженерних комунікацій. Діаметр розподільних трубопроводів системи опалення визначають залежно від теплового навантаження будівель, розподілу витрат теплоносія по довжині фрагмента мережі і середніх по довжині гілки питомих втрат тиску. Питомі втрати тиску пов'язані з величиною діаметру теплопроводів і суттєво впливають на техніко-економічні показники теплових мереж.

Монографія містить оцінки потенціалу енергозбереження житлових будинків та узагальнення результатів обчислення зміни теплового стану розподільних теплопроводів системи опалення і режимних показників підігрівних установок централізованого гарячого водопостачання при впровадженні заходів з енергозбереження для функціонуючих будівель. Також наведені методики для обчислення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі за укрупненими показниками забудови.

1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНІВ

За минулі роки в містобудуванні склалась певна планувальна структура [1, 2]. У великих і найбільших містах вона передбачає створення районів, кожен з яких складається з декількох мікрорайонів. У середніх і малих містах основною одиницею забудови є квартал. Розвиток інженерної інфраструктури міст відбувався відповідно до розвитку містобудування. Результатом становлення системи забезпечення тепловою енергією будівель і споруд у великих і середніх містах є система централізованого теплопостачання з наявністю різноманітних джерел теплоти різної потужності і розгалуженими тепловими мережами значної довжини. Основним джерелом теплоти у великих містах є теплоелектроцентралі, на яких реалізується комбіноване вироблення теплової і електричної енергії. Теплофікація забезпечує 40 % теплоти, що споживається у промисловості і комунальному господарстві для потреб опалення і гарячого водопостачання. Котельні є основним джерелом теплоти для середніх і малих міст. Проте, теплопостачання великих міст характеризується складною структурою з наявністю і великих ТЕЦ, і котельень різної продуктивності. Часто до структури теплопостачання міст входять котельні і ТЕЦ промислових підприємств, які забезпечують енергією технологічні цикли цих підприємств і відпускають теплоту житловим і громадським будинкам. Зокрема, у м. Харкові утворилася така система теплопостачання:

- централізований розподіл теплоти від ТЕЦ і районних котельень через центральні теплові пункти;
- централізований розподіл теплоти від ТЕЦ і районних котельень із безпосереднім приєднанням споживачів до магістральних теплових мереж;
- теплопостачання від котельень промислових підприємств;
- теплопостачання від квартальних та індивідуальних котельень.

Під час формування систем централізованого теплопостачання виникає питання вибору величини району обслуговування джерелом теплової енергії. Збільшення району обслуговування, з одного боку, обумовлює збільшення продуктивності джерела теплоти і веде до

зниження питомих капітальних витрат на його спорудження. Проте, з другого боку, це веде до збільшення капіталовкладень у теплові мережі. Крім того, при виборі кількості джерел теплоти і місць їхнього розміщення варто враховувати санітарно-гігієнічні та архітектурні вимоги. Разом із тим важливим фактором стає вид палива. Чим менше обсяги вироблення теплоти джерелом теплопостачання і чим ближче знаходиться житлова зона, тим вищі вимоги до якості палива. З урахуванням цих факторів для домових, групових і мікрорайонних котелень використання газу має перевагу.

Комунальні котельні, так само як і промислові котельні, промислові ТЕЦ, побутові установки різної теплової продуктивності відносять до так званої малої енергетики. Залежно від величини теплового навантаження комунальні котельні класифікують відповідно до структурних одиниць території міст: будинкові, групові, мікрорайонні, районні. Інтерес до проблем малої енергетики викликаний значною кількістю теплогенеруючих установок і обсягом спалюваного палива, який становить більше за 60 % від рівня споживання паливно-енергетичним комплексом України. Для існуючих установок малої енергетики в цілому характерні невисокий рівень економічності (коефіцієнт корисної дії приблизно на 20 % нижче рівня, характерного для великих газомазутних котлів при роботі на природному газі) і надійності та суттєва зношеність. Наприклад, середній знос обладнання районних котелень м. Харкова становить від 62 % до 76 %, знос поверхонь нагріву – 60–70 %. Значна частина котлів, що знаходяться в експлуатації в Харківській області (приблизно 30 %) потребує заміни або виведення з експлуатації через фізичний знос та низькі експлуатаційні показники [3]. Загалом фізичний знос котелень Харківської області становить більше за 50 %, що спричиняє перевитрати електроенергії та палива.

Відповідно до структури містобудівельних утворень інженерні мережі розподіляють на мікрорайонні, що обслуговують забудову у межах мікрорайону, магістральні районного значення і магістральні загальноміського значення для забезпечення міста в цілому. Для магістральних теплопроводів характерні більш високі параметри

теплоносія, ніж це необхідно для систем приєднаних будівель. Необхідність зниження температури води у подавальних трубопроводах теплових мереж від магістральних до розподільних мереж обумовила необхідність спорудження спеціальних теплових пунктів.

Використання підземних мереж всередині забудови найкраще відповідає сучасному архітектурно-планувальному рішенням території мікрорайонів і дозволяє більш економічно вирішувати питання організації вводів до будинків, використовувати технічні підпілля споруд для прокладання мереж. На вибір способів прокладання комунікацій суттєво впливають такі містобудівельні фактори, як планувальні рішення, конфігурація та розміри території, кількість мешканців. Оптимальним для мікрорайонів на 6–10 тис. мешканців є комбінований метод (частково у тунелях, частково у ґрунті) [4]. Рекомендації мають загальний характер і у кожному окремому випадку вибір здійснюють на підставі техніко-економічного обґрунтування.

При каналних способах прокладання конструкція каналу огорожує теплопровід від безпосереднього впливу ґрунту і дозволяє повністю розвантажити трубопровід від тиску маси ґрунту. Прокладання в каналах забезпечує вільне температурне переміщення трубопроводів в усіх напрямках, що дозволяє використовувати самокомпенсувальну здатність на кутах повороту траси. Під час прокладання теплопроводів у каналах використовують непрохідні конструкції каналів, напівпровідні і прохідні. Непрохідні канали використовують для мікрорайонних мереж. Напівпрохідні канали застосовують для прокладання теплопроводів у межах міських проїздів з поліпшеним покриттям. У прохідних каналах трубопроводи прокладають на відповідальних ділянках теплових мереж і сумісно з іншими інженерними мережами. Безканальне прокладання теплових мереж також широко розповсюджене. У такому випадку теплова ізоляція має бути достатньо міцною і мати зовнішній гідроізоляційний шар. Крім того, необхідно враховувати, що температурні подовження трубопроводу гальмуються ґрунтом і перетворюються у внутрішні напруження трубопроводу, що значно ускладнює розрахунки навантажень, які виникають у трубопроводі. Сучасні конструкції безканального

прокладання з попередньо ізолюваних трубопроводів дозволяють значно зменшити теплові втрати під час транспортування теплоносія завдяки використанню пінополіуретану, який має низький коефіцієнт теплопровідності, і зменшити корозію трубопроводів завдяки захисній оболонці з поліетилену. Теплопроводи мають дроти сигналізації, що дозволяє визначити місце зволоження ізоляції в процесі експлуатації і уникнути аварійних пошкоджень трубопроводів через зовнішню корозію і сприяє скороченню термінів ліквідації аварії. Заглиблення теплових мереж від поверхні землі або шляхового покриття прийняте (не менше): до верху перекриття каналів – 0,5 м; до верху перекриття камер – 0,3 м; до верху оболонки безканальної прокладки – 0,7 м.

Розвиток централізованого гарячого водопостачання обумовив створення потужних водопідігрівних установок для забезпечення гарячою водою з температурою не нижче 55 °С [5] споживачів мікрорайону, теплообмінні апарати яких встановлюють на теплових розподільних станціях (центральных теплових пунктах), а також той факт, що мікрорайонні теплові мережі стають чотиритрубними: подавальний і зворотний трубопроводи системи опалення та подавальний і циркуляційний трубопроводи системи гарячого водопостачання. Безперервна або періодична циркуляція забезпечує компенсацію теплових втрат трубопроводами гарячого водопостачання і підтримання необхідної температури води у системі.

Особливістю сформованих систем централізованого теплопостачання є велика довжина мікрорайонних теплових мереж. Наприклад, довжина магістральних теплових мереж у м. Харкові становить 403 км (у двотрубному обрахуванні), а розподільних мереж – 1 120 км. Діаметри теплових магістралей знаходяться у діапазоні від 600 мм до 1 200 мм, середній діаметр мікрорайонних мереж знаходиться у межах 130 мм [3]. Основний метод прокладання теплопроводів у м. Харкові – роздільний, підземний, у непрохідних каналах; основний вид теплоізоляції – мінераловатна ізоляція. На поточний час приблизно 40 % магістральних теплових мереж знаходяться в експлуатації більше 30 років і, як свідчить аналіз стану інженерних мереж м. Харкова [3], значна їхня

частина має незадовільні експлуатаційні показники. Середній відсоток зносу теплових мереж складає більше за 60 %.

Практика експлуатації систем теплопостачання показує, що крупні розгалужені системи не можна надійно експлуатувати без створення проміжних ступенів управління між джерелами теплоти і абонентами. Такими ступенями управління є групові теплові підстанції, на яких відбувається приготування води для потреб гарячого водопостачання, розподіл теплоносія за видами навантажень, регулювання гідравлічних і теплових режимів у мікрорайонних теплових мережах, облік споживання теплоти. До переваг схем із центральними тепловими пунктами відносять такі: зменшення сумарної поверхні підігрівників гарячого водопостачання; зменшення кількості автоматичних приладів і насосних установок для створення циркуляції води у системах гарячого водопостачання; скорочення чисельності обслуговуючого персоналу. Вказані переваги такої організації систем теплопостачання великих міст обумовило той факт, що розвиток централізованого теплопостачання великих міст відбувався шляхом концентрації потужностей одиничних теплових підстанцій. У м. Харкові від 220 теплорозподільних станцій потужністю по 10–70 МВт забезпечується більше за 70 % всього теплового навантаження житлово-комунального сектора. На центральних теплових пунктах встановлюють водопідігрівні установки гарячого водопостачання, обладнання для приєднання мікрорайонної опалювальної мережі (теплообмінний апарат або підмішувальний насос), засоби автоматизації, контрольно-вимірювальні прилади. Для приготування гарячої води переважно застосовують двоступінчасті схеми приєднання теплообмінних апаратів. Це пов'язано з бажанням додаткового використання теплоти, яку містить теплоносій зворотного трубопроводу опалювальної мережі [6]. Такий підхід забезпечує зниження загальних витрат нагрівного теплоносія через тепловий пункт і веде до зменшення металоємності теплових мереж і витрат електроенергії для роботи мережних насосів. Обладнання індивідуальних теплових пунктів, які призначені для приєднання інженерних систем окремих будівель до розподільних теплових мереж і управління тепловими процесами, що забезпечують комфортні умови у

будівлі, залежить від обраних схем приєднання [7]. Структурна відмінність теплових схем індивідуальних пунктів будівель від схемних рішень центральних теплових пунктів полягає в тому, що для приєднання теплообмінних апаратів гарячого водопостачання зазвичай використовують одноступінчасту схему, а для приєднання системи опалення, ймовірно, – незалежну схему. У тепловому пункті мають бути реалізовані такі системи автоматичного контролю [8]:

- температури теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах до і після теплового пункту, у зворотних трубопроводах окремих частин системи опалення;
- тиску теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах перед і після індивідуального теплового пункту;
- витрати теплоносія і кількості спожитої теплової енергії.

Зміну теплового навантаження систем теплоспоживання здійснюють, змінюючи витрати теплоносія за постійної його температури у подавальному трубопроводі теплових мереж (кількісне регулювання) або змінюючи температуру теплоносія у подавальному трубопроводі, підтримуючи витрати теплоносія на незмінному рівні (якісне регулювання). Кількісне регулювання застосовують переважно для парових систем промислових підприємств. Для теплопостачання житлових і громадських споруд використовують якісне регулювання теплових режимів. Для систем опалення залежно від кількості опалювальних приладів, які регулюють одночасно, розрізняють одиничне, групове, центральне і комбіноване регулювання. При груповому регулюванні з одного пункту регулюються декілька однотипних пристроїв однакового призначення. Регулювання може здійснюватись в межах однієї квартири (квартирне регулювання), одного фасаду будівлі (пофасадне регулювання), будівлі в цілому (абонентське регулювання), у декількох будівлях (квартальне, мікрорайонне регулювання). При центральному регулюванні з одного центра (джерело теплопостачання) здійснюється зміна тепловіддачі опалювальних приладів усіх споруд району обслуговування. При комбінованому регулюванні центральне регулювання доповнюється місцевим в окремих групах приладів або навіть в окремих приладах.

Останнім часом спостерігається тенденція поширення децентралізованого теплопостачання у вигляді влаштування індивідуальних місцевих котелень, які розміщують поблизу або безпосередньо у будинках. Перегляд принципів централізованого теплопостачання від ТЕЦ і великих котелень обумовлений, насамперед, значними енерговтратами під час транспортування теплоносія до споживачів. Ці втрати пов'язані зі значною протяжністю мереж та їхніми технологічними рішеннями. Сучасні індивідуальні котельні для забезпечення теплотою багатопверхових будинків використовують природний газ. Вони характеризується високим ступенем автоматизації, який забезпечує значення коефіцієнта корисної дії не нижче 90 %. Такі котельні монтують із стандартних модулів, що дає можливість забезпечувати необхідну теплову продуктивність. Влаштовують такі котельні на дахах будинків.

Використання місцевих джерел для теплозабезпечення груп будівель, окремого будинку або його частини можливе у тих випадках, коли потужність централізованого джерела не забезпечує необхідну потребу в теплоті, а також коли споживач віддалений на значну відстань від теплової мережі і його приєднання за техніко-економічними показниками недоцільне.

Під час вибору оптимального рішення щодо структури теплопостачання необхідно розглядати систему теплозабезпечення як єдине ціле, оскільки будь-які зміни якогось елементу системи відбиваються меншою чи більшою мірою на інших складових і на системі в цілому. Для комплексного аналізу функціонування системи теплопостачання необхідна розробка моделі системи, яка б дозволила визначати поточні й перспективні режимні параметри, зокрема при змінах структури системи.

Наразі стало зрозумілим, що, не зважаючи на недоліки централізованих систем теплопостачання, відмова від них і перехід до інших форм організації виробництва та розподілу теплової енергії впродовж нетривалого часу неможливий. Це пояснюється, передусім, необхідністю значних капіталовкладень у реконструкцію системи. Тому,

імовірніше, перехід до інших форм теплопостачання відбуватиметься в умовах функціонування централізованих систем, які поетапно реформуються. Одним з елементів централізованих систем теплопостачання міста, у якому сконцентровано їхні проблеми, є інженерна інфраструктура мікрорайону. Більша частина будівель, які сформували забудову мікрорайонів, введено в експлуатацію у період з середини до кінця минулого століття за діючими на той момент нормативними вимогами. Частка в опаленні раніше збудованих споруд становить 85 %, тому, як свідчить низка авторів [9, 10], основний резерв енергозбереження у будівлях – реконструкція саме збудованих об'єктів із підвищеними втратами теплоти через огорожувальні конструкції (панельні і блочні будинки побудови 1958–1985 років). За умови доведення фактичного опору теплопередачі до рівня сучасних вимог [11] величину втрат теплоти через огорожувальні конструкції приміщень будівлі можна зменшити на 25–45 % [9, 12].

Роботи з утеплення будівель мікрорайону, імовірніше, виконуватимуть протягом декілька сезонів. Тому до повного завершення робіт до утеплених і до неутеплених будівель, приєднаних до єдиної мікрорайонної мережі, теплоносій надходитиме з однаковою температурою. Зменшення подачі теплової енергії для опалення утеплених будівель можна здійснити зниженням температури теплоносія в опалювальних приладах та зменшенням витрат води з розподільної теплової мережі. Після закінчення робіт з утеплення всіх будівель мікрорайону температуру води у подавальному трубопроводі мережі опалення можна зменшити на центральному тепловому пункті для мікрорайону в цілому.

2 ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ ПІСЛЯ ЇЇ УТЕПЛЕННЯ

2.1 Стан енергоспоживання у житлово-комунальному господарстві України

Виробництво і споживання теплової енергії при централізованому теплопостачанні характеризується втратами під час її генерації, транспортування і використання. За існуючими оцінками втрати теплоти на етапах генерації і транспортуванні становлять 7–15 %, а втрати у споживача 30–50 % [10]. Через зовнішні стіни будівель втрачається приблизно 40 % теплоти, через скління 35 % та інші види втрат 25 %. Житлово-комунальний комплекс України посідає третє місце (після металургійної та хімічної промисловості) за обсягами споживання енергоносіїв і перше місце за споживанням тепла. В Україні налічується близько 600 тис. будинків, з них багатоповерхових (5 і більше поверхів) – 70 тис. За даними [10] у цих будинках на опалення у рік витрачається близько 40 % усіх теплоенергетичних ресурсів, що споживаються в народному господарстві. За показником споживання теплової енергії на 1 м² опалювальної площі витрати теплоти в Україні перевищують аналогічний показник у країнах зі схожим кліматом (наприклад, Швеція, Фінляндія) у декілька разів. Великі теплові втрати через конструкції огорожень більшості існуючих будівель пояснюються тим, що значна частина житлового фонду споруджена у часи, що характеризувались низькою вартістю енергоносіїв і вимогами здешевлення будівництва. Це обумовило знижені нормативи до величини термічного опору огорожень і підвищені витрати теплоти на компенсацію втрат теплоти. За останні десятиліття вимоги до опору теплопередачі неодноразово підвищувались, наближаючись до європейських вимог (табл. 2.1). Відзначається [13], що із загального резерву енергозбереження в Україні обсягом 33,8 млн тон умовного палива (у. п.) теплова ізоляція може дати 17,7 млн тон у. п. (53 %), облік витрат теплоти – 8,2 млн т у. п. (24 %), модернізація систем – 7,32 млн т у. п. (22 %) і поновлювані джерела – 0,6 млн тон у. п. (менше 1 %). Сучасний рівень розвитку будівельної галузі надає широкий вибір

матеріалів, виробів, конструкцій і технологій, що дозволяють забезпечити тривалу, надійну і комфортну експлуатацію будівель і споруд різного призначення.

Таблиця 2.1 – Динаміка зміни нормативних вимог до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель [11]

Назва огорожувальної конструкції	Нормативні значення опору теплопередачі R , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$; (І кліматична зона)				
	Норматив (1971)	Норматив (1976)	Норматив України (1996)	Норматив України (2006)	Норматив України (2016)
Зовнішні стіни	0,91	1,1	2,2	2,8	3,3
Покрівля*	1,23	1,3	2,5	3,3	4,95
Підлога**	1,23	1,3	2,3	2,8	3,75
Вікна	0,16	0,18	0,5	0,6	0,75
* горищні покриття та покриття неопалювальних горищ.					
** покриття над проїздами та неопалювальними підвалами.					

Розрахункова методика для енергетичної сертифікації будівель у країнах ЄЕС зазвичай базується на процедурі, викладеній у стандартах CEN. Проте в країнах використовують тільки власні національні методики. У всіх країнах встановлено національні вимоги до теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій, які з часом змінюються (табл. 2.2). Іноді передбачають різні значення для житлових і громадських будівель або для споруд різної форми. Крім того, встановлено мінімальні значення теплозахисних характеристик (табл. 2.3). В Італії, Данії, Словенії і Німеччині (для житлових споруд) передача теплоти через огорожувальні конструкції будівлі обмежується використанням середнього значення теплозахисних характеристик, а в Угорщині – потребою в енергії для опалення. У деяких країнах (Італія, Іспанія, Франція) значення теплозахисних характеристик змінюються по районах залежно від кліматичних умов, які визначаються місцем розташування району включно з відстанню від моря і висотою над рівнем моря.

Фінляндія і Норвегія застосовують менш жорсткі вимоги до теплового захисту для дерев'яних споруд із метою захисту традицій будівництва з дерева. У Швеції встановлено більш високе значення для будинків з електричним опаленням.

Таблиця 2.2 – Потрібні значення опору теплопередачі для типових будинків у деяких європейських країнах [14]

Країна	Показник					
	Рік прийняття нормативу	Тип будинку	Опір теплопередачі, м ² ·°C/Вт			
			стіни	покрівля	вікна	підлога
Франція	2005	житловий	2,78	5,0	0,56	3,7
Бельгія	2008	житловий	2,0	3,33	0,47/ (0,67) ³	1,11
Нідерланди	2011	житловий	3,45	3,45	0,45	3,45
Німеччина	2009	житловий	3,57	5,0	0,77	2,86
		громадск.	3,57/ (2,86) ¹	5,0/ (2,86) ¹	0,77/ (0,53) ¹	2,86
Велика Британія	2010	житловий	5,55	6,67	0,67	4,76
Італія	2010		3,03/ (1,61) ²	3,45/ (2,63) ²	0,5/ (0,23) ²	3,12 (1,54) ²
Угорщина	2006		2,22	4,0	0,62	4,0
Данія	2006		5,0	5,56	0,67	6,67 (8,33) ⁴
Норвегія	2007		5,56	7,69	0,83	6,67
Швеція	2008		5,56	7,69	0,76	6,67
Фінляндія	2010		5,88	11,11	1,0	5,88
¹ Для температури внутрішнього повітря відповідно > 19 °C / < 19 °C. ² Граничне значення для самих теплих кліматичних зон Італії. ³ Тільки для скла. ⁴ При використанні теплої підлоги.						

Для забезпечення сучасних теплотехнічних вимог [11] стосовно огорожувальних конструкцій більшості функціонуючих будівель термічний опір конструктивних елементів необхідно збільшити порівняно з вимогами, що діяли на момент спорудження, від 1,5 до 3 разів залежно від виду огороження. При існуючих технологіях будівництва, виготовлення огорожувальних конструкцій [15], теплоізоляційних матеріалів [16] та інженерних систем втрати теплоти можна зменшити у 1,5–2,5 рази, що згідно з [9] дозволить зменшити споживання теплоти будівельним сектором не менше, ніж на 20 %.

Таблиця 2.3 – Мінімальні значення опору теплопередачі для типових будинків у деяких європейських країнах [14]

Країна	Показник					
	Рік прийняття нормативу	Тип будинку	Опір теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$			
			стіни	покрівля	вікна	підлога
Франція	2005		2,22	3,57/ (2,94) ²	0,38	2,78/ (2,5) ³
Німеччина	2009	житловий	2,5 - 1,54			
		громадск.	2,86/ (2,01) ¹	2,86/ (2,01) ¹	0,53/ (0,34) ¹	2,86/ (2,01) ¹
Словенія	2008/2010		3,57	5,0	0,77	3,33
Угорщина	2006		2,22	4,0	0,62	4,0
Данія	2006		2,5	4,0	0,5	3,33
Норвегія	2007		4,56	5,56	0,63	5,56
Фінляндія	2010		1,66	1,66	0,56	1,66
¹ Для температури внутрішнього повітря відповідно $> 19\text{ }^\circ\text{C}$ / $< 19\text{ }^\circ\text{C}$.						
² Для металевих дахів.						
³ Для підлог над підвальним приміщенням.						

Відомий німецький досвід із теплової санації 300 000 будинків у Східній Німеччині. Для типового панельного 72 квартирного будинку вартість термосанації з модернізацією внутрішньобудинкової системи

теплопостачання склала 6 000 євро на квартиру (110 євро на 1 м²). У вихідних даних було прийнято, що 33 % тепла втрачається через зовнішні стіни, дах і підвал; 33 % – через вікна і третина – на вентиляцію приміщень. Після санації втрати теплоти через стіни і дах скоротилися на 65 %, втрати теплоти через вікна зменшилися на 50 % і на вентиляцію також на 50 %. У підсумку зменшення втрат теплоти склало 55 %.

Крім удосконалення будівельних конструкцій і збільшення опору теплопередачі, зменшення енергоспоживання можна досягти шляхом удосконалення систем енергопостачання і їхніх елементів (комбінування систем між собою, наприклад, центральної і автономної системи теплопостачання, зменшення інфільтрації тощо); шляхом утилізації природного тепла і холоду, використання вторинних ресурсів (використання природного тепла і холоду, використання теплонасосних установок тощо).

2.2 Оцінка потенціалу енергозбереження для житлових будівель

У житлових будинках витрати теплоти на нагрів інфільтраційного повітря здійснюється зазвичай за допомогою опалювальних приладів. Теплову продуктивність системи опалення Q_o записують як суму теплових втрат через конструкції огороження і витрат теплоти на нагрів інфільтраційного повітря Q_b :

$$Q_o = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{R_i} F_i \Delta t_i \right) + Q_b, \quad (2.1)$$

де R_i , F_i – опір теплопередачі та площа поверхні зовнішнього огороження відповідно; Δt_i – різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря для приміщення, яке розглядається; i – номер огороження.

Записуючи рівняння (2.1) для теплової продуктивності системи опалення до утеплення будівлі Q_{o1} і після виконання робіт з енергозбереження Q_{o2} , отримуємо вираз для величини відносного зменшення опалювального навантаження:

$$\frac{Q_{o1} - Q_{o2}}{Q_{o1}} = \frac{(Q_{B1} - Q_{B2}) + \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1,i}} F_i \Delta t_{1,i} \right) - \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{2,i}} F_i \Delta t_{2,i} \right)}{Q_{1,B} + \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{2,i}} F_i \Delta t_{2,i} \right)}, \quad (2.2)$$

де $R_{1,i}$, $R_{2,i}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, що розглядається, до її утеплення і після відповідно; $\Delta t_{1,i}$, $\Delta t_{2,i}$ – різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря; F_i – площа огорожувальної конструкції.

Оскільки у структурі втрат теплоти будівель тепловий потік через зовнішні стіни має максимальну величину, рівняння (2.2) зручно записати у вигляді:

$$\frac{Q_{o1} - Q_{o2}}{Q_{o1}} = \frac{\frac{(Q_{B1} - Q_{B2})}{F_1} + \left(\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{R_{1,i}} F_i \Delta t_{1,i} \right) - \left(\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{R_{2,i}} F_i \Delta t_{2,i} \right)}{Q_{1,B} + \left(\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{R_{2,i}} F_i \Delta t_{2,i} \right)}. \quad (2.2, a)$$

Величину $f_i = F_i / F_1$ (F_1 – площа зовнішніх стін будівлі) можна вважати безрозмірною конструктивною характеристикою споруди. Часто для оцінки якісного рівня об'ємно-планувальних рішень використовують величину відношення загальної площі поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій до опалюваного об'єму будівлі. Конструктивні характеристики розглянутих типових житлових будинків наведено у додатку А. За формулою (2.2, а) обчислено можливу економію теплової енергії при забезпеченні сучасних вимог до величини опору теплопередачі конструктивних елементів будівель, споруджених у попередні роки. Термічний опір зовнішніх огорожень до утеплення прийнято відповідно [17], після утеплення – відповідно [11]. Температуру повітря у технічному підпіллі обчислено за запропонованою у [18] формулою:

$$t_{\Pi} = \frac{17,5F_{\text{пер}} + \left(\sum \frac{F_{\text{н},i}}{R_{\text{н},i}} + 1,08 \frac{F_{\text{мн}}}{R_{\text{н}}} + 0,278C \cdot G \right) t_{\text{п.о}} + K_{\text{т}}(1-\eta)(F_{\text{п}}t_{\text{п}} + F_{\text{о}}t_{\text{о}} + F_{\text{гв}}t_{\text{гв}} + F_{\text{тр}}t_{\text{тр}})}{\sum \frac{F_{\text{н},i}}{R_{\text{н},i}} + 1,08 \frac{F_{\text{мн}}}{R_{\text{н}}} + 0,278C \cdot G + K_{\text{т}}(1-\eta)(F_{\text{п}} + F_{\text{о}} + F_{\text{тр}})}, \quad (2.3)$$

де $F_{пер}$ – площа перекриття над технічним підпіллям; $F_{n,i}$ – площа i -ї умовної зони підлоги технічного підпілля включно з площею стін, що заглиблені в землю; $R_{n,i}$ – опір теплопередачі i -ї умовної зони підлоги технічного підпілля; F_{nn} – площа зовнішньої стіни технічного підпілля, яка розташована вище рівня землі; R_n – опір теплопередачі зовнішньої стіни технічного підпілля; G – масові витрати зовнішнього повітря (розрахунковий повітрообмін у технічному підпіллі; C – питома теплоємність повітря; K_T – коефіцієнт теплопередачі неізольованих труб; η – коефіцієнт ефективності теплової ізоляції труб; $F_{п}, F_o, F_{гв}, F_{тр}$ – загальна поверхня неізольованих трубопроводів відповідно подавальної й зворотної ліній опалення, гарячого водопостачання та транзитних ліній; $t_{п}, t_o, t_{гв}, t_{тр}$ – температура води відповідно у подавальній й зворотній лініях опалення, гарячого водопостачання та транзитних лініях; $t_{p.o}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для системи опалення.

Під час обчислень за формулою (2.3) прийнято, що транзитні трубопроводи у технічному підпіллі відсутні ($F_{тр} = 0$), температура води у подавальному трубопроводі системи гарячого водопостачання дорівнює 55 °С, у циркуляційному трубопроводі 46,5 °С. Температура повітря на горищі становить 5 °С. У розрахунках прийнято такі значення величин, що входять до формули (2.3): $K_T = 14,6$ Вт/м²·К; $\eta = 0,6$; $R_{п1} = 2,15$ м²·К/Вт; $R_{п2} = 4,3$; $R_{п3} = 8,6$; $R_{п4} = 14,2$. При визначенні температури повітря у технічному підпіллі утепленої будівлі величину теплового потоку через перекриття підвалу уточнено з урахуванням збільшення його термічного опору. Результати обчислення зменшення витрат теплоти для опалення наведені у додатку А. Помітного зниження споживання теплової енергії будівлею можна досягти підвищенням ефективності роботи системи вентиляції, тому що витрати теплоти для нагрівання вентиляційного повітря близькі за величиною до втрат теплоти через зовнішні огороження. За даними роботи [9] потенціал енергозбереження за використання природно-механічної вентиляції знаходиться у межах 10–15 % (при утилізації теплоти приблизно 20–25 %) від загальних витрат теплоти для нагрівання повітря. Оскільки вартість систем вентиляції з утилізацією теплоти для масового будівництва у сучасних умовах значна,

реалістичнішим виглядає варіант зниження витрат теплоти спорудою завдяки додатковому утепленню її будівельних конструкцій. Під час забезпечення сучасних вимог щодо рівня опору теплопередачі огорожувальних конструкцій розглянутих типів будинків можливе зменшення витрат теплоти на опалення за розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря приблизно на 23–30 % залежно від конструктивних особливостей споруд. За середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря зменшення витрат теплоти, необхідних для підтримання температури внутрішнього повітря, становить 19–23 %, що збігається з наведеними у [9] даними.

Співставлення результатів обчислень для розглянутих типів житлових будинків залежно від конструктивних характеристик споруд здійснено на рисунку 2.1. Як видно з наведеного графіка, залежність рівня зменшення витрат теплової енергії для опалення будівель від величини співвідношення загальної площі зовнішніх огорожувальних конструкцій та опалюваного об'єму будівель F/V має практично лінійний характер.

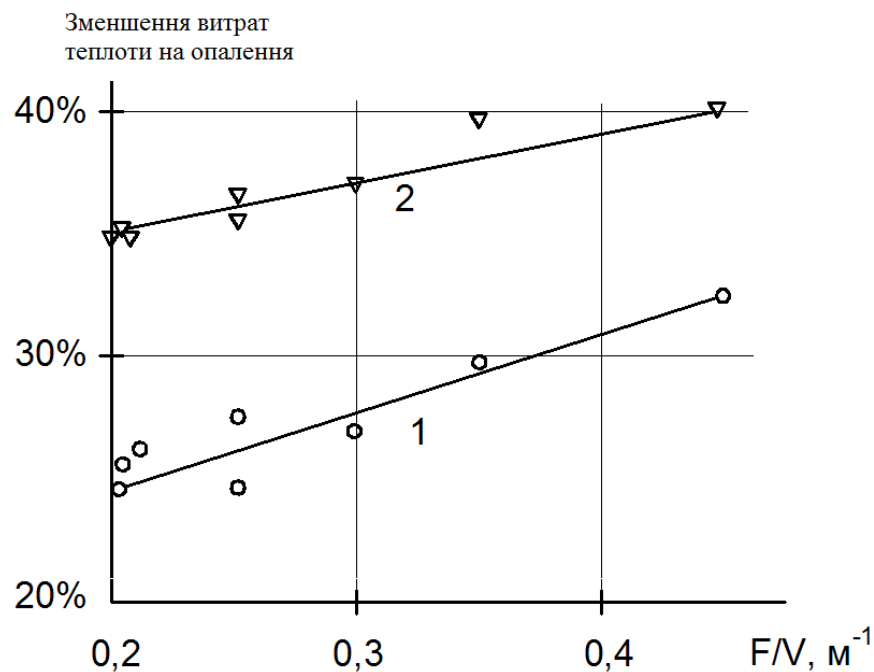


Рисунок 2.1 – Порівняння ефективності утеплення будівель:

- 1 – при додатковому утепленні зовнішніх огорожень (E_1);
- 2 – при утепленні огорожень й впровадженні заходів з енергозбереженні для системи вентиляції (E_2)

Для визначення економії витрат теплоти на опалення у відсотках до витрат теплоти для вихідного проєктного варіанта виконання будинку запропоновано рівняння (2.4), (2.5). Рівняння (2.4) дозволяє оцінювати ефективність додаткового утеплення зовнішніх огорожень, рівняння (2.5) – ефективність комплексу заходів з енергозбереження з урахуванням удосконалення роботи системи вентиляції. Похибка апроксимації наведеними рівняннями результатів обчислень не перевищує 3,5 %.

$$E_1 = 0,3(F/V) + 0,19, \quad (2.4)$$

$$E_2 = 0,25(F/V) + 0,29. \quad (2.5)$$

2.3 Визначення показників роботи системи опалення утепленої будівлі

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

При зв'язаній подачі теплоти для потреб мікрорайону, яка реалізується застосуванням двоступінчастих схем приєднання теплообмінних апаратів гарячого водопостачання, зменшення температури теплоносія у зворотному трубопроводі опалювальної мережі обумовить також і перерозподіл теплової продуктивності теплообмінних апаратів ступенів водопідігрівної установки гарячого водопостачання, що встановлена на центральному тепловому пункті.

Ефективність застосування енергозберігаючих заходів можна оцінити величиною відношення витрат теплоти на опалення утепленої будівлі $Q_{o.p.n.}$ до витрат теплоти для опалення будівлі до її утеплення $Q_{o.p.}$. Значення теплових навантаження прийнято при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря для даної місцевості:

$$\mu = \frac{Q_{o.p.n.}}{Q_{o.p.}}. \quad (2.4)$$

Визначення показників роботи опалювального комплексу будівлі після утеплення здійснено за умови, що систему опалення приєднано за незалежною схемою, за допомогою теплообмінного апарату [7, 19] (рис. 2.2); температура теплоносія на вході до системи опалення утепленої будівлі така сама, як на ввіді системи опалення будівлі до її утеплення і визначається температурним графіком теплової мережі та охолодженням теплоносія під час його транспортування територією мікрорайону. Гідравлічний режим системи опалення будівлі до утеплення й після прийнято однаковим.

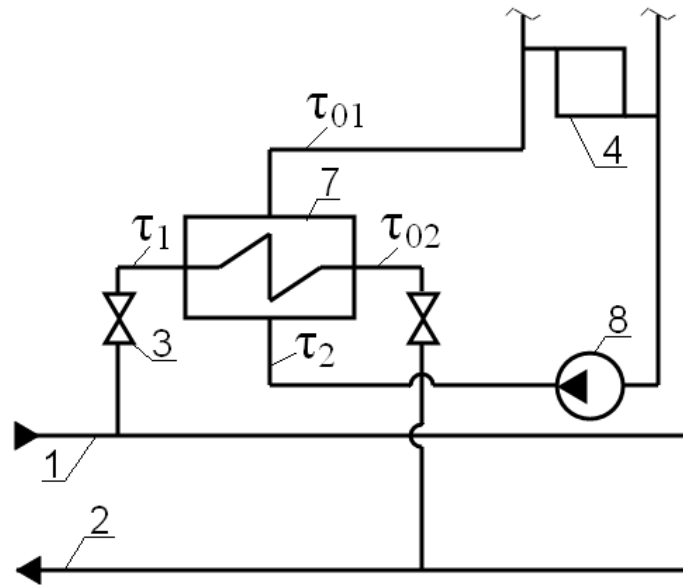


Рисунок 2.2 – Незалежне приєднання систем опалення до теплових мереж:
 1, 2 – подавальний й зворотний трубопроводи теплової мережі;
 3 – засувка; 4 – опалювальний прилад; 7 – теплообмінний апарат;
 8 – циркуляційний насос

Для визначення температури теплоносія в опалювальних приладах утепленої будівлі використані рівняння теплопередачі (2.5) і рівняння теплового балансу (2.6) для опалювального приладу:

$$Q_o = K_o \cdot \Delta t_{np} \cdot F_o, \quad (2.5)$$

$$Q_o = G \cdot C(\tau_3 - \tau_2), \quad (2.6)$$

де Q_o – тепловий потік, що передається від теплоносія до повітря у приміщенні; $\Delta t_{np} = 0,5(\tau_3 + \tau_2) - t_{вн}$ – різниця середньої температури теплоносія в опалювальному приладі і внутрішнього повітря ($t_{вн}$); τ_3 , τ_2 – температура теплоносія на вході й виході опалювального приладу відповідно; F_o – площа поверхні теплообміну опалювального приладу.

Коефіцієнт теплопередачі опалювального приладу можна визначити зі співвідношення [20]:

$$K_o = m(\Delta t_{np})^{n_1} \cdot \bar{G}^{n_2}, \quad (2.7)$$

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

Показники ступеня n_1 і n_2 для конкретного типу опалювального приладу є величинами сталими. Враховуючи незначний вплив витрат води в опалювальному приладі на інтенсивність процесу теплопередачі (про що свідчить величина показника ступеню n_2 , яка для більшості типів опалювальних приладів коливається в інтервалі $0,03 < n_2 < 0,1$ [20]), у подальших обчисленнях прийнято $n_1 = 0,2$; $n_2 = 0$.

Теплову продуктивність опалювального приладу після утеплення будівлі можна записати так:

$$Q_{o,n} = \mu \cdot Q_o = K_{o,n} = m(\Delta t_{пр,n})^{n_1} = G_n \cdot C(\tau_{3,n} - \tau_{2,n}). \quad (2.8)$$

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

Після перетворень з урахуванням співвідношень (2.5)–(2.7) отримуємо рівняння для температури мережної води на вході й виході опалювального приладу залежно від величини коефіцієнта ефективності утеплення будівлі μ і температур теплоносія в опалювальному приладі для режиму до утеплення будівлі:

$$\tau_{3,n} = [0,5(\tau_3 + \tau_2) - t_{вн}] \cdot \mu^{0,8} + 0,5\mu(\tau_3 - \tau_2) + t_{вн}, \quad (2.9)$$

$$\tau_{2,n} = \tau_{3,n} - \mu(\tau_3 - \tau_2).$$

Результати обчислень температури мережної води для опалення утеплених будівель за розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Температура мережної води в опалювальному приладі утепленої будівлі

Коефіцієнт ефективності утеплення μ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Розрахункова температура мережної води, °С						
– на вході опалювального приладу $\tau_{3,n}^p$	95	88,54	81,96	75,24	68,36	61,3
– на виході $\tau_{2,n}^p$	70	66,04	61,96	57,74	53,36	48,8

Температуру мережної води за вказаної температури зовнішнього повітря для неутепленої будівлі прийнято $\tau_3^p = 95$ °С (на вході до опалювального приладу) і $\tau_2^p = 70$ °С (на виході з опалювального приладу).

Витрати води з мікрорайонної мережі для опалення утепленої будівлі можна визначити з рівняння теплового балансу (2.10) теплообмінного апарату незалежної схеми приєднання системи опалення будівлі. Тепловий баланс записано для розрахункової температури зовнішнього повітря, яка є рекомендованою при розрахунках опалювальних теплообмінників [21], у припущенні, що температура нагрівної мережної води на виході з теплообмінника перевищує температуру мережної води у зворотному трубопроводі системи опалення на величину $\Delta\tau$. Рівняння теплового балансу має вигляд:

$$G_o \cdot C[\tau_{сн}^p - (\tau_{2н}^p + \Delta\tau)] = G_{он} \cdot C(\tau_{3н}^p - \tau_{2н}^p), \quad (2.10)$$

де $G_{он}$ – витрати води через систему опалення утепленої будівлі; G_o – витрати води з теплової мережі; $\tau_{сн}^p$ – температура води у подавальному трубопроводі мережі на ввіді до будівлі, $\tau_{3н}^p$, $\tau_{2н}^p$ – температура води на вході й виході опалювального приладу утепленої будівлі за розрахункової температури зовнішнього повітря.

У припущенні, що гідравлічний режим системи опалення будівлі у результаті підвищення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій не змінюється, можна записати співвідношення:

$$G_o = Q_{op} / [C(\tau_3^p - \tau_2^p)] = G_{он} = \mu Q_{op} / C(\tau_{3н}^p - \tau_{2н}^p) \quad (2.11)$$

У результаті перетворень отримуємо формулу для обчислення коефіцієнта, що враховує зміну витрат води із зовнішніх теплових мереж для опалення при утепленні будівлі:

$$\beta = G_c(\mu) / G_c(\mu = 1) = \mu [\tau_{1с}^p - (\tau_2^p + \Delta\tau)] / [\tau_{1,сн}^p - (\tau_{2н}^p + \Delta\tau)], \quad (2.12)$$

де $\tau_{1с}^p$ – температура мережної води за розрахункової температури зовнішнього повітря на ввіді до системи опалення будівлі до її утеплення; $\tau_{1,сн}^p$ – те ж саме після утеплення.

Значення температур мережної води на вході й виході опалювальних приладів утепленої будівлі для випадку приєднання системи опалення за допомогою водоструминного елеватора мають вигляд [22]:

$$\tau_{02н} = t_{в} + \Delta t_{пр}^p (\mu \bar{Q}_o)^{0,8} - 0,5 \theta^p \mu \bar{Q}_o, \quad (2.13)$$

де $t_{в}$ – температура внутрішнього повітря; $t_{пр}^p$ – розрахункова різниця середньої температури теплоносія в опалювальному приладі і повітря у приміщенні до утеплення будівлі; $\theta^p = \tau_3^p - \tau_2^p$ – розрахункове охолодження теплоносія у системі опалення до утеплення будівлі.

Графік зміни температури мережної води на виході системи опалення утепленої будівлі наведено на рисунку 2.3

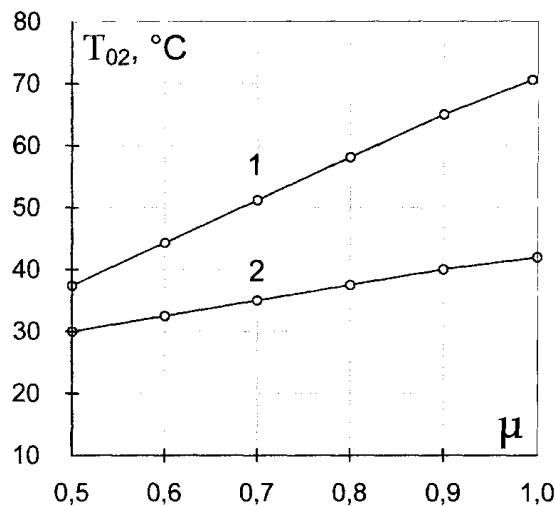


Рисунок 2.3 – Температура теплоносія у зворотному трубопроводі системи опалення утеплених будівель:

- 1 – за розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря;
- 2 – за температури повітря у точці «зламу» температурного графіка

2.4 Температурний стан утепленої будівельної конструкції

Найуживанішими при влаштуванні теплової ізоляції зовнішніх стін будівель є такі типи систем: вентильовані фасади; легкі штукатурні системи утеплення; важкі штукатурні системи утеплення; фасадні системи з колодязною кладкою і тришарові системи. Вентильована система утеплення фасадів дозволяє в спекотну пору року видаляти з фасаду зайву вологу, завдяки руху повітря всередині фасадної системи утеплення, а в холодну пору року – утримати всередині приміщення тепло, завдяки повітряному прошарку між стінами фасаду і фасадними панелями. Теплоізолювальний матеріал кріплять до стіни за допомогою несучого каркасу і анкерної системи кріплення. Під час улаштування легких штукатурних систем утеплення фасадів плиту утеплювача закріплюють на стіні за допомогою клею та дюбелів і потім покривають тонким штукатурним шаром. Важкі штукатурні системи утеплення фасадів застосовують у тому випадку, якщо конструкція і несучі стіни будинку дозволяють здійснити подібне утеплення, адже після утеплення фасадів таким способом збільшується навантаження на стіни будівлі. Теплоізолювальний матеріал кріплять до стіни за допомогою несучого каркасу і анкерної системи кріплення. Для реалізації такої теплової ізоляції традиційно використовують матеріали у вигляді плит, арматурні сітки, анкери. У так званих тришарових системах утеплення фасадів утеплювач розташовують всередині огорожувальних конструкцій. До першого шару відносять внутрішню несучу стіну (її товщина визначається лише вимогами міцності). Другий шар зазначеної системи утеплення фасадів – це утеплювач, товщина якого залежить від теплофізичних вимог. Третій шар – лицьова. Він зазвичай захищає теплоізоляцію від зовнішніх впливів. Під час утеплення зовнішніх стін виникає проблема вибору місця розташування шару теплової ізоляції. Як показали розрахунки на паропроникнення, здійснені для низки варіантів конструкцій зовнішньої стіни, у кліматичних умовах значної кількості областей України розміщення шару ізоляційного матеріалу на зовнішній поверхні стіни виключає можливість утворення конденсату всередині стінової конструкції. Такий висновок справедливий і за середньорічної

температури зовнішнього повітря, і за середньої температури повітря для періоду з негативними температурами. До інших переваг зовнішнього утеплення стін відносять захищеність стіни від змінного замерзання і інших атмосферних впливів, завдяки чому виключається промерзання стін, вирівнювання температурних коливань основного масиву стіни. Як видно з рисунку 2.4, матеріал основного шару стінової конструкції експлуатується переважно за додатних температур. Також перевагою зовнішньої теплоізоляції є зростання теплоакумуючої здатності масивної частини стіни.

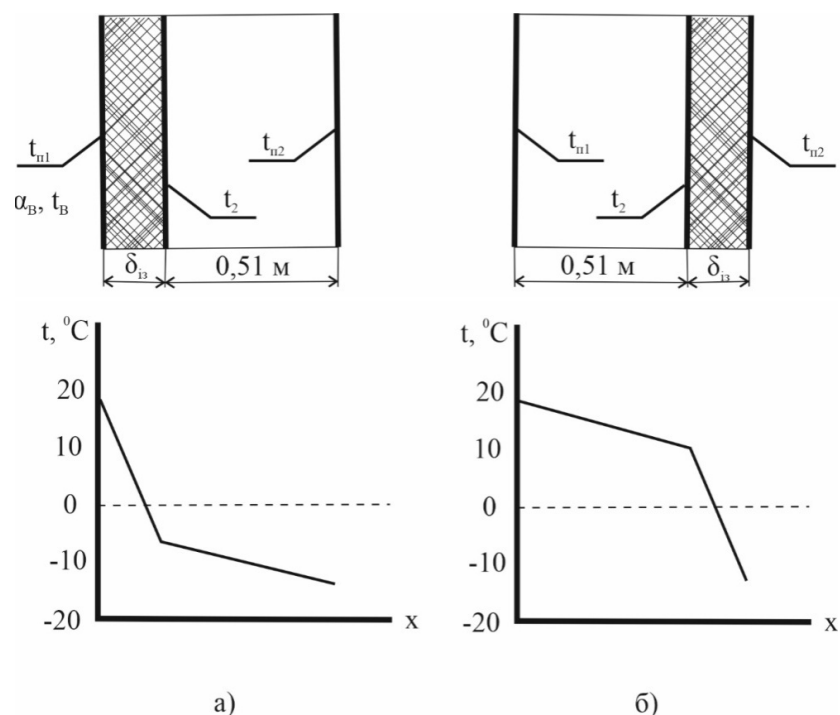


Рисунок 2.4 – Варіанти утеплення стіни і розподіл температури за товщиною огорожувальної конструкції:

а – ізоляційний шар на внутрішній поверхні стіни; б – ізоляційний шар на зовнішній поверхні стіни;

t_b – температура повітря у приміщенні; α_b – коефіцієнт конвективного теплообміну між внутрішнім повітрям і поверхнею стіни

Розглянуто також тепловий стан зовнішньої стіни за часткового утеплення стіни будівлі. На рисунку 2.5 зображено фрагмент фасаду будівлі з дев'ятьма приміщеннями. Зовнішня стіна приміщення № 5

утеплена ізоляцією товщиною $\delta_{из}$. Усі приміщення мають однакові геометричні характеристики. Товщина зовнішньої стіни $\delta_{ст}$. Для розв’язання диференційного рівняння стаціонарної теплопровідності з метою визначення розподілу температур у стіновій конструкції використано метод кінцевих різниць. Задачу розв’язано у тривимірній постановці. На поверхнях стінової конструкції задано граничні умови третього роду. Коефіцієнт конвективного теплообміну між зовнішнім повітрям і поверхнею стіни прийнято рівним $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ між внутрішнім повітрям і поверхнею стіни – $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Обчислення здійснено для розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря для кліматичних умов м. Харкова. Температуру внутрішнього повітря прийнято рівною 20°C . За температурою у розрахункових точках стінової конструкції обчислено питомий тепловий потік через зовнішню поверхню стіни приміщення № 5 для двох варіантів. За першим варіантом утеплено всю площу поверхні фасаду, за другим варіантом утеплення здійснено тільки виділеного на рисунку 2.5 фрагмент фасаду. Питомі теплові втрати через зовнішню стіну для першого варіанта дорівнюють $15,53 \text{ Вт}/\text{м}^2$, для другого варіанта – $15,75 \text{ Вт}/\text{м}^2$, що на 1,4 % більше. Відмінність втрат теплоти пояснюється відтоками теплоти від об’єму стіни, що розташовані під шаром теплової ізоляції і мають більш високу температуру, до неізольованих ділянок з меншою температурою.

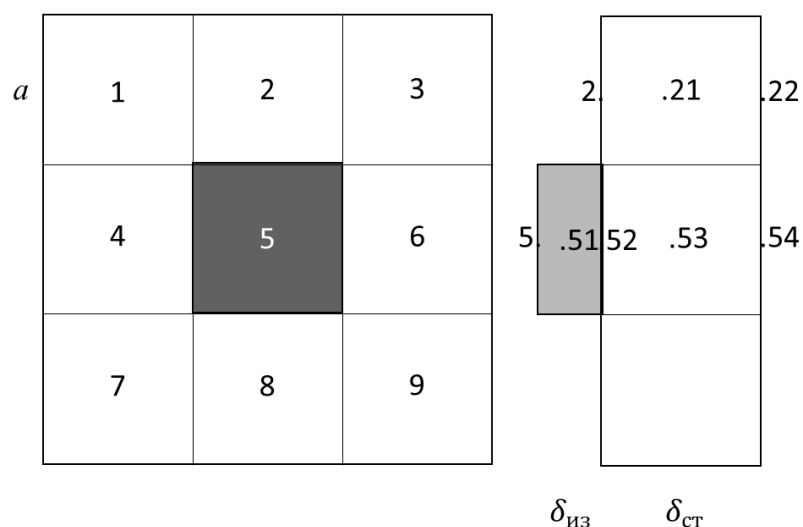


Рисунок 2.5 – Стіна будівлі з фрагментарним утепленням
1–54 – розрахункові точки

Висновки. Забезпечення сучасних вимог щодо опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель, що споруджені до введення нових нормативів до величини опору теплопередачі огородження, дозволить знизити споживання теплоти для опалення за розрахункової температури зовнішнього повітря приблизно на 24–33 % і 19–23 % за середньої за опалювальний період температурі зовнішнього повітря. Зменшення опалювального навантаження суттєво залежить від особливостей конструктивного виконання будівель.

3 ОЦІНКИ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ТРУБОПРОВОДІВ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ МІКРОРАЙОНУ

Одним з недоліків централізованих систем теплопостачання є значні втрати теплоти під час транспортування теплоносія [23]. Теплова енергія магістральними трубопроводами від джерела теплоти подається до теплових пунктів, які є вузлами управління та обліку відпускання теплоти [7]. У житлових мікрорайонах від центральних теплових пунктів теплота трубопроводами розподільних мереж транспортується до будівель і споруд. Розподільні теплові мережі від центральних теплових пунктів (ЦТП) для умов мікрорайонної забудови, яка переважає у великих містах, чотиритрубна, що пов'язано з прийнятою закритою схемою приготування гарячої води для господарсько-побутових потреб [7]. Мікрорайонні теплові мережі характеризуються розгалуженістю і великою довжиною, яка суттєво переважає довжину магістральних мереж. Унаслідок чого, незважаючи на менше середнє значення діаметра розподільних трубопроводів, втрати теплоти трубопроводами розподільних мереж перевищують теплові втрати магістральними ділянками.

Відомі методики визначення втрат теплоти трубопроводами теплових мереж передбачають розподіл мережі на розрахункові ділянки з подальшим обчисленням теплових навантажень, витрат теплоносія і охолодження теплоносія на ділянках. Температура теплоносія на виході розрахункової ділянки, що розглядається, дорівнює температурі теплоносія на наступній за ходом руху теплоносія ділянці. Методики експериментального визначення теплових втрат на магістральних напрямках мереж [24] передбачають виділення фрагмента мережі, що утворює кільце між джерелом і споживачами і вимірювання охолодження теплоносія на ділянках. Необхідний тепловий і гідравлічний режими у досліджуваному кільці забезпечують на джерелі теплоти. Випробування проводять після закінчення опалювального сезону, у період часу, коли температура ґрунту і зовнішнього повітря максимально наближені. Вимірювання витрат теплоносія і температур проводять за сталих теплових умов. Показником досягнення постійного теплового стану є

незмінність температури теплоносія у зворотній лінії кільця на вході до джерела теплоти. У період випробувань всі споживачі теплоти від'єднанні від мережі.

У разі неможливості визначення втрат на підставі теплових випробувань або тимчасово до їхнього проведення можна приймати нормативну величину згаданих втрат у долях від відпущеної теплоти, а саме [5]: за довжини теплотраси до 300 м – 1 % на кожні 100 м теплотраси; за довжини теплотраси до 500 м – 2,9 % на всю протяжність теплотраси; за довжини до 1 000 м – 4,8 % на всю протяжність; за довжини теплотраси понад 1 000 м – 0,6 % на кожні 100 м після 1 000 м, але не більше 13 % на всю довжину. Теплові випробування розподільних мереж кварталів і мікрорайонів зазвичай не проводять.

3.1 Теплові розрахунки теплових мереж

Основними завданнями теплового розрахунку теплових мереж є визначення теплових втрат трубопроводами або визначення товщини теплоізоляційного шару. У першому випадку для виконання обчислень необхідна інформація про способи прокладання теплових мереж, теплові навантаження ділянок теплопроводу і характеристики теплоізоляції. Визначення товщини шару теплової ізоляції здійснюють під час проєктування теплової мережі, і для цього як вихідні дані для розрахунків використовують відомі (задані або припустимі) величини теплового потоку (втрат теплоти) через ізоляцію або значення температури на зовнішній поверхні ізоляційної конструкції. Практикою встановлені максимальні товщини ізоляційного шару, за яких вагове навантаження зазвичай не перевищує припустиме (дод. Б).

При розрахунках теплоізоляційних конструкцій трубопроводів прийнято користуватися величиною питомого, віднесеного до одиниці довжини теплопроводу, теплового потоку:

$$q_l = \frac{Q}{L} = \frac{\tau - t_o}{\sum R}, \quad (3.1)$$

де Q – повний тепловий потік, Вт; L – довжина трубопроводу, м; τ – температура теплоносія; t_o – температура навколишнього середовища; $\sum R$ – опір теплопередачі конструкції теплової ізоляції.

Сумарний опір теплопередачі $\sum R$ визначають залежно від застосованого способу прокладки і термічних опорів шарів конструкції за викладеною у роботах [25, 26] методикою. У випадку двотрубною підземною прокладки теплопроводів із різною температурою теплоносіїв необхідно також враховувати взаємний вплив теплопроводів. Для цього у методиці розрахунку передбачено використання відповідних коефіцієнтів для подавального і зворотного трубопроводів. При надземній прокладці мереж за температуру навколишнього середовища у рівнянні (3.1) приймають температуру повітря. При безканальній прокладці і прокладці у непрохідних каналах за температуру навколишнього середовища приймають температуру ґрунту на глибині вісі теплопроводу (дод. В).

Під час аналізу теплового стану функціонуючої теплової мережі втрати теплоти на її ділянці можна визначити залежно від нормативних втрат теплоти на ділянці і фактичної різниці температур теплоносія і навколишнього середовища за формулою:

$$Q_{\partial} = q_n l_{\partial} \frac{\tau - t_o}{\tau_n - t_o} k, \quad (3.2)$$

де q_n – нормативні лінійні (питомі) втрати теплоти на ділянці теплопроводу (дод. Г); l_{∂} – довжина розрахункової ділянки; τ_n – температура теплоносія, за якої здійснено нормування теплових втрат через ізоляцію трубопроводу; k – коефіцієнт для обліку втрат теплоти конструктивними елементами мережі.

Коефіцієнт k враховує втрати теплоти через опори теплопроводів, компенсатори лінійних подовжень, запірно-регулювальну арматуру тощо і обирається з рекомендаціями [25, 26] залежно від способу прокладки мережі.

Використання при обчисленнях формули (3.2) є правомірним, тому що під час проєктування теплових мереж визначення параметрів теплової ізоляції для трубопроводів здійснюють із умови дотримання нормативних вимог до теплових втрат трубопроводом обраного діаметра для прийнятого способу прокладки. У такому разі основні положення розрахункової

методики для оцінки теплового стану трубопроводів опалювальної мережі полягають у наступному. Теплову мережу розподіляють на розрахункові ділянки. За розрахункову ділянку приймають фрагмент теплопроводу з незмінним діаметром. За прийнятою у першому наближенні зміною температури теплоносія по довжині подавального трубопроводу за формулою (3.2) обчислюють втрати теплоти на ділянках мережі і витрати води на опалення будівель з урахуванням охолодження теплоносія під час його транспортування мережею і можливого утеплення будівель забудови.

Для подавального трубопроводу двотрубних мікрорайонних мереж опалення обчислення розпочинають із центрального теплового пункту. За формулою (3.3) визначають температуру на виході розрахункової ділянки, яку у подальшому приймають як вхідну для наступної за ходом руху теплоносія ділянки теплопроводу. Охолодження теплоносія на ділянці теплопроводу визначають з рівняння теплового балансу:

$$\Delta\tau = \tau_{\text{вх}} - \tau_{\text{вих}} = Q_{\partial} / (C \cdot G_{\partial}), \quad (3.3)$$

де $\tau_{\text{вх}}$, $\tau_{\text{вих}}$ – температура теплоносія на вході та виході розрахункової ділянки відповідно; C – питома теплоємність теплоносія; G_{∂} – витрати теплоносія на ділянці.

Оскільки величина охолодження теплоносія на ділянці теплопроводу і величина витрат теплоносія взаємопов'язані, для уточнення зміни температури теплоносія у межах ділянки необхідні подальші ітерації. Як показали серії тестових розрахунків, для досягнення необхідної для інженерної практики точності достатньо 2–3 ітерації. Обчислення зміни температури теплоносія по довжині зворотного трубопроводу двотрубних мереж розпочинають із найвіддаленішої від центрального теплового пункту споруди. Температуру у кінці розрахункової ділянки визначають з урахуванням охолодження теплоносія, яке обчислюють за формулою (3.3), і з урахуванням зміни тепловмісту теплоносія при змішуванні потоків у основному теплопроводі та з відгалуження за формулою:

$$\tau_{\text{вих}} = \frac{\tau_{\text{вих}} G_{\partial} + \tau_{\text{від}} G_{\text{від}}}{G_{\partial} + G_{\text{від}}}, \quad (3.4)$$

де $\tau_{\text{від}}$, $G_{\text{від}}$ – температура і витрати теплоносія у трубопроводі відгалуження.

3.2 Спрощені методики визначення втрат теплоти теплопроводами

Обчислення теплових втрат за наведеною у попередніх підрозділах методикою частіше виконують для спроектованої теплової мережі за відомих її конструктивних характеристиках. Під час проведення попередніх оцінок теплового стану теплових мереж, в умовах обмеженості вихідних даних зручніше користуватися методиками, які розроблено при низці припущень і спрощень.

У реальних мережах зміна витрат теплоносія по довжині має ступінчастий характер з незмінними значеннями на окремих ділянках. У цій роботі ступінчастий закон зміни витрат замінено монотонним, який можна записати формулою:

$$\bar{G}(\bar{x}) = 1 - \bar{G}_{\text{від}} \bar{x}^n, \quad (3.5)$$

де $\bar{G} = G / G_{\text{max}}$ – локальні відносні витрати теплоносія на гілці; G_{max} – витрати теплоносія на вході до вітки; $\bar{G}_{\text{від}} = G_{\text{від}} / G_{\text{max}}$ – відносні витрати теплоносія через всі відгалуження на вітці; $\bar{x} = x/L$ – відносна координата; L – довжина вітки.

Відносні витрати теплоносія через відгалуження можна записати також у вигляді:

$$\bar{G}_{\text{від}} = 1 - \bar{G}_{\text{min}}, \quad (3.6)$$

де $\bar{G}_{\text{min}} = G_{\text{min}} / G_{\text{max}}$ – відносні витрати теплоносія через систему найвіддаленішої на вітці будівлі.

Залежно від величини показника ступеня у рівнянні (3.5) маємо різні закони зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу (рис. 3.1)

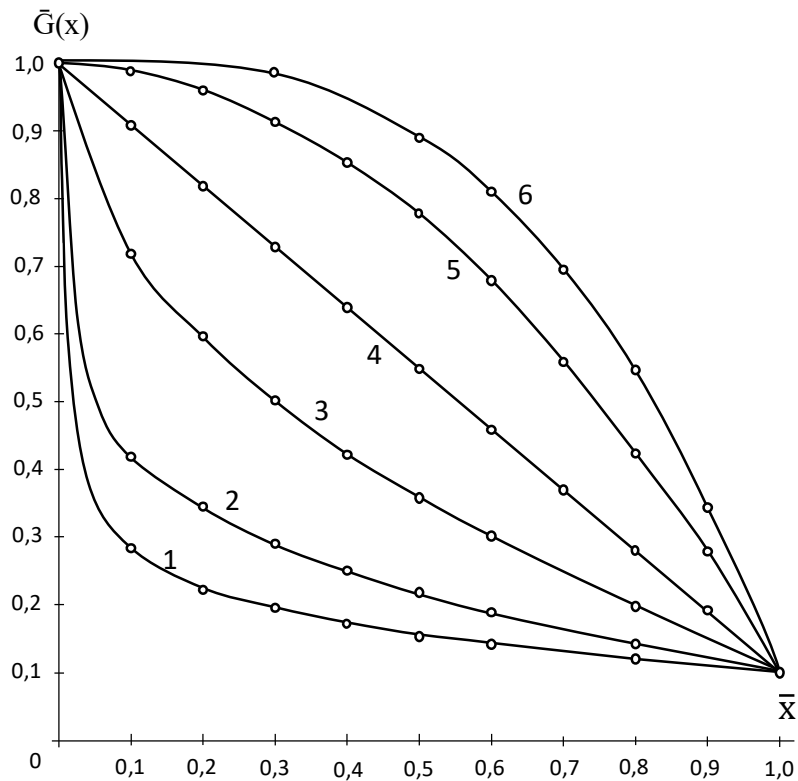


Рисунок 3.1 – Зміна відносних витрат теплоносія по довжині теплопроводу
 1 – $n = 0,1$; 2 – $n = 0,2$; 3 – $n = 0,5$; 4 – $n = 1,0$; 5 – $n = 2,0$; 6 – $n = 3,0$.

При $n < 1$ спостерігається різке зниження витрат теплоносія на ближніх до входу до вітки теплової мережі ділянках з поступовим зменшенням витрат до мінімальної на вітці величини G_{min} . Значення $n = 1$ обумовлює лінійний характер зміни витрат. За $n > 1$ спостерігається незначне зменшення величини витрат на вхідних ділянках і різке зниження витрат на кінцевих ділянках.

При визначенні теплового стану трубопроводів мереж часто користуються питомими значеннями теплових потоків, фактичні значення яких для ділянки мережі можна обчислити, використовуючи нормативні значення припустимих втрат теплоти q_n (дод. Г), за формулою:

$$q = q_n (t_{cp} - t_{от}) / \Delta t_n, \quad (3.7)$$

де t_{cp} – фактична температура теплоносія; $t_{от}$ – температура навколишнього середовища; Δt_n – різниця температур теплоносія і навколишнього середовища, за якої здійснено нормування теплових втрат.

Для зручності подальших перетворень табличні дані нормативних втрат теплоти для подавальних трубопроводів системи теплопостачання, що прокладені безканально або у непрохідних каналах [5], представлено у вигляді (3.8), для зворотних трубопроводів – у вигляді (3.9):

$$q_{н,1} = 31,6 + 270^{D_{cp}}, \quad (3.8)$$

$$q_{н,2} = 18,2 + 191^{D_{cp}}, \quad (3.9)$$

де D_{cp} – середній діаметр трубопроводу.

Тоді рівняння для визначення теплових втрат подавальними трубопроводами матиме вигляд (3.10), для зворотних трубопроводів – (3.11)

$$Q_1 = (31,6 + 270^{D_{cp}})(\tau_{1,cp} - \tau_{от})Lk/\Delta t_{н,1}, \quad (3.10)$$

$$Q_2 = (18,2 + 191^{D_{cp}})(\tau_{2,cp} - \tau_{от})Lk/\Delta t_{н,2}, \quad (3.11)$$

де $\tau_{1,cp}$, $\tau_{2,cp}$ – середня температура теплоносія, відповідно, у подавальному і зворотному трубопроводах; $\Delta t_{н,1}$, $\Delta t_{н,2}$ – нормативна різниця температур теплоносія, відповідно, у подавальному і зворотному трубопроводах і навколишнього середовища.

Порівнюючи варіанти виконання теплової мережі втрати теплоти трубопроводами, доцільно оцінювати за питомими значеннями, віднесеними до матеріальної характеристики мережі, яку обчислюють за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n (d_i * l_i), \quad (3.12)$$

де d_i , l_i – діаметр і довжина розрахункових ділянок вітки; n – кількість розрахункових ділянок.

Використання середнього діаметра трубопроводу дозволить спростити визначення матеріальної характеристики вітки довжиною L і записати її так:

$$M = D_{cp} L. \quad (3.12, a)$$

Для рекомендованого для безканального прокладання і прокладання у непрохідних каналах значення $k = 1,15$ [22] співвідношення для визначення питомих втрат тепла подавальними трубопроводами матиме вигляд:

$$\frac{Q_1}{M} = (3,653 + 0,428/D_{\text{cp}})(\tau_{1,\text{cp}} - \tau_{\text{от}}). \quad (3.13)$$

Для зворотних трубопроводів системи тепlopостачання отримане аналогічно співвідношення має вигляд:

$$\frac{Q_2}{M} = (4,88 + 0,465/D_{\text{cp}})(\tau_{2,\text{cp}} - \tau_{\text{от}}). \quad (3.14)$$

За відсутності фактичних даних про діаметр трубопроводів для його визначення можна використати характеристики опалювальної мережі. Діаметр теплопроводу на ділянці мережі визначається витратами теплоносія і прийнятими питомими втратами тиску. Середній діаметр вітки мережі дорівнює:

$$D_{\text{cp}} = 0,5(D_{\text{max}} + D_{\text{min}})K_G, \quad (3.15)$$

де D_{max} і D_{min} – максимальний (на вході теплоносія до подавального трубопроводу) і мінімальний (на вводі до системи опалення найвіддаленішої на вітці будівлі) діаметри теплопроводу відповідно, K_G – коефіцієнт, що враховує особливості розподілу витрат теплоносія по довжині гілки.

Значення діаметрів трубопроводів можна визначити зі співвідношення, що пов'язує гідродинамічні характеристики потоку теплоносія [28]:

$$D_{\text{max}} = (1,34 \cdot 10^{-5} \cdot G_{\text{вх}}^2 / R_{\text{cp}})^{0,19}, \quad (3.16)$$

$$D_{\text{min}} = (1,34 \cdot 10^{-5} \cdot G_{\text{вих}}^2 / R_{\text{cp}})^{0,19}, \quad (3.17)$$

де R_{cp} – середні втрати тиску на подолання сил тертя під час руху теплоносія.

Витрати теплоносія на вході до вітки мережі $G_{вх}$ й у кінцевій точці гілки $G_{вих}$ можна визначити залежно від теплового навантаження відповідних ділянок мережі:

$$G_{вх} = Q_{вх} / (C \Delta t_c), \quad (3.18)$$

$$G_{вих} = Q_{вих} / (C \Delta t_c), \quad (3.19)$$

де C – питома теплоємність теплоносія; Δt_c – різниця температур теплоносія на вході й виході опалювальних комплексів будівлі.

Після перетворень формула (3.15) набирає вигляду:

$$D_{cp} = 7,33 \cdot 10^{-4} \cdot K_G \cdot Q_{сум}^{0,38} \left[1 + (\bar{G}_{min})^2 \right]^{0,19} / (R_{cp})^{0,19}, \quad (3.20)$$

де $Q_{сум}$ – сумарне опалювальне навантаження приєднаних до вітки теплопроводу будівель; R_{cp} – середні по довжині вітки втрати тиску.

З рівняння (3.20) отримуємо співвідношення для коефіцієнта K_G , який враховує характер розподілу витрат теплоносія по довжині теплопроводу,

$$K_G = \frac{D_{cp}}{7,33 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{сум}^{0,38} \left[1 + (\bar{G}_{min})^2 \right]^{0,19} / (R_{cp})^{0,19}}. \quad (3.21)$$

Для врахування особливостей зміни витрат теплоносія по довжині фрагмента мережі прийнято співвідношення середніх у межах головної вітки витрат G_{cp} і витрат теплоносія через відгалуження $G_{від}$. Для розглянутих у роботі законів зміни $\bar{G}(x) = 1 - \bar{G}_{від} x^n$, було обчислено значення витрат теплоносія у точках мережі, значення діаметрів розрахункових ділянок теплопроводів і середній діаметр теплопроводу у межах вітки D'_{cp} , фактичні втрати тиску на ділянках і середні на довжині вітки втрати тиску. Під час обчислень значення мінімальних витрат на вітці було прийнято рівними $\bar{G}_{min} = 0,1; 0,2; 0,4; 0,5$. Розглянуто діапазон зміни сумарного теплового навантаження будівель, що приєднані до теплопроводу, $1,25 \leq Q_c \leq 10$ МВт, який є найбільш очікуваний для мікрорайонних систем великих міст [29]. Графіки зміни значень комплексу

K_G від співвідношення витрат теплоносія $G_{cp}/G_{від}$ показано на рисунку 3.2. Результати обчислень узагальнено формулою:

$$K_G = \left(2 - 1,075 \bar{G}_{min}\right) \left(G_{cp}/G_{від}\right)^{0,41}. \quad (3.22)$$

Після перетворень формула (3.20) набирає вигляду:

$$D_{cp} = 14,56 \cdot 10^{-4} \cdot Q_c^{0,38} \left(1 - 0,466 \bar{G}_{min}\right) \left(G_{cp}/G_{від}\right)^{0,41} / R_{cp}^{0,19}. \quad (3.23)$$

Порівняння результатів обчислень середніх діаметрів трубопроводів головної вітки мережі за формулою (3.23) зі значеннями середнього діаметра теплопроводу D'_{cp} , обчисленого за величинами фактичних діаметрів ділянок вітки за формулою (3.24), здійснено у таблиці 3.1

$$D'_{cp} = \sum_{i=1}^n (d_i \cdot l_i) / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (3.24)$$

де d_i , l_i – діаметр і довжина розрахункових ділянок вітки; n – кількість розрахункових ділянок.

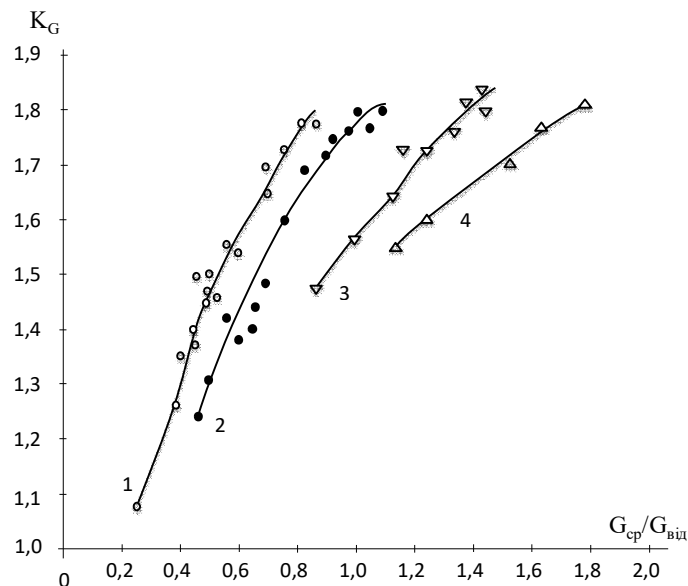


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнта K_G від величини середніх витрат теплоносія на вітці теплової мережі:

$$1 - \bar{G}_{min} = 0,1; 2 - \bar{G}_{min} = 0,2; 3 - \bar{G}_{min} = 0,4; 4 - \bar{G}_{min} = 0,5$$

Точність використання запропонованої формули перевірено також для наведених на рисунку 3.3 схем теплопостачання будівель з однаковими витратами теплоти на опалення кожної зі споруд ідеалізованої групи. Для обраних схем характерна суттєва відмінність закону зміни витрат

теплоносія по довжині вітки. Залежно від теплових навантажень ділянок мережі обчислено витрати мережної води і за результатами гідравлічного розрахунку визначено діаметри теплопроводів і питомі втрати тиску на подолання сил на ділянках мережі. Порівняння результатів обчислень середнього діаметра віток проведено у таблиці 3.2.

Зафіксоване максимальне відхилення результатів обчислень середніх діаметрів трубопроводів опалювальної мережі за формулою (3.23) від значень D'_{cp} знаходиться на рівні 5–6 %, що можна вважати задовільним для проведення попередніх оцінок теплового стану теплових мереж.

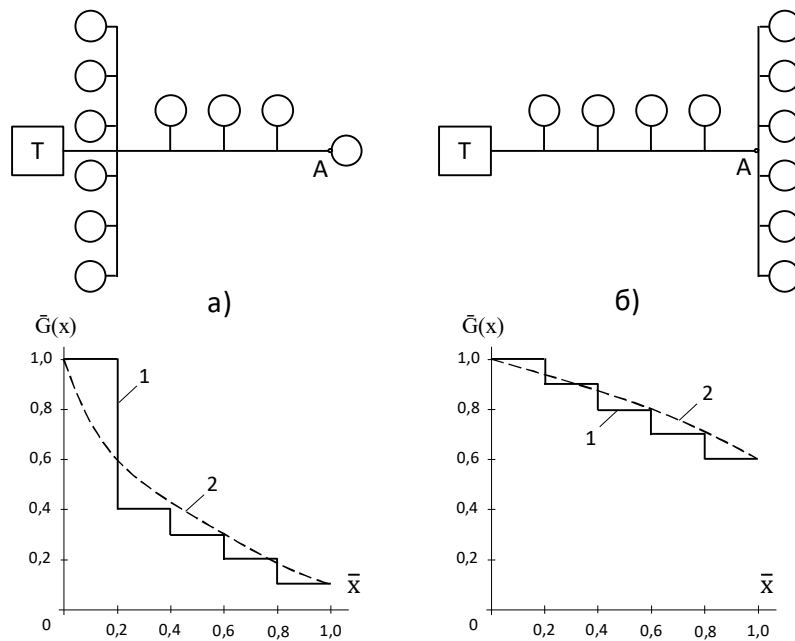


Рисунок 3.3 – Розрахункові схеми теплопостачання груп будівель (а, б) і відповідні до них розподіли витрат мережної води:

1– фактичний розподіл витрат; 2 – апроксимація закону зміни витрат

З урахуванням (3.23) співвідношення (3.13), (3.14) матимуть вигляд:

$$\frac{Q_1}{M} = \left\{ 3,653 + \frac{294R_{cp}^{0,19}}{Q_c^{0,38} [1 - 0,466\bar{G}_{min}] (G_{cp}/G_{від})^{0,42}} \right\} (\tau_{1,cp} - t_{от}), \quad (3.13, a)$$

$$\frac{Q_2}{M} = \left\{ 4,88 + \frac{319R_{cp}^{0,19}}{Q_c^{0,38} [1 - 0,466\bar{G}_{min}] (G_{cp}/G_{від})^{0,42}} \right\} (\tau_{2,cp} - t_{от}), \quad (3.14, a)$$

Таблиця 3.1 – Точність визначення середнього діаметра трубопроводів опалювальної мережі

Закон зміни витрат	Сумарне теплове навантаження, МВт	Середній діаметр вітки мережі, м		
		$D'_{\text{ср}}$	обчислення за формулою (3.23)	відмінність, %
$1 - 0,9\bar{x}^3$	5,0	0,224	0,221	-1,3
$1 - 0,9\bar{x}^2$		0,211	0,212	0,5
$1 - 0,9\bar{x}^1$		0,190	0,191	0,6
$1 - 0,9\bar{x}^{0,3}$		0,153	0,154	0,65
$1 - 0,9\bar{x}^{0,1}$		0,131	0,135	2,7
$1 - 0,5\bar{x}^3$	5,0	0,209	0,21	0,5
$1 - 0,5\bar{x}^2$		0,233	0,237	1,6
$1 - 0,5\bar{x}^1$		0,224	0,226	0,9
$1 - 0,5\bar{x}^{0,3}$		0,209	0,21	0,5
$1 - 0,5\bar{x}^{0,1}$		0,201	0,202	0,5
$1 - 0,8\bar{x}^3$	10	0,302	0,21	0,33
	2,5	0,168	0,167	-0,6
	1,25	0,126	0,125	-0,77
$1 - 0,8\bar{x}^3$	10	0,316	0,315	-0,2
	2,5	0,177	0,176	-0,34
	1,25	0,132	0,131	-0,75
$1 - 0,8\bar{x}^3$	10			
	2,5	0,154	0,152	-1,4
	1,25			

Таблиця 3.2 – Порівняння результатів обчислення середнього діаметра теплових мереж

Схема	Сумарне теплове навантаження, МВт	Середні втрати тиску, R_{cp} , Па/м	Середній діаметр гілки мережі, м		
			D'_{cp}	формула (3.23)	відмінність, %
а	10	10	0,313	0,33	5,4
		20	0,273	0,29	6,2
		40	0,245	0,255	6,3
		100	0,201	0,211	5,0
б	10	38,13	0,319	0,315	-1,3
	5,0	38,06	0,238	0,235	-1,2
	2,5	43,48	0,180	0,184	2,2

Оцінку точності обчислень за формулами (3.13, а), (3.14, а) проведено на прикладах схем теплопостачання ідеалізованих груп, які утворено будівлями з однаковими витратами теплоти на опалення кожної із них. Під час формування закону зміни витрат мережної води по довжині головної вітки показник ступеню у формулі (3.5) було прийнято рівним 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; співвідношення мінімальних і максимальних витрат теплоносія на вітці $\bar{G}_{min} - 0,1; 0,2; 0,4; 0,5$. Теплові навантаження вітки змінюються у межах від 1,25 МВт до 10 МВт. Для кожного з варіантів підібрано конфігурацію теплової мережі, за якої виконується конкретний закон зміни витрат, і проведено гідравлічний і тепловий розрахунки мереж. За результатами гідравлічного розрахунку за умови, що питомі витрати тиску на подолання сил тертя $R_{cp} \approx 20$ Па/м, визначено діаметри теплопроводів на ділянках і середній діаметр вітки теплової мережі. За викладеною у розділі 3.1 розрахунковою методикою обчислено питомі втрати теплоти трубопроводами подавальної (Q_1/M) і зворотної (Q_2/M) ліній, які були використані у подальшому для оцінок точності формул (3.13, а), (3.14, а). Порівняння результатів обчислень подано у таблиці 3.3. Точність використання запропонованих формул перевірено також на прикладах схем теплопостачання груп будівель, наведених у

таблиці 3.4. Групи будівель утворено спорудами з однаковими витратами теплоти на опалення кожної зі споруд ідеалізованої групи. Залежно від теплових навантажень ділянок мережі обчислено витрати мережної води і за результатами гідравлічного розрахунку визначено діаметри теплопроводів і питомі втрати тиску на ділянках мережі. Теплові втрати визначено і за традиційними методиками з урахуванням фактичних витрат і температури води на ділянках, і за формулами (3.13, а) і (3.14, а). Результати обчислень за вказаними формулами і відносна похибка визначення питомих втрат теплоти порівняно з обчисленнями за традиційними методиками подано у таблиці 3.4. Відмінність величини теплових втрат знаходиться на рівні 3 %, що можна вважати достатнім для проведення попередніх оцінок теплового стану мереж. Запропоновані формули дозволяють визначати втрати теплоти трубопроводами головної вітки опалювальної мережі. Для оцінок частки втрат трубопроводами відгалужень у загальних теплових втратах мережею за розрахунковими даними, що враховують фактичні розподіли витрат мережної води і температури по довжині теплопроводів, побудовано графік зміни співвідношення втрат теплоти трубопроводами відгалужень і головної вітки $Q_{від}/Q_{гл}$ від величини співвідношення матеріальних характеристик трубопроводів відгалужень і головної вітки $M_{від}/M_{гл}$ (рис. 3.4.).

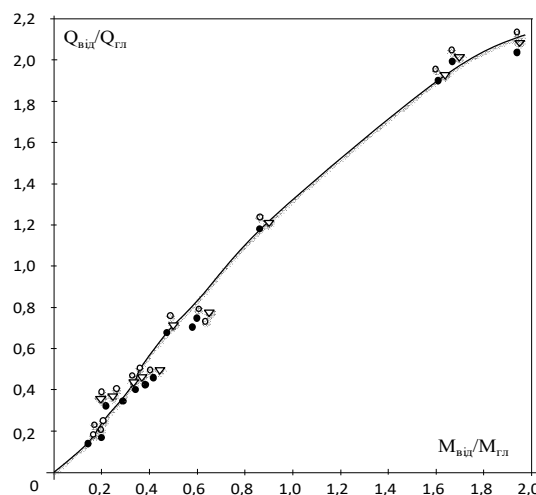


Рисунок 3.4 – Зміна втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі за зміни співвідношення матеріальних характеристик трубопроводів:

○ – подавальний трубопровід; ● – зворотний трубопровід;

◼ – мережа в цілому

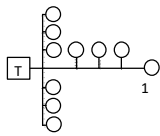
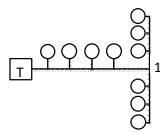
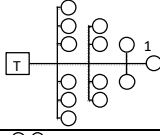
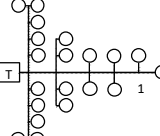
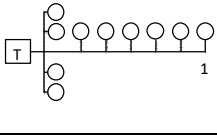
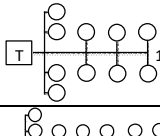
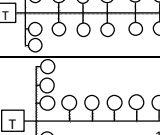
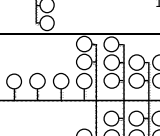
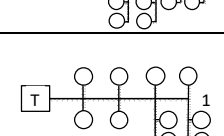
Несуттєва відмінність розрахункових даних для подавальних трубопроводів, зворотних трубопроводів і мережі в цілому дозволила узагальнити результати обчислень одним рівнянням, яке має вигляд (3.25).

$$\frac{Q_{\text{від}}}{Q_{\text{гл}}} = \frac{M_{\text{від}}/M_{\text{гл}}}{0,76 + 0,09(M_{\text{від}}/M_{\text{гл}})} \quad (3.25)$$

Таблиця 3.3 – Порівняння результатів визначення питомих втрат теплоти трубопроводами теплових мереж

Закон зміни витрат	$Q_{o.\max}$ МВт	$\frac{G_{\text{ср}}}{G_{\text{від}}}$	Теплові втрати, Вт/м ²					
			подавальний трубопровід, $\frac{Q_1}{M}$			зворотний трубопровід, $\frac{Q_2}{M}$		
			розрахунок*	Формула (3.13, а)	Δ , %	розрахунок*	Формула (3.14, а)	Δ , %
$1 - 0,9\bar{x}^3$	5,0	0,845	557,7	559,3	0,3	452,7	454,1	0,32
$1 - 0,9\bar{x}^2$	5,0	0,767	567,9	570	0,35	460,3	461,6	0,28
$1 - 0,9\bar{x}^1$	5,0	0,611	591	595	0,7	474	480	1,1
$1 - 0,9\bar{x}^{0,5}$	5,0	0,464	616,3	625	1,47	494	501	1,4
$1 - 0,9\bar{x}^{0,1}$	5,0	0,275	687,8	678,2	-1,4	541,5	538	-1,2
$1 - 0,5\bar{x}^3$	5,0	1,23	543	522	-3,8	442	428	-3,3
$1 - 0,5\bar{x}^2$	5,0	1,2	546,6	526	-3,8	445	431	-3,2
$1 - 0,5\bar{x}^1$	5,0	0,974	554,6	563,4	1,6	450,5	457	1,45
$1 - 0,5\bar{x}^{0,1}$	5,0	0,879	575,7	584,8	1,6	456,4	472,2	1,45
$1 - 0,9\bar{x}^3$	10	0,845	505,6	510,3	0,94	419,1	419,5	0,1
$1 - 0,5\bar{x}^3$	10	1,73	497,6	504,1	1,3	410,5	415,6	1,3
* Результати обчислень з урахуванням фактичних витрат і температури теплоносія на ділянках мережі за методикою [25, 26]								

Таблиця 3.4 – Теплові втрати трубопроводами головної вітки мережі

Розрахункова схема	Q _с , МВт	Гілка (1-Т)			$\frac{M_{від}}{M_{гл}}$	Питомі втрати теплоти, Q/M, Вт/м²			
		M _{гл} , м²	R, Па/м	d _{ср} , м		ПТ		ЗТ	
					Формула (3.13, а)	Δ %	Формула (3.14, а)	Δ , %	
	10	187	35	0,21	0,17	551	3,3	517	2,9
	10	150	100	0,17	0,16	597	3,7	550	2,2
	10	210	20	0,23	0,17	532	3,0	502	2,5
	10	278	45	0,31	0,14	504	0,7	479	2,1
	2,5	66	37	0,19	0,7	591	1,5	477	1,2
	3,25	42	36	0,16	1,95	633	2,3	509	0,6
	5,0	43	34	0,17	1,63	621	0,1	492	0,1
	2,5	81	41	0,1	0,38	674	1	535	2,1
	5,0	66,3	39	0,19	0,4	601	0,4	483	1,7
	2,5	70	43	0,16	0,61	650	1,2	518	0,2
	7,5	81,5	39	0,23	0,33	559	2,4	454	2
	2,5	70	38	0,15	0,61	679	0,7	529	1,9
	6,25	108	43	0,24	108	553	2,1	450	0,2
	2,5	73	32	0,18	0,54	613	0,6	492	3,2
	5,0	72	33	0,24	0,56	557	2,4	453	3,1

Недоліком формул (3.13, а), (3.14, а) є те, що для їхнього використання потрібна інформація про величину питомих втрат тиску на подолання сил тертя при русі теплоносія у теплопроводі. Питомі втрати тиску пов'язані з величиною діаметра і впливають на техніко-економічні показники теплових мереж. При виборі діаметрів ділянок припустимі втрати тиску приймають або залежно від напору теплоносія на вході до мережі й тиску, який є необхідним для приєднаної до теплової мережі системи споживання теплоти, або за нормативними документами. Згідно з нормативними матеріалами [5] питомі втрати тиску через тертя для ділянок магістралі від джерела теплоти до найвіддаленішого споживача при гідравлічному розрахунку водяних теплових мереж приймають 50 – 80 Па/м, для відгалужень від магістралі – не більше ніж 300 Па/м. Як видно, діапазон питомих втрат тиску для мікрорайонних систем визначений не чітко.

У реальних мережах зміна витрат теплоносія по довжині теплопроводу має ступінчастий характер із незмінними значеннями у межах окремих ділянок (рис. 3.5). Зміна діаметра трубопроводів і питомих втрат тиску у межах ділянок також мають ступінчастий характер. На відміну від законів зміни витрат теплоносія і діаметра теплопроводу, які поступово зменшуються по довжині, поведінка питомих втрат тиску на ділянках не має чітко вираженої закономірності, змінюючись від ділянки до ділянки довільно. Як видно з рисунку 3.5, на якому показано зміну гідромеханічних характеристик по довжині трубопроводу головної вітки 604-1 мікрорайону у м. Харкові, за середнього значення питомих втрат тиску $R_{cp} = 153$ Па/м максимальна величина втрат на окремих ділянках досягає 450 Па/м, а мінімальні втрати дорівнюють приблизно 15 Па/м. Велику різницю величин можна пояснити тим, що діапазон зміни рекомендованих значень питомих втрат тиску розподільних теплових мереж не лімітується так жорстко як для магістральних, і залежить від великої кількості факторів, що наявні під час проєктування (традиції проєктувальної організації, наявність відповідного сортаменту трубопроводів під час виконання монтажних робіт, проєктування теплової мережі із «запасом», з урахуванням можливої майбутньої забудови тощо).

Для визначення питомих втрат тиску у мікрорайонних системах теплопостачання проведено аналіз 40 об'єктів (мікрорайони, квартали) м. Харкова. Незважаючи на індивідуальні особливості проєктів (довжина і діаметри теплопроводів, кількість поверхів забудови, теплові навантаження тощо), мікрорайонні мережі при централізованому теплопостачанні мають ряд спільних рис: розміщення центрального теплового пункту зазвичай у центрі теплових навантажень, що забезпечує мінімальну довжину теплопроводів; суттєва розгалуженість (наявність щільної мережі відгалужень від головних віток). Теплозабезпечення будівель розглянутих об'єктів здійснюється за чотиритрубною схемою (два трубопроводи для опалення, два – для системи гарячого водопостачання). Теплопроводи прокладено частково у непрохідних каналах, частково – по технічним підпіллям будівель. Середня кількість поверхів забудови знаходиться у межах від 4,3 до 16. Орієнтовно у 10 % випадків теплова енергія надходить до споруд безпосередньо від кварталних або мікрорайонних опалювальних котелень, у 90 % – від великих централізованих джерел теплоти через теплорозподільні станції. Приблизно у 56 % випадків мікрорайонні мережі мають одну головну вітку і у 40 % випадків – дві.

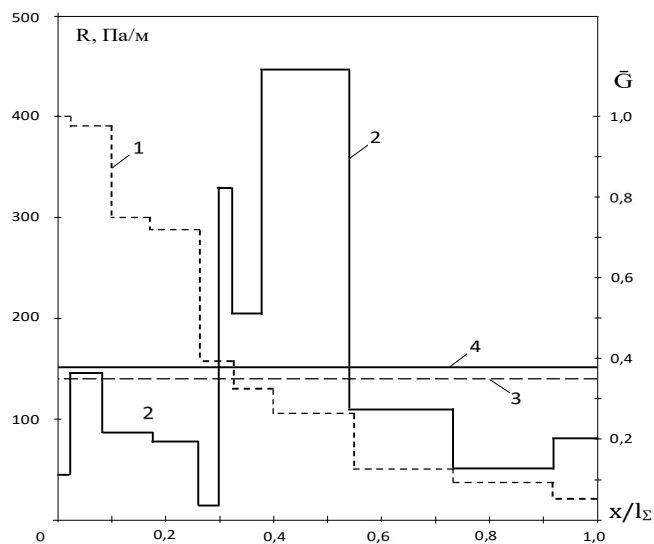


Рисунок 3.5 – Зміна питомих витрат мережної води (1) і питомих втрат тиску (2) на ділянках головної вітки розподільного трубопроводу системи опалення 604-1 мікрорайону Салтівського житлового масиву у м. Харкові, 3, 4 – середні по довжині вітки значення витрат води і питомих втрат тиску, відповідно

За проєктними даними для мікрорайонів обчислено теплові навантаження забудов. Витрати теплоти на опалення за розрахункової для м. Харкова температури зовнішнього повітря ($t_{p.o.} = -23\text{ }^{\circ}\text{C}$) [27] знаходяться у діапазоні $1,35 \leq Q_c \leq 16,12$ МВт. Приблизно половина з них мають опалювальне навантаження більше 7 МВт, майже чверть із прийнятого до розгляду масиву об'єктів – до 2 МВт і чверть – від 2 МВт до 7 МВт. Довжина головних віток знаходиться у межах $85 \leq L_{gl} \leq 1045$ м. Середня довжина головних віток становить 521 м. Мережу трубопроводів системи опалення кожного об'єкта було розподілено на розрахункові ділянки і для кожного з об'єктів за формулою (3.24) обчислено середній діаметр трубопроводів головних віток. Як з'ясувалося, діаметри трубопроводів головних віток опалювальної мережі знаходиться у межах $66 \leq D_{gl}^{cp} \leq 226$ мм. Величина середнього діаметра трубопроводів головних віток для розглянутого масиву даних загалом становить 134 мм, що співпадає з даними інших авторів, наприклад [3]. Матеріальна характеристика трубопроводів головних віток, обчислена за формулою (3.12), знаходиться у межах $10,2 \leq M_{gl} \leq 125$ м². Середнє значення матеріальної характеристики теплопроводів головної вітки мікрорайону для масиву розглянутих об'єктів загалом становить $M_{cp}^{gl} = 70,6$ м². За опалювальними навантаженнями будівель обчислено теплові навантаження рахункових ділянок мережі і витрати мережної води на ділянках (G_{∂}). За формулою (3.26) [28] визначені питомі втрати тиску на подолання дії сил тертя під час руху мережної води на ділянках трубопроводу:

$$R = \frac{0,8125\lambda G_{\partial}^2}{\rho \cdot D^5}, \quad (3.26)$$

де ρ – питома вага рідини; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Швидкість води у теплопроводах зазвичай перевищує 0,5 м/с, отже здебільшого трубопроводи теплових мереж працюють в області квадратичного режиму [28], для якого справедливе співвідношення:

$$\lambda = 0,11(K_e/D)^{0,25}, \quad (3.27)$$

де K_e – еквівалентна шорсткість стінок трубопроводів (для теплопроводів $K_e = 0,0005$ м [23]).

Під час подальшого аналізу режимів мереж використано середні на довжині головної вітки питомі втрати тиску, які було обчислено за формулою:

$$R_{\text{сп}}^{\text{гл}} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{\text{д},i} \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (3.28)$$

де $R_{\text{д},i}$ – питомі втрати тиску на окремій ділянці трубопроводу.

Результати обчислень свідчать про суттєвий вплив на середні питомі втрати тиску у трубопроводах головної вітки величини сумарних витрат теплоти на опалення (Q_c) приєднаних до головної вітки будівель. Для значень $Q_{\text{сум}} \leq 5$ МВт орієнтовне значення питомих втрат тиску у трубопроводах становить $R_{\text{сп}}^{\text{гл}} = 143$ Па/м, за $5 \leq Q_c \leq 15$ МВт – $R_{\text{сп}}^{\text{гл}} = 210$ Па/м. У діапазоні значень опалювального навантаження $1 \leq Q_c \leq 12$ МВт результати обчислень узагальнені формулою:

$$(R_{\text{сп}}^{\text{гл}})^{0,19} = 2,06(Q_{\text{сум}})^{0,13}. \quad (3.29)$$

З урахуванням співвідношення (3.27), (3.29) формула (3.23) для трубопроводів головної вітки набуває вигляду:

$$D_{\text{сп}}^{\text{гл}} = 0,135 \cdot Q_{\text{сум}}^{0,25} (1 - 0,466 \bar{G}_{\text{min}}) (G_{\text{сп}} / G_{\text{від}})^{0,41}. \quad (3.23, \text{ а})$$

Для 20 % випадків прийнятих до розгляду об'єктів відхилення перевищує 10 %. Середня похибка визначення діаметрів за формулою (3.23, а) для приблизно 80 % дорівнює 4,5 %.

З урахуванням отриманих співвідношень формули для обчислення втрат теплоти подавальними ($Q_1^{\text{гл}}$) і зворотними ($Q_2^{\text{гл}}$) трубопроводами головної вітки опалювальної мережі мікрорайону мають вигляд:

$$Q_1^{\text{гл}} = (0,428 + 0,493 Q_c^{0,25} \cdot A) (\tau_1 - t_{\text{от}}) L, \quad (3.30)$$

$$Q_2^{\text{гл}} = (0,465 + 0,66 Q_c^{0,25} \cdot A) (\tau_2 - t_{\text{от}}) L, \quad (3.31)$$

$$A = (1 - 0,466 \bar{G}_{\text{min}}) (G_{\text{сп}} / G_{\text{від}})^{0,41}.$$

Результати обчислень втрат теплоти теплопроводами головних віток за формулами (3.30), (3.31) для розглянутих житлових мікрорайонів співставленні з результатами розрахунків за методикою, яка враховує фактичну зміну витрат і температури мережної води по довжині теплопроводу [25, 26]. Обчислення здійснено при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря. Температура води у подавальному трубопроводі на виході з центрального теплового пункту до мікрорайонної мережі дорівнює 105 °С, на вході до зворотного трубопроводу мережі з системи опалення будівель 80 °С. Питомі втрати теплоти трубопроводами прийняті на рівні нормативних. Температура ґрунту на глибині прокладання теплопроводів прийнята рівною 5 °С. Приблизно для 80 % випадків середня похибка обчислень становить приблизно 4,7 %. Приблизно для 20 % випадків відхилення перевищує 10 %.

3.3 Результати обчислень теплових втрат трубопроводами опалювальної мережі

Розрахунки за наведеною у підрозділі 3.1 методикою проведено для ідеалізованих і реальних схем тепlopостачання груп будівель. Схема теплових мереж житлового мікрорайону з сумарним розрахунковим опалювальним навантаженням неутеплених будівель 8,99 МВт наведена на рисунку 3.6. Витрати теплоти на опалення окремих споруд подано у таблиці 3.5, характеристики мережі опалення, яку прокладено у непрохідних каналах, – у таблиці 3.6. Розрахунки здійснено для кліматичних умов м. Харкова за нормативних теплових втрат трубопроводами і температурі ґрунту на вісі теплопроводу 5 °С. Під час обчислень не враховано можливу зміну температури ґрунту на глибині прокладання теплопроводів у разі зміни температури зовнішнього повітря. Розглянуто три характерних режими теплової мережі: при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря, при середній за опалювальний період температурі і у точці зламу температурного графіка. Температуру теплоносія у подавальному трубопроводі на виході з центрального теплового пункту (ЦТП) прийнято для вказаних режимів

145 °С, 87 °С, 69,3 °С відповідно. Відносно опалювальне навантаження, яке обчислене за формулою (3.32), дорівнює відповідно $\bar{Q}_o = 1; \bar{Q}_o = 0,49; \bar{Q}_o = 0,38$.

$$\bar{Q}_o = (t_b - t_h) / (t_b - t_{p.o}), \quad (3.32)$$

де t_b – температура повітря у приміщеннях; t_h , $t_{p.o}$ – поточна і розрахункова для опалення температура зовнішнього повітря.

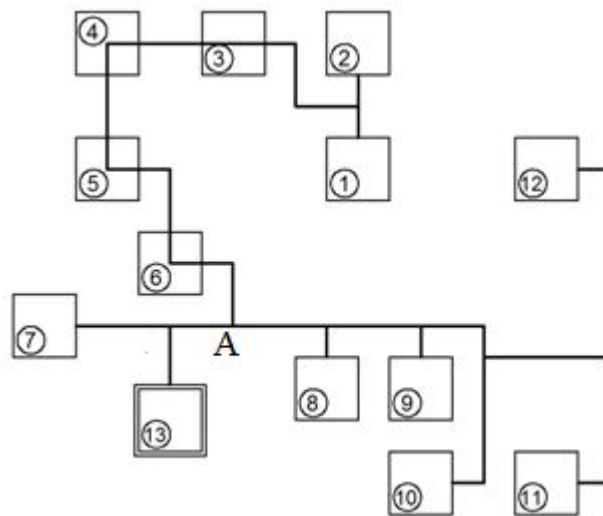


Рисунок 3.6 – Схема теплових мереж мікрорайону:
1–12 – номери будівель; 13 – центральний тепловий пункт

Таблиця 3.5 – Витрати теплоти на опалення будівель при розрахункових умовах

Номер будівлі (рис. 3.6)	1	2	3	4	5	6
Максимальне навантаження опалення, МВт	0,662	1,166	0,708	0,694	0,655	0,655
Номер будівлі (рис. 3.6)	7	8	9	10	11	12
Максимальне навантаження опалення, МВт	1,02	0,686	0,708	1,217	0,254	0,545

Таблиця 3.6 – Характеристики системи тепlopостачання групи будівель

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання	Величина
Максимальні витрати теплоти на опалення	$Q_{o.p.}$	кВт	8 980
Довжина трубопроводів головної вітки 13–1 (подавальний + зворотний)	L_1	м	1 039
Довжина відгалуження А–12	L_2	м	640
Середній діаметр трубопроводів:			
– головної вітки	D_1	мм	153
– відгалужень	D_2	мм	133

Результати обчислення зниження температури теплоносія по довжині подавального трубопроводу головної вітки показано на рисунку 3.7, з якого видно, що зміна температури по координаті $\bar{x} = X/L_1$ (X – координата точки на головній вітці від ЦТП; L_1 – довжина вітки) має практично лінійний характер при всіх прийнятих до розгляду значеннях температури зовнішнього повітря. Зафіксоване в розрахунках охолодження мережної води на довжині головної вітки знаходиться у діапазоні 1,6 – 3,6 °С. На рисунку 3.7 показано також розрахункову зміну температури теплоносія на виході з опалювальних приладів (τ_{02}) по довжині головної вітки. Тепловий стан ділянки зворотного трубопроводу формується під впливом двох факторів. З одного боку, наявне охолодження теплоносія внаслідок втрат теплоти, з другого боку – зміна тепловмісту потоку теплоносія у теплопроводі головної вітки при змішуванні його з потоком теплоносія з відгалужень до будівлі або групи будівель. Разом із тим, як було показано у роботі [30], у напрямку від найвіддаленішої будівлі до ЦТП можливе зростання температури мережної води по довжині зворотного теплопроводу.

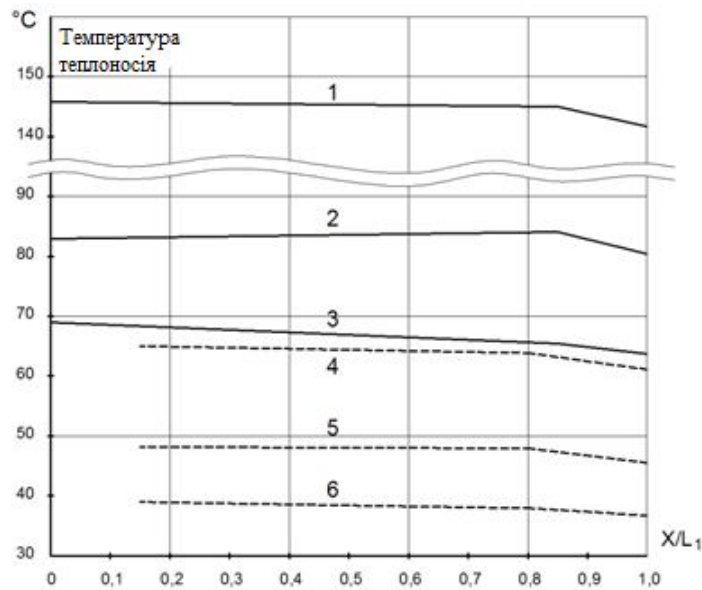


Рисунок 3.7 – Зміна температури теплоносія по довжині головної вітки:
1, 2, 3 – у подавальному трубопроводі; 4, 5, 6 – на виході опалювальних комплексів будівель; 1, 4 – за $\bar{Q}_o = 1$; 2, 5 – за $\bar{Q}_o = 0,49$; 3, 6 – за $\bar{Q}_o = 0,38$.

Для наведеної на рисунку 3.6 схеми проаналізовано теплові режими мереж за зниження розрахункового опалювального навантаження мікрорайону на 10, 20, 30, 40 та 50 % за максимально можливого зменшення навантаження будівлі при заміні вікон й утепленні всіх будівельних конструкцій будівлі на 50 %. Вказане зменшення витрат теплоти для потреб мікрорайону забезпечено як частковим або повним утепленням всіх споруд забудови, так і утепленням окремих будівель. Для другого варіанта розглянуті такі випадки: зниження витрат теплоти на опалення окремих будівель або тільки головної вітки, або тільки відгалужень, утеплення найвіддаленіших на вітках будівель, утеплення найближчих до ЦТП будівель. Характеристики деяких з розглянутих варіантів і результати обчислень наведені у додатку Д.

Аналіз результатів свідчить, що найбільші втрати теплоти трубопроводами мікрорайонної мережі спостерігаються у випадку утеплення найближчих до ЦТП будівель, найменші – при утепленні найвіддаленіших від ЦТП споруд. Такий висновок зафіксовано при всіх розглянутих температурах зовнішнього повітря і різних значеннях коефіцієнта ефективності утеплення будівель μ , обчисленому для

мікрорайону в цілому. На рисунку 3.8 показано зменшення величини теплових втрат зворотними трубопроводами (рис. 3.8, а) і сумарних втрат трубопроводами мережі залежно від рівня зменшення теплового навантаження за середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря (відносні витрати теплоти на опалення $\bar{Q}_o = 0,49$). Як видно з наведеного графіка, втрати теплоти зворотними трубопроводами при утепленні найвіддаленіших будівель приблизно на 15 % менше теплових втрат при утепленні найближчих до центрального теплового пункту споруд. Вказана відмінність сумарних втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі (подавальний трубопровід + зворотний) становить приблизно 5 %.

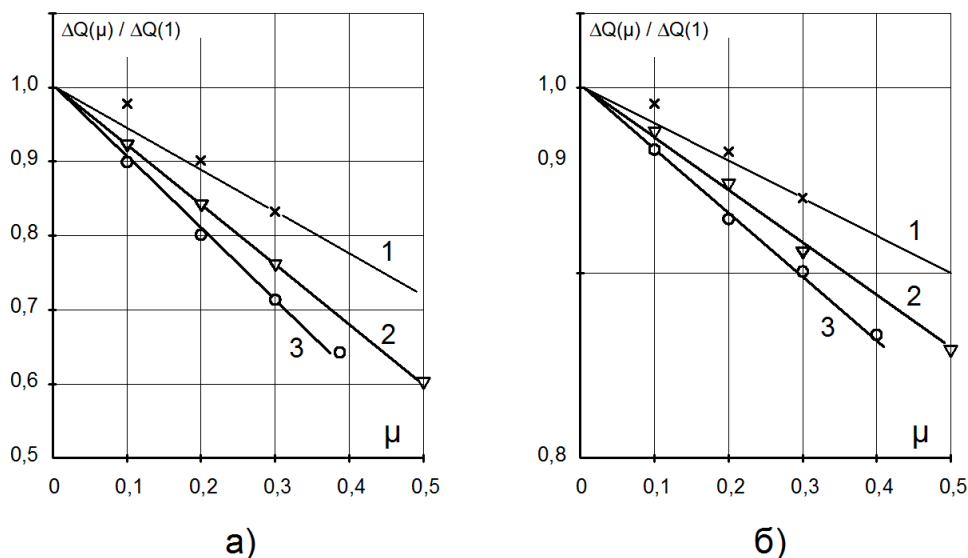


Рисунок 3.8 – Залежність теплових втрат трубопроводами мережі опалення від рівня зменшення розрахункового опалювального навантаження мікрорайону за $\bar{Q}_o = 0,49$:

а) – зворотними трубопроводами; б) – сумарні; 1 – утеплення найвіддаленіших від ЦТП будівель; 2 – однакове утеплення всіх споруд мікрорайону; 3 – утеплення найближчих до ЦТП будівель

Для інших прийнятих до розгляду значень температури зовнішнього повітря спостерігається якісне співпадіння характеру зміни вказаних величин при зростанні кількісних показників зі зниженням температури

зовнішнього повітря. За значення температури зовнішнього повітря $t_n = -23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (відносно опалювальне навантаження $\bar{Q}_o = 1$) різниця для названих варіантів утеплення становить до 17 % для мікрорайонної мережі загалом і від 16 % до 90 % для трубопроводів зворотної лінії. Вплив віддаленості будівель від мікрорайонного центру тепlopостачання на величину теплових втрат трубопроводами пояснюється характером зміни температури теплоносія по довжині зворотного теплопроводу. За рівномірного утеплення всіх будівель забудови графік зміни температури по довжині трубопроводу зворотної лінії якісно співпадає з графіком температури для вихідного варіанта (до утеплення будівель) при кількісній відмінності значень по всій довжині вітки орієнтовно на $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 3.9).

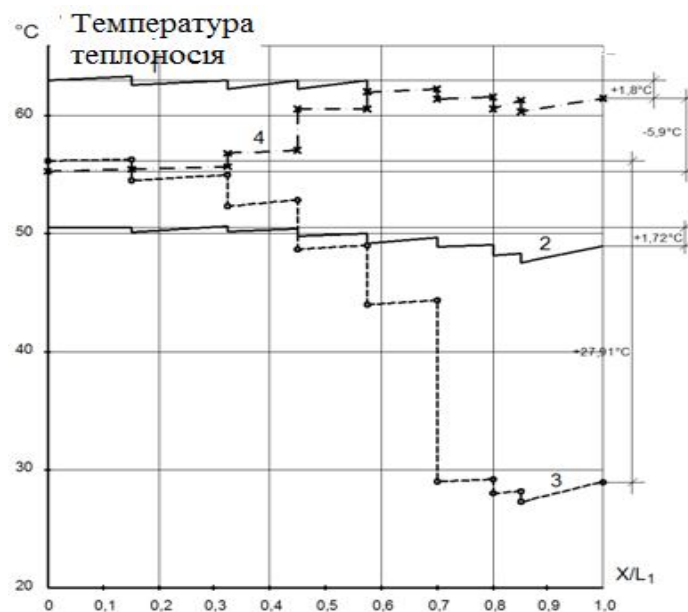


Рисунок 3.9 – Зміна температури теплоносія по довжині зворотного трубопроводу за $\bar{Q}_o = 0,49$ і 20 %-му зниженні розрахункового опалювального навантаження мікрорайону:

- 1 – вихідний варіант (до утеплення); 2 – рівномірне утеплення всіх будівель мікрорайону; 3 – утеплення найвіддаленіших від ЦТП споруд;
- 4 – утеплення найближчих до ЦТП будівель

Під час утеплення найвіддаленіших від мікрорайонного центру тепlopостачання будівель тепловміст охолодженої мережної води в

опалювальних комплексах будівель впливає на зниження температури води на значній довжині зворотного трубопроводу. Середня температура теплоносія у зворотному трубопроводі для цього варіанта, обчислена за формулою (3.33), помітно менше, ніж для інших (рис. 3.10).

$$\bar{\tau}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(\tau_2''' + \tau_2'') \cdot 0,5l_i]}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (3.33)$$

де n – кількість розрахункових ділянок; l – довжина ділянки, τ_2''', τ_2'' – температура мережної води на вході та виході розрахункової ділянки.

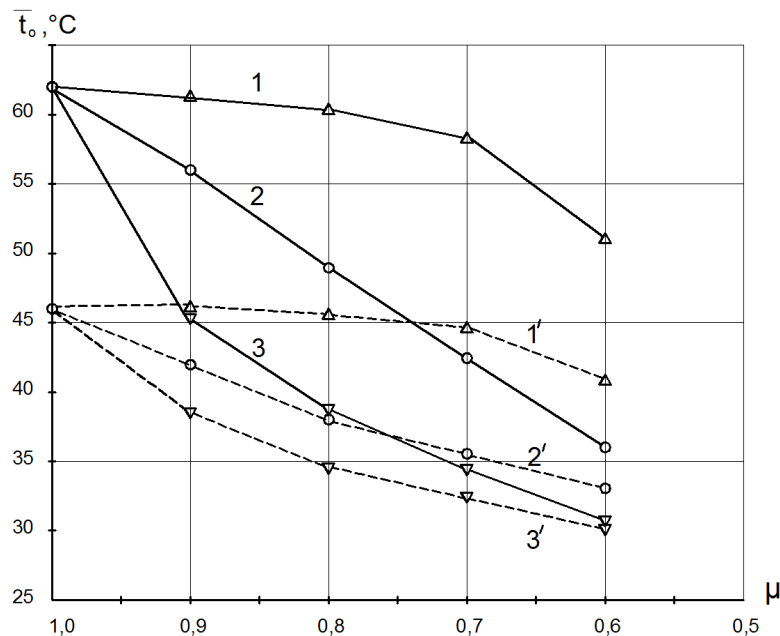


Рисунок 3.10 – Зміна середньої температури теплоносія у зворотному трубопроводі головної вітки опалювальної мережі:

Δ – утеплення найближчих до ЦТП будівель мікрорайону; о – утеплення всіх будівель; ▽ – утеплення найвіддаленіших будівель;

1, 2, 3 – за $\bar{Q}_o = 1$; 1', 2', 3' – за $\bar{Q}_o = 0,49$.

Аналіз діючих систем тепlopостачання мікрорайонів свідчить, що розподільні теплові мережі у багатьох випадках мають декілька віток. За даними [29], майже половина мікрорайонних систем одного з найкрупніших житлових масивів м. Харкова – Салтівського – розподілені

на дві вітки. Вітки мережі характеризуються різною довжиною і тепловим навантаженням. Довжина віток розглянутих груп будівель знаходиться у межах від 536 м до 2 856 м. Співвідношення довжин підрозділів мережі для мікрорайонів з двома вітками змінюється у межах 1,18–1,7. Помітно різняться теплові навантаження віток. У такому випадку під час проведення енергозберігаючих заходів у житловому мікрорайоні у декілька етапів, протягом декількох опалювальних сезонів, може виникнути проблема вибору порядку утеплення будівель, що приєднані до загальної мережі теплопостачання.

Вплив характеристик віток опалювальної мережі на величину втрат теплоти теплопроводами проаналізовано на прикладах схем теплопостачання ідеалізованих груп будівель, показаних на рисунку 3.11. Розглянуто системи теплопостачання, у яких всі будинки забудови мають однакове вихідне опалювальне навантаження (рис. 3.11, а), так і варіанти, у яких споруди характеризуються різними витратами теплоти (рис. 3.11, б; 3.11, в). Характеристики ділянок мережі подано у таблицях 3.6–3.8. Лінійні втрати теплоти трубопроводами прийнято на рівні нормативних для прокладання у непрохідних каналах [25, 26]. Тепловтрати конструктивними елементами мережі враховано коефіцієнтом k , величину якого у попередніх розрахунках прийнято рівною для умов прокладання теплопроводів у непрохідних каналах.

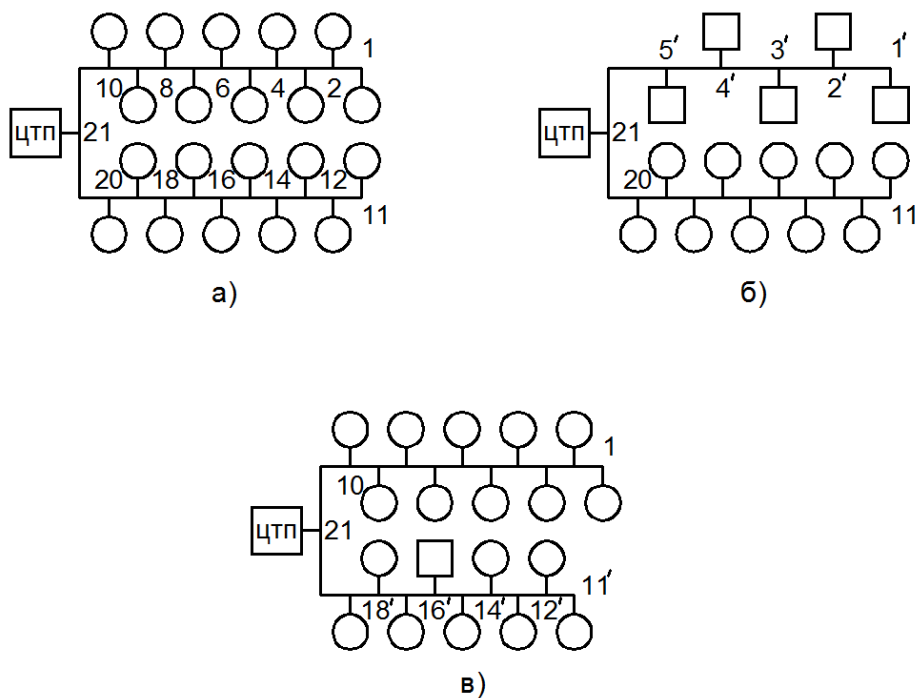


Рисунок 3.11 – Розрахункові схеми теплових мереж:

- а) – з однаковим вихідним опалювальним навантаженням будівель;
- б), в) – з різним навантаженням будівель; 1...21 – розрахункові точки;
- – будівлі з вихідним навантаженням за розрахункової температури зовнішнього повітря 0,1 МВт;
- – будівлі з вихідним навантаженням 0,2 МВт.

У проведених розрахунках максимальну ефективність утеплення окремої будівлі прийнято на рівні $\mu = 0,65$. Обчислення здійснено для середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря для кліматичних умов м. Харкова. Температуру ґрунту на глибині прокладання теплопроводів прийнято рівною 5 °С. Можливу зміну розрахункової температури ґрунту впродовж опалювального періоду не враховано.

Розрахункові схеми варіантів для групи будівель з однаковим тепловим навантаженням окремих споруд та результати визначення питомих тепловтрат подано у додатку Е, для мережі, що забезпечує теплою будівлі з різним вихідним опалювальним навантаженням – у додатку Ж. Теплові втрати віднесені до матеріальної характеристики теплопроводу, яку обчислено за формулою (3.12).

При витратах теплоти на опалення групи будівель до їх утеплення 0,98 МВт (за середній за опалювальний період температури зовнішнього повітря $-2,1^{\circ}\text{C}$) втрати теплоти трубопроводами мережі в цілому дорівнюють 0,135 МВт, що становить приблизно 14 % опалювального навантаження. Утеплення будівельних конструкцій будівель зменшує витрати теплоти на опалення і обумовлює також зниження тепловтрат трубопроводами опалювальної мережі. Зокрема, за зменшення витрат теплоти на опалення групи будівель під час їхнього утеплення на 14 % величина теплових втрат знижується на 5–6 %. Графік залежності впливу ефективності утеплення групи будівель (рис. 3.11, а) на зменшення тепловтрат трубопроводами подано на рисунку 3.12. З указанного рисунку видно, що на величину теплових втрат впливає також й місце знаходження утеплених споруд у квартальній мережі. Наприклад, при досягненні зменшення потреби в тепловій енергії для опалення групи будівель на 25 % шляхом утеплення всіх об'єктів тільки однієї вітки (варіант № 6, дод. Е) зниження втрат теплоти подавальними і зворотними трубопроводами порівняно з вихідним варіантом становить приблизно 7,5 %, а шляхом утеплення найвіддаленіших від центрального теплового пункту споруд на обох вітках (варіант № 7, дод. Е) – приблизно 9,5 %, тобто орієнтовно на чверть більше порівняно з варіантом № 6. Приблизно така ж сама відмінність величини зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі зафіксована і для інших розглянутих значень коефіцієнта μ , який враховує зменшення розрахункового опалювального навантаження групи будівель під час впровадження енергоощадних заходів.

Таким чином, в умовах обмеженості матеріальних ресурсів і неможливості провести утеплення всіх будівель прийнятої до розгляду групи правильний вибір об'єктів за тих самих капітальних затратах дозволить отримати додаткову економію експлуатаційних витрат завдяки зменшенню втрат теплоти в мережі.

Таблиця 3.6 – Характеристика ділянок мережі опалення

Схема	Ділянка	Витрати мережної води, кг/с	Діаметр d, мм	Довжина l, м	M, м ² формула (3.12)	Лінійні тепловтрати трубопроводом, Вт/м [5]	
						подавальна лінія	зворотна лінія
Рис. 1, а (ділянки віток 1–21, 11–21 ідентичні)	1–2	0,299	50	70	3,5	46	29
	2–3	0,597			3,5		
	3–4	0,896			3,5		
	4–5	1,194	70	70	4,9	52	34
	5–6	1,493			4,9		
	6–7	1,791			4,9		
	7–8	2,09			4,9		
	8–9	2,388	82	70	5,74	57	36
	9–10	2,687			5,74		
	10–21	2,985			5,74		
	21–0	5,97	125	70	8,75	70	45
Сума					56,07		

Таблиця 3.7 – Характеристика ділянок мережі опалення

Схема	Ділянка	Витрати мережної води, кг/с	Діаметр d, мм	Довжина l, м	M, м ² формула (3.12)	Лінійні тепловтрати трубопроводом, Вт/м [5]	
						подавальна лінія	зворотна лінія
Рис. 1, б	1'–2'	0,597	50	140	7,0	46	29
	2'–3'	1,194	70	140	9,8	52	34
	3'–4'	1,791			9,8		
	4'–5'	2,388	82	140	11,48	57	36
	5'–21	2,985			11,48		
	21–0	5,97	125	70	8,75	70	45
Сума					58,31		

Таблиця 3.8 – Характеристика ділянок мережі опалення

Схема	Ділянка	Витрати мережної води, кг/с	Діаметр d, мм	Довжина l, м	M, м ² формула (3.12)	Лінійні тепловтрати трубопроводом, Вт/м [5]	
						подавальна лінія	зворотна лінія
Рис. 1, в	11'–12'	0,299	50	70	3,5	46	29
	12'–13'	0,597			3,5		
	13'–14'	0,896			3,5		
	14'–15'	1,194	70	70	4,9	52	34
	15'–16'	1,493		105	7,35		
	16'–17'	2,09		105	7,35		
	17'–18'	2,388	82	70	5,74	57	36
	18'–19'	2,687			5,74		
	19'–21	2,985			5,74		
	21–0	5,97	125	70	8,75	70	45
Сума					56,07		

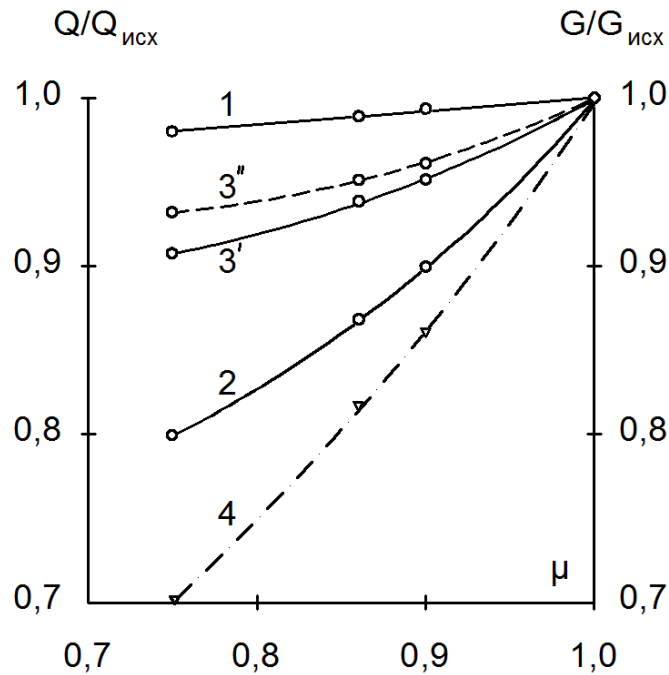


Рисунок 3.12 – Вплив ефективності утеплення будівель на зміну тепловтрат трубопроводами опалювальної мережі й витрат мережної води (лінія 4):

1 – подавальний трубопровід; 2 – зворотний; 3 – мережа в цілому (3' – за утеплення будівель однієї вітки; 3'' – за утеплення найвіддаленіших будівель обох віток); Q , G – тепловтрати мережі й витрати води для варіанта після утеплення;
 $Q_{исх}$, $G_{исх}$ – те саме до утеплення

У разі, якщо до віток мережі приєднані будівлі з різним вихідним опалювальним навантаженням (у межах кожної з віток навантаження об'єктів однакове), втрати теплоти в мережах слабо залежать від того, які будівлі обрано для утеплення. Розбіжність результатів обчислень для варіантів 9 і 10 (дод. Ж) не перевищує 0,2 %. Зниження сумарних втрат для вказаних варіантів порівняно з вихідним (варіант 8) становить приблизно 4 %. Максимальне зменшення втрат теплоти трубопроводами зафіксоване при утепленні найвіддаленіших на обох вітках будівель (майже 6 % відносно вихідного варіанта при загальному зниженні теплоспоживання будівлями на 14 %). З порівняння варіантів 15 і 16 (дод. Ж) видно, що утеплення найвіддаленіших будівель дає позитивний

ефект навіть тоді, коли їхнє вихідне теплове навантаження менше, ніж інших приєднаних до вітки будівель. Тепловтрати для варіанта 16, у якому передбачено утеплення найвіддаленішої на вітці будівлі з індивідуальним навантаженням 0,1 МВт орієнтовно на 0,6 % менше, ніж втрати для варіанта утеплення будівлі з навантаженням 0,2 МВт, розміщеного всередині вітки (значення коефіцієнтів μ для утеплених об'єктів в обох випадках однакове, $\mu = 0,65$).

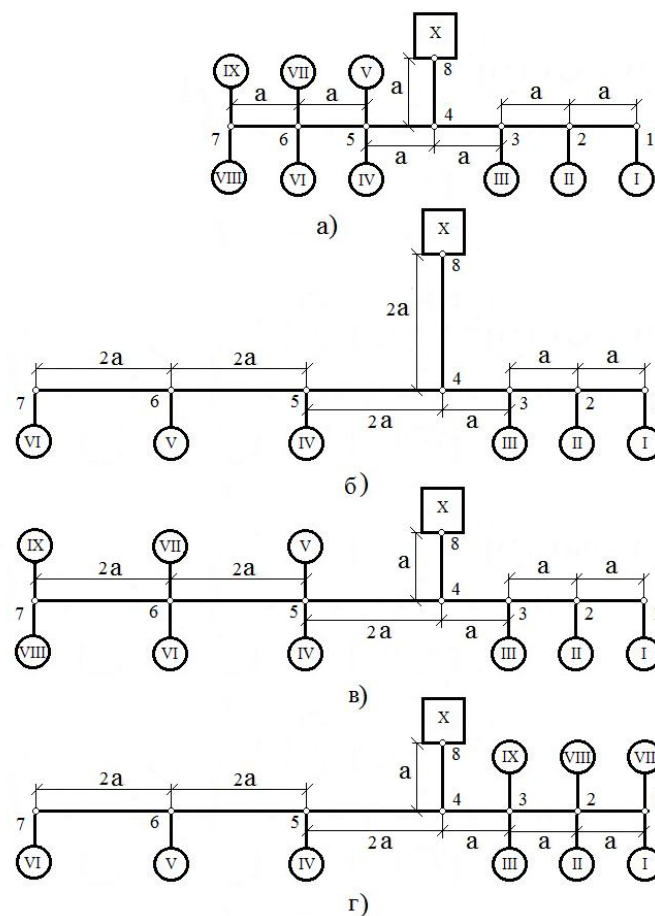


Рисунок 3.13 – Розрахункові схеми опалювальної мережі:

I...IX – номери будівель; X– центральний тепловий пункт;

1–8 – розрахункові точки мережі

Вплив характеристик опалювальної мережі на величину втрат теплоти трубопроводами проілюстровано на прикладі системи теплопостачання ідеалізованої групи будівель, наведеної на рисунку 3.13. Розрахункові варіанти відрізняються довжинами віток і сумарним

тепловим навантаженням приєднаних будівель. Обчислення здійснено за розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря. Витрати теплоти для окремих будівель однакові і дорівнюють 0,1 МВт. Температура води у подавальному трубопроводі на виході з ЦТП до мікрорайонної мережі становить 105 °С, на вході до системи опалення будівель – 95 °С, на виході з системи опалення будівель – 70°С. Довжину розрахункових ділянок віток мережі задано характерним розміром $a = 100$ м. Лінійні втрати теплоти трубопроводами прийнято за нормативами для прокладання у непрохідних каналах [25]. Втрати теплоти конструктивними елементами теплової мережі враховано коефіцієнтом $K = 1,15$ [26]. Температура ґрунту на глибині прокладання теплопроводів прийнято рівною 5 °С. Результати обчислення втрат теплових втрат опалювальною мережею до проведення утеплення будівель подано в таблиці 3.9.

У роботі прийнято, що коефіцієнт ефективності утеплення окремої будівлі становить $\mu = 0,5$. Кількість утеплених споруд для кожного з варіантів дорівнює трьом, утеплені будівлі рівномірно розподілені по довжині вітки. Результати розрахункового визначення зміни параметрів гідравлічного і теплового режимів мереж наведені у таблиці 3.10.

Таблиця 3.9 – Теплові втрати трубопроводами мережі до утеплення будівель (вихідний варіант)

Схема (рис. 3.13)	Теплове наванта- ження, мережі, МВт	Загальна довжина ділянок, м	Витрати води через ЦТП, кг/с	Теплові втрати, кВт		
				подаваль- ний трубо- провід	зворот- ний трубо- провід	мережа в цілому
а	0,9	700	9,27	63,68	50,23	113,91
б	0,6	1000	6,78	88,8	69,99	158,79
в	0,9	1000	9,56	89,18	70,38	159,76
г	0,9	1000	9,64	88,98	70,44	159,42

Таблиця 3.10 – Характеристики теплових мереж при утепленні будівель

Схема (рис. 3.13)	Характеристика заходів	Зміна показників порівняно з вихідним варіантом, %			
		витрати води для опален- ня	теплові втрати		
			подаваль- ний трубо- провід	зворотний трубо- провід	мере- жа в ціло- му
а	Утеплення будівель менш навантаженої вітки мережі	-17,3	-0,7	-14,35	-6,7
	Утеплення будівель більш навантаженої вітки мережі	-16,9	-0,08	-3,48	-1,6
б	Утеплення будівель коротшої вітки	-33,2	-0,68	-10,9	-5,2
	Утеплення будівель довшої вітки	-37,2	-1,8	-21,4	-10,4
в	Утеплення будівель коротшої менш навантаженої вітки	-23,6	-0,6	-10,5	-4,96
	Утеплення будівель довшої більш навантаженої вітки	-23,7	-0,31	-4,4	-2,1
г	Утеплення будівель короткої більш навантаженої вітки	-22,2	-0,13	-7,09	-3,2
	Утеплення будівель довшої менш навантаженої вітки	-27,8	-2,2	-21	-10,7

За даними роботи [3] приблизно 40 % магістральних теплових мереж м. Харкова знаходяться в експлуатації більше 30 років і, як свідчить аналіз стану інженерних мереж, значна їхня частина має незадовільні експлуатаційні показники. Середній відсоток зносу теплових мереж складає більше ніж 60 %, внаслідок чого втрати теплоти через ізоляцію перевищують нормативи. Згідно з даними [31] рівень теплових втрат у мережах м. Харкова майже на чверть більше припустимих. Оцінка впливу характеристик утеплених будівель на рівень втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі за підвищених лінійних тепловтрат проведено на прикладі групи будівель житлового мікрорайону, схему теплових мереж якої показано на рисунку 3.14. Сумарні максимальні витрати теплоти на опалення до утеплення будівель дорівнюють 12,6 МВт. Розрахункові теплові навантаження окремих будинків подано у таблиці 3.11. Теплові мережі прокладено у непрохідних каналах.

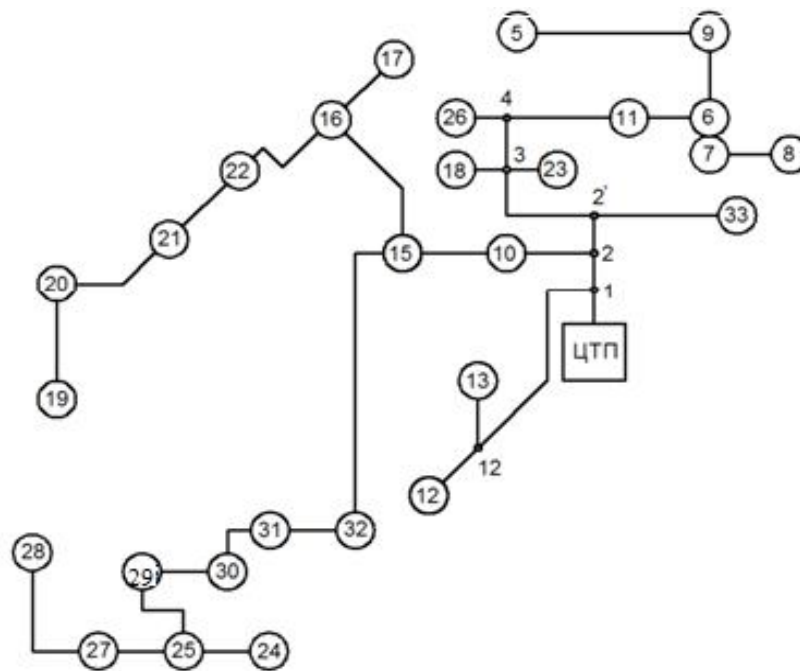


Рисунок 3.14 – Розрахункова схема теплових мереж фрагмента мікрорайону:

ЦТП – центральний тепловий пункт; О – будівлі;
1, 2, 3... – розрахункові точки теплової мережі

Таблиця 3.11 – Витрати теплоти на опалення будівель мікрорайону до утеплення (за розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря)

Номер будівлі	5	6	7	8	9	10	11
Q _{o.p.} , МВт	0,56	0,234	0,234	0,703	0,468	0,468	0,468
Номер будівлі	13	14	15	16	17	18	19
Q _{o.p.} , МВт	0,432	0,594	0,234	0,468	0,02	0,4	0,302
Номер будівлі	20	21	22	23	24	25	26
Q _{o.p.} , МВт	0,467	0,465	0,47	0,4	0,493	0,391	0,696
Номер будівлі	27	28	29	30	31	32	33
Q _{o.p.} , МВт	0,773	0,337	0,234	0,491	0,234	0,164	0,87

Під час обчислень прийнято, що лінійні втрати теплоти на ділянках на 20 % перевищують нормативні значення. Температура ґрунту на глибині прокладання теплопроводів дорівнює $t_{окр} = 5$ °С. Обчислення здійснено для середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря $t_n = -2,1$ °С. Тепловий режим вихідного варіанта (до утеплення будівель та нормативних лінійних тепловтратах) характеризується такими показниками: витрати теплоти на опалення групи будівель за середньої температури зовнішнього повітря дорівнюють 6,174 МВт; втрати теплоти подавальними й зворотними трубопроводами опалювальної мережі 0,282 та 0,182 МВт, відповідно; сумарні втрати теплопроводами 0,464 МВт (приблизно 7,5 % від потреби на опалення); річні витрати теплоти на опалення з урахуванням втрат у мережі становить 10 954 ГДж; витрати мережної води для потреб опалення дорівнюють 43 кг/с.

Максимальне зменшення розрахункового опалювального навантаження окремої будівлі в результаті її утеплення становить 35 %. Проведення заходів з енергозбереження для мікрорайону здійснюється поетапно, зі зменшенням теплоти на опалення за розрахункової температури зовнішнього повітря на першому етапі до 90 %, на другому – до 80 % і на третьому – 65 % від потреби для вихідного варіанта. Утеплення мікрорайону починається з найвіддаленіших від центрального

теплового пункту споруд. Характеристику етапів і результати обчислень при наднормативних лінійних втратах теплоти (перевищення становить 20 %) подано у таблиці 3.12. Порівняння зміни теплового стану трубопроводів опалювальної мережі розглянутої групи будинків за нормативних і перевищених лінійних втрат теплоти теплопроводами подано на рисунку 3.15.

Таблиця 3.12 – Результати обчислень втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі

Номер варіанта	Номери утеплених будівель	$\mu_{\text{мкр}}$	Тепловтрати, МВт			Зниження тепловтрат, %		
			загальні	подавальна лінія	зворотна лінія	загальні	подавальна лінія	зворотна лінія
1	—	1,0	0,556	0,337	0,219	0	0	0
2	19–22, 28, 27, 24, 5	0,893	0,524	0,335	0,189	5,8	0,6	13,7
3	19, 20–22, 28, 27, 25, 24, 5, 9, 29–32	0,8	0,515	0,333	0,182	7,4	1,2	16,9
4	всі будівлі	0,65	0,504	0,332	0,172	9,3	1,5	21,5

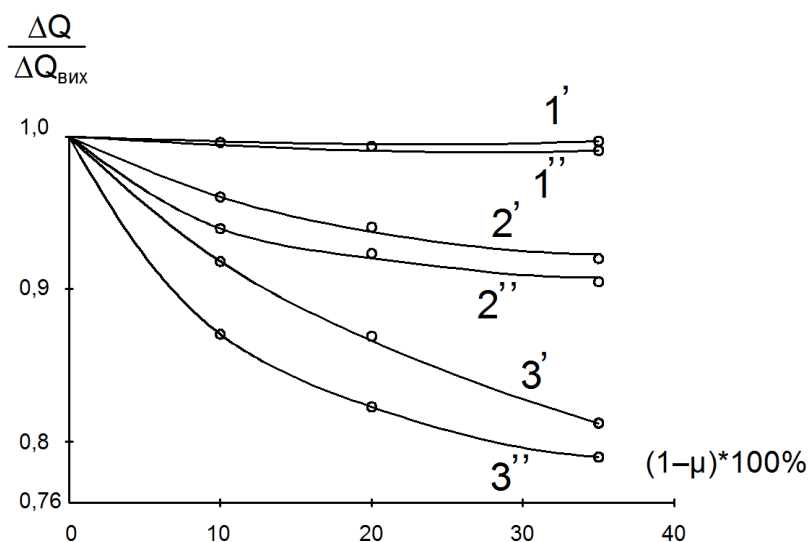


Рисунок 3.15 – Порівняння теплових втрат трубопроводами мережі:

1, 2 – подавальний і зворотний трубопроводи відповідно; 3 – мережа в цілому (1', 2', 3' – за нормативних тепловтрат; 1'', 2'', 3'' – за збільшених на 20 % лінійних тепловтрат); ΔQ , $\Delta Q_{\text{вих}}$ – тепловтрати мережею після та до утеплення будівель відповідно

Наведені на рисунку 3.15 дані свідчать, що підвищений рівень лінійних теплових втрат підсилює ефект зниження втрат теплоти трубопроводами під час утеплення будівель. Зокрема, при нормативних лінійних втратах зменшення споживання теплоти системами опалення будівель мікрорайону в цілому на 35 % і відповідному способі зменшення подачі теплоти в утеплені будівлі обумовлює зниження втрат теплоти опалювальною мережею майже на 8 %, а при збільшених на 20 % лінійних втратах – приблизно на 9,3 % відносно варіанта до утеплення споруд.

Обґрунтування варіанта стратегії енергозбереження для мікрорайонів необхідно здійснювати для кожної групи будівель окремо з урахуванням конкретних параметрів теплопостачання, характеристик мережі, а також фінансових можливостей і технічних ресурсів, які визначають обсяги річних робіт з утеплення будівель. Однак, хоча розглянуті варіанти не охоплюють всі можливі комбінації співвідношень довжин, теплових навантажень, ступеня ефективності утеплення кожної окремої будівлі і зменшення теплового навантаження забудови загалом, наведені у розділі результати досліджень дозволяють зробити загальні висновки.

Величина теплових втрат трубопроводами мікрорайонної мережі опалення під час утеплення окремих будівель мікрорайону залежить не тільки від способу прокладки і довжини теплопроводів, параметрів теплової ізоляції трубопроводів, але і від віддаленості утеплених будівель від центрального теплового пункту мікрорайону. За однакової ефективності заходів з енергозбереження для всіх споруд забудови найменші втрати теплоти спостерігаються під час утеплення найвіддаленіших від центрального теплового пункту будівель.

У випадку виконання системи опалення мікрорайону у вигляді двох віток за однакової довжини віток системи, але різних їхніх вихідних теплових навантажень в умовах обмеженості матеріальних і технічних ресурсів утеплення будівель, що приєднані до вітки з меншим навантаженням, обумовлює менші втрати теплоти трубопроводами мікрорайонної мережі загалом. За однакових теплових навантажень віток роботи з утеплення забудови групи будівель доцільно починати з будівель,

що приєднано до довшої вітки. Якщо вітки системи мають різну довжину і різні теплові навантаження, вибираючи, варто віддати перевагу варіанту, що передбачає першочергове утеплення будівель вітки з меншим тепловим навантаженням. Це дозволяє забезпечити додаткове зменшення теплових втрат трубопроводами мереж забудови.

Підвищений понад нормативи рівень лінійних втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі для стану до утеплення будівель обумовлює більше відносне зниження втрат теплоти трубопроводами після утеплення будівель, посилюючи тим самим ефект зменшення теплових втрат у розподільній мережі.

3.4 Спрощені методики визначення теплових втрат трубопроводами опалювальної мережі з урахуванням утеплення будівель

Підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій будівель обумовлює необхідність корегування режимів роботи системи опалення утепленої будівлі. Для будівлі, що проєктується, це завдання вирішується достатньо просто вибором відповідних схем приєднання опалювальних комплексів та підбором відповідних опалювальних приладів. Для приведення теплового навантаження споруди, що знаходиться в експлуатації, до «нового», зниженого рівня можливі два способи: реконструкція системи опалення будівлі зі зменшенням загальної площі поверхні опалювальних приладів; зменшення температури теплоносія в опалювальних приладах системи опалення. Перший варіант є економічно доцільним під час проведення комплексної реконструкції споруди. У більшості випадків другий варіант вбачається більш виправданим. При централізованому тепlopостачанні груп будівель зниження температури теплоносія на абонентських вводах обумовлює зміну витрат нагрівного теплоносія з розподільних теплових мереж для опалення будівлі і зміну теплового стану теплопроводів. Під час утеплення будівель варто очікувати зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі. Зменшення теплових втрат зворотними трубопроводами обумовлене здебільшого зниженням температури мережної води у системах опалення. У подавальних трубопроводах зміна

теплогового стану обумовлена зменшенням витрат мережної води і внаслідок цього – більш інтенсивним її охолодженням.

Зміну теплових втрат трубопроводами опалювальної мережі після утеплення будівель можна оцінити за формулою:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{t'_{cp} - t_{от}}{t_{cp} - t_{от}}, \quad (3.34)$$

де Q' , t'_{cp} – втрати теплоти та середня на ділянці довжиною L температура теплоносія після утеплення будівель; Q , t_{cp} – те ж саме до утеплення; $t_{от}$ – температура навколишнього середовища для відповідного способу прокладання теплопроводів.

Величина середньої температури на вітці мережі обчислено як середнє арифметичне значень на вході $t(0)$ й виході теплопроводу $t(1)$:

$$t_{cp} = 0,5[t(0) + t(1)]. \quad (3.35)$$

При визначенні температури теплоносія у характерних точках теплової мережі використано викладені раніше підходи. Фактичний ступінчастий розподіл витрат теплоносія по довжині вітки теплової мережі моделюється монотонним законом. Графіки зміни витрат по довжині теплопроводу і схеми теплових мереж, для яких справедливий обраний розподіл витрат, подані на рисунку 3.16. Для вказаних умов у роботі [13] наведені результати розв'язання диференційного рівняння, яке описує тепловий баланс елементарної ділянки подавального трубопроводу мережі (рис. 3.17). Результати розв'язання у вигляді рівняння зміни температури теплоносія по довжині теплопроводу для відповідного закону зміни витрат теплоносія подано у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Зміна температури теплоносія по довжині теплової мережі [32]

Варіант мережі (рис. 3.11)	Закон зміни витрат теплоносія по довжині вітки	Температури теплоносія
А	$\bar{G} = 1 + ax_0, \quad (3.36)$ $\bar{G} = G(x_0)/G_{\max}$	$t(x_0) = \tau_1 - A_1 \ln(1 + ax_0)/a, \quad (3.39)$ $A_1 = qLk/CG_{\max}$
В	$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1} \quad (3.37)$	$t(x_0) = \tau_1 - A_1 (\bar{x} + bx_0^3/3) \quad (3.40)$
С	$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1} \quad (3.38)$	$t(x_0) = \tau_1 - A_1 (\bar{x} + cx_0^2/2) \quad (3.41)$

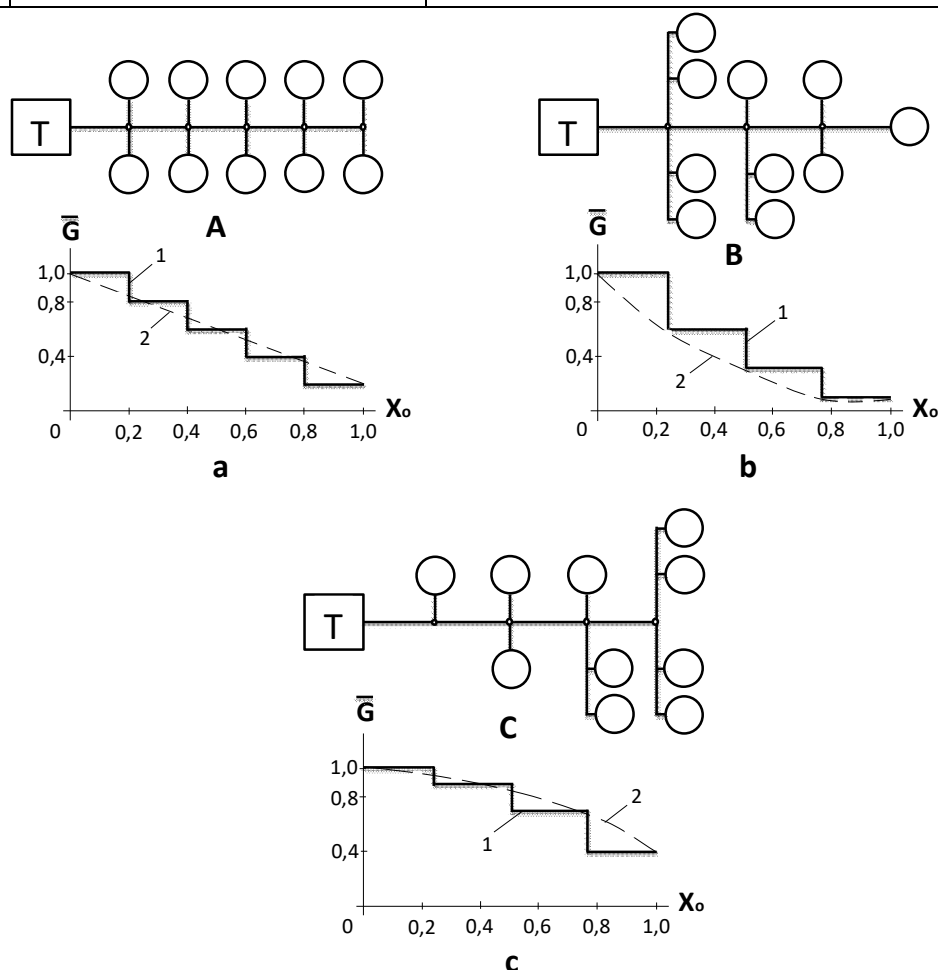


Рисунок 3.16 – Розрахункові схеми теплових мереж (А,В,С) і графіки зміни витрат теплоносія по довжині (а,б,с):

○ – будівля; Т – центральний тепловий пункт; 1 – реальний закон зміни витрат; 2 – прийнятий закон зміни витрат

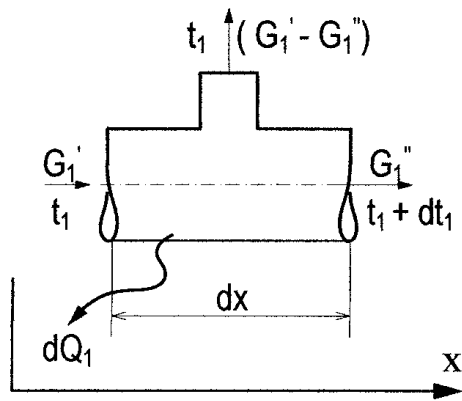


Рисунок 3.17 – Елементарна ділянка подавального трубопроводу мережі

Для прийнятих законів зміни витрат теплоносія по відносній координаті на теплопроводі ($x_0 = x/L$, L – довжина вітки) інтегруванням рівнянь (3.36) – (3.38) отримано формули для визначення середніх на вітці витрат теплоносія, які подано у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Формули для обчислення середніх витрат теплоносія

Закон зміни витрат	Формула (номер формули)
$\bar{G} = 1 + ax_0$	$G_{cp} = 0,5(G_{max} + G_{min})$ (3.42)
$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	$G_{cp} = (G_{max} \sqrt{b}) \arctg \sqrt{b}$ (3.43)
$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	$G_{cp} = G_{max} / c (\ln 1 + c)$ (3.44)

Зміна витрат мережної води для опалення утепленої будівлі веде до зміни величини комплексу A_l у рівняннях (3.39) – (3.41). Співвідношення значень вказаного комплексу для вітки мережі після утеплення будівель й до утеплення має вигляд:

$$A'_l = A_l / \beta. \quad (3.45)$$

Після перетворень отримуємо підсумкові формули для оцінок зміни теплових втрат трубопроводами подавальної лінії опалювальної мережі при утепленні будівель, які подано у таблиці 3.15. Формули справедливі для випадку утеплення всіх будівель, що приєднані до вітки теплової мережі.

Таблиця 3.15 – Формули для визначення зміни теплового стану теплопроводів

Закон зміни витрат	Зміна теплових втрат	Номер формули
$\bar{G} = 1 + ax_0$	$\frac{Q'}{Q} = \frac{a}{a'} \cdot \frac{2a'(\tau'_1 - t_s) - A_1 \ln(1 + a')/\beta}{2a(\tau_1 - t_s) - A_1 \ln(1 + a)/\beta}$	(3.46)
$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	$\frac{Q'}{Q} = \frac{2(\tau'_1 - t_s) - A_1(1 + b'/3)/\beta}{2(\tau_1 - t_s) - A_1(1 + b/3)/\beta}$	(3.47)
$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	$\frac{Q'}{Q} = \frac{2(\tau'_1 - t_s) - A_1(1 + 0,5c')/\beta}{2a(\tau_1 - t_s) - A_1(1 + 0,5c)/\beta}$	(3.48)

У формулах (3.46) – (3.48) τ_l , τ'_l – температура теплоносія на виході з центрального теплового пункту до подавального трубопроводу мікрорайонної мережі до утеплення будівель й після утеплення відповідно. В умовах практичної реалізації заходів з утеплення будівель мікрорайону, опалювальна мережа якого має декілька віток, можлива ситуація, за якої окремі споруди уже утеплено, а роботи на інших будівлях ще тривають. У такому випадку температура на виході з єдиного центру управління тепловими і гідравлічними режимами мікрорайону, яким є центральний тепловий пункт, однакова на вході до всіх опалювальних комплексів будівель й дорівнює значенню, яке необхідне для опалення неутеплених будівель. За рівності температур $\tau'_l = \tau_l$ наведені у таблиці 3.15 формули спрощуються. Крім того, при утепленні всіх будівель на вітці теплової мережі виконується рівність коефіцієнтів $a' = a$, $b' = b$, $c' = c$ у рівняннях (3.46) – (3.48). Після завершення робіт з утеплення всіх будівель мікрорайону можливий перехід роботи системи опалення на новий, знижений температурний графік. У такому випадку виконується нерівність $\tau'_l \neq \tau_l$.

Результати обчислень за запропонованими формулами співставлено з тепловими втратами теплопроводами, визначеними за традиційною методикою [25, 26] з урахуванням фактичного розподілу витрат теплоносія по довжині вітки та охолодження мережної води на ділянках опалювальної

мережі. Обчислення здійснено для показаних на рисунку 3.16 ідеалізованих груп будівель, до складу яких входять споруди з однаковими максимальними витратами теплоти на опалення $Q_o = 0,25$ МВт. Діаметри трубопроводів на ділянках мережі обчислено за тепловими навантаженнями відповідних ділянок за результатами гідравлічного розрахунку за умови, що питомі втрати тиску через тертя знаходяться у межах $30 \leq R \leq 50$ Па/м. Довжини ділянок для кожного окремого варіанта мережі однакові. Їхні значення визначено з умови рівності матеріальної характеристики мережі в цілому, яку для розглянутих варіантів прийнято рівною $M = \sum_{i=1}^n (l_i d_i) = 113,2 \text{ м}^2$ (l_i – довжина ділянки, d_i – діаметр, n – кількість розрахункових ділянок). Питомі втрати теплоти через ізоляцію прийнято на рівні нормативних значень при підземній прокладці теплопроводів у непрохідних каналах. Втрати теплоти конструктивними елементами теплової мережі враховано коефіцієнтом $k = 1,15$ [26]. Обчислення здійснено для розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря, яка для кліматичних умов м. Харкова дорівнює -23 °С. Температура води на вході до подавального трубопроводу опалювальної мережі до утеплення споруд прийнято рівною 105 °С. Температура мережної води в опалювальних приладах при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря до утеплення будівель становить $\tau_{3p} = 95$ °С (вхід до опалювальних приладів) і $\tau_{2p} = 70$ °С (вихід із системи опалення). Характеристики розглянутих варіантів подано у таблиці 3.16. Обчислення проведено для випадків утеплення будівель без зміни температурного графіка теплопостачання ($\tau'_1 = \tau_1 = 105$ °С) й утеплення з корегуванням температурного графіка ($\tau'_1 = 78,36$ °С). Коефіцієнт ефективності утеплення споруд прийнято рівним $\mu = 0,6$.

Таблиця 3.16 – Характеристики розрахункових варіантів опалювальної мережі

Параметр	Варіант виконання мережі (рис. 3.16)		
	А	В	С
Максимальні витрати теплоти на опалення групи будівель, МВт	2,5	2,5	2,5
Витрати води на вході до подавального трубопроводу мережі, кг/с	23,9	23,9	23,9
Довжина розрахункової ділянки мережі, м	136,6	180	150
Довжина вітки, м	683	720	600
Середній діаметр трубопроводу вітки, мм	166	157,2	189
Закон зміни витрат теплоносія	$\bar{G} = 1 - 0,8x_0$	$\bar{G} = (1 + 10x_0^2)^{-1}$	$\bar{G} = (1 + x_0)^{-1}$
Середні відносні витрати теплоносія на вітці до утеплення будівель	0,6	0,46	0,7

Вплив утеплення будівель на величину витрат мережної води для опалення показано на рисунку 3.18, на якому наведено результати обчислень з використанням запропонованих формул і за методикою, що враховує фактичний закон зміни витрат і температури на ділянках мережі. Як видно з наведених на рисунку 3.18 графіків, забезпечення потрібної теплової продуктивності системи опалення утеплених будівель із вказаною ефективністю енергоощадних заходів і за тієї самої, що до утеплення температурі води у подавальному трубопроводі мережі, обумовлює зниження витрат води з теплової мережі більш ніж удвічі. Перехід на новий, знижений графік температур розподільної теплової мережі здійснюється практично за тих самих, що до утеплення витратах нагрівного теплоносія через опалювальний теплообмінний апарат.

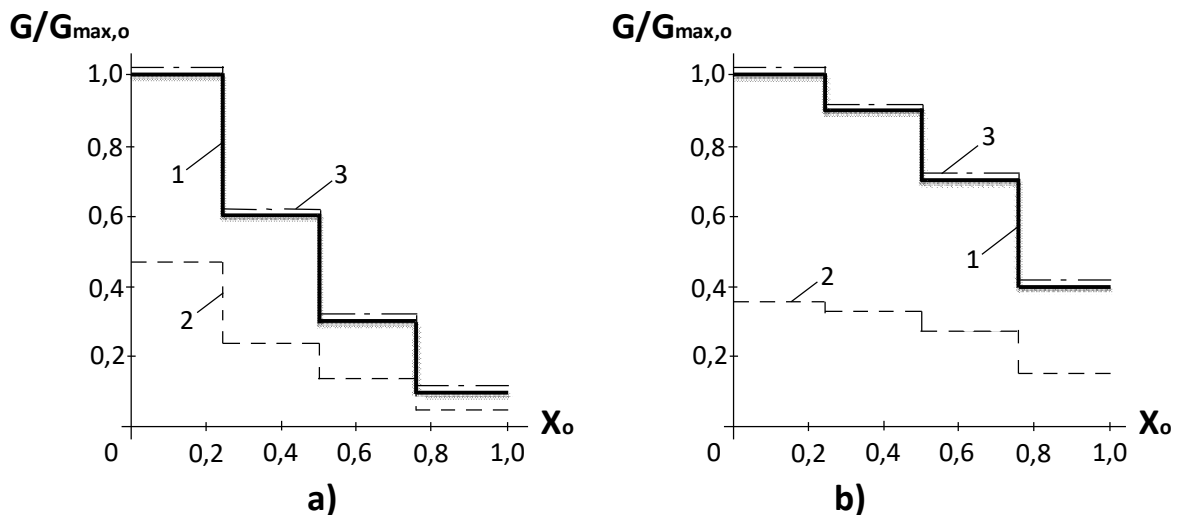


Рисунок 3.18 – Зміна відносних витрат мережної води по довжині вітки опалювальної мережі:

a, b – розрахункові схеми В, С; 1– вихідний варіант
(до утеплення будівель);

2 – $\mu = 0,6$; $\tau_1 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$; 3 – $\mu = 0,6$; $\tau_1 = 78,36 \text{ }^\circ\text{C}$

Результати визначення зміни теплових втрат подавальними трубопроводами опалювальної мережі за формулами (3.46) – (3.48) подано у таблиці 3.17. Там також представлені результати обчислення теплового стану теплопроводів з урахуванням фактичної зміни витрат і температури теплоносія від ділянки до ділянки. Співставлення отриманих даних показало, що максимальна відмінність результатів не перевищує 5 %, що можна вважати достатнім для виконання оцінок на попередніх етапах проведення техніко-економічного обґрунтування заходів з енергозбереження у мікрорайонних системах теплопостачання.

Наведені в таблиці 3.17 результати обчислень характеризують тепловий стан мережі без врахування втрат теплоти відгалуженнями від головної гілки до будівель. Оцінка впливу втрат трубопроводами відгалужень на величину сумарних теплових втрат мережею здійснено за викладеною у розділі 3.1 методикою, яка враховує фактичну зміну витрат і температури теплоносія на ділянках. Обчислення здійснено за умови, що матеріальна характеристика відгалужень $M_d = \sum_{i=1}^n (l_i d_i) = 17,8 \text{ м}^2$ або 13,6 % сумарної матеріальної характеристики теплопроводів забудови. Як

свідчать наведені у таблиці 3.18 результати, частка втрат теплоти трубопроводами відгалужень у загальних втратах мережі становить 18 – 22 %, а фактор утеплення будівель практично не впливає на співвідношення втрат теплоти відгалуженнями і теплових втрат трубопроводами мережі загалом. Для оцінок частки відгалужень у загальних теплових втратах мережі можна скористатися формулою (3.25).

Таблиця 3.17 – Зменшення теплових втрат подавальними трубопроводами опалювальної мережі при утепленні будівель

Умови розрахунку	Спосіб визначення	Значення Q'/Q для схеми (рис. 3.16)					
		А		В		С	
		Q'/Q	$\Delta, \%$	Q'/Q	$\Delta, \%$	Q'/Q	$\Delta, \%$
$\mu = 0,6;$ $\tau'_1 = \tau_1 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$	Методика [25], [26]	0,994	0,9	0,994	2,3	0,995	0,3
	Формули (3.46)- (3.48)	0,985		0,971		0,991	
$\mu = 0,6;$ $\tau'_1 = 78,36 \text{ }^\circ\text{C}$	Методика [25], [26]	0,734	0,4	0,734	4,6	0,734	0,3
	Формули (3.46)- (3.48)	0,731		0,7		0,732	

Таблиця 3.18 – Співвідношення теплових втрат відгалуженнями $Q_{від}$ та сумарних втрат теплоти $Q_{сум}$ трубопроводами опалювальної мережі

Розрахункова схема	Характеристики варіантів		
	вихідний (до утеплення) ($\mu = 1$) $\tau_1 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$	утеплення всіх будівель ($\mu = 0,6$) $\tau'_1 = \tau_1 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$	утеплення всіх будівель ($\mu = 0,6$) $\tau'_1 = 78,36 \text{ }^\circ\text{C}$
А	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,18$	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,18$	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,18$
Б	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,20$	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,20$	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,20$
В	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,22$	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,22$	$Q_{від} / Q_{сум} = 0,22$

Для оцінок зміни теплового стану зворотних трубопроводів опалювальної мережі для умов лінійного закону зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу у роботі [33] запропоновано формулу:

$$\frac{Q_2'}{Q_2} = \frac{(2A_2 + Q_{2H})\beta_L(\tau_{02}' - t_{от})}{(2A_2 \cdot \beta_L + Q_{2H})(\tau_{02} - t_{от})}, \quad (3.49)$$

$$A_2 = CG_{\text{від}} \Delta t_H (1 + G_{\text{мін}} / G_{\text{від}}), \quad Q_{2H} = q_{2H} \cdot L \cdot k,$$

у якій Q_2 , Q_2' – втрати теплоти зворотними трубопроводами мережі до утеплення будівель і після відповідно; q_{2H} – нормативні питомі теплові втрати зворотним трубопроводом; Δt_H – різниця температур теплоносія та навколишнього середовища, для яких здійснено нормування теплових втрат [25]; $G_{\text{мін}}$ – витрати теплоносія через найвіддаленішу на вітці будівлю; $G_{\text{від}}$ – витрати теплоносія через відгалуження на вітці опалювальної мережі; L – довжина вітки; k – коефіцієнт для обліку теплових втрат конструктивними елементами мережі; τ_{02} , τ_{02}' – температура теплоносія на виході з системи опалення неутепленої і утепленої будівлі, відповідно; $t_{от}$ – температура оточуючого середовища для умов прокладки теплопроводу; β_L – коефіцієнт для врахування зміни витрат теплоносія для опалення найвіддаленішої на вітці будівлі під час її утеплення.

Оцінку зміни теплового стану трубопроводів опалювальної мережі групи будівель загалом можна виконати за формулою:

$$\frac{Q_1' + Q_2'}{Q_1 + Q_2} = \left(\frac{Q_1'}{Q_1} \right) \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} + \left(\frac{Q_2'}{Q_2} \right) \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}, \quad (3.50)$$

де Q_1 , Q_1' – втрати теплоти подавальними трубопроводами теплової мережі до утеплення будівель і після.

Для перевірки можливості використання наведених формул проведено аналіз теплових втрат наведеної на рисунку 3.19 мережі групи будівель у м. Харкові. Опалювальну мережу утворено двома вітками (0–4), (0–9) з розрахунковим тепловим навантаженням 1,44 і 2,88 МВт, відповідно. Співвідношення витрат теплоносія $G_{\text{мін}} / G_{\text{від}}$ для вітки (0–4) дорівнює 0,7, для вітки (0–9) – 0,6. Теплові втрати трубопроводами мережі обчислено для нормативних питомих втрат в умовах прокладання у

непрохідних каналах за температури ґрунту на глибині вісі теплопроводу $t_{OT} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Коефіцієнт для обліку теплових втрат конструктивними елементами мережі прийнято рівним $k = 1,15$. Обчислення проведено для кліматичних умов м. Харкова за середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря $t_3 = -2,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (відносне опалювальне навантаження дорівнює $\bar{Q}_0 = 0,49$). Розрахунковий режим для опалення характеризується такими значеннями: температура мережної води у подавальному трубопроводі теплових мереж $145 \text{ }^{\circ}\text{C}$, на виході з системи опалення будівель $\tau_{02,p} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Величину зменшення витрат теплоти на опалення групи будівель загалом отримано за умови, що значення коефіцієнта зменшення витрат тепла на опалення у разі підвищення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій однакове для всіх споруд і його мінімальне значення для окремої будівлі прийнято рівним $\mu = 0,6$. Порівняння результатів обчислень втрат теплоти трубопроводами фрагмента опалювальної мережі до і утеплення будівель проведено у таблиці 3.19, яке показало можливість використання запропонованих формул під час проведення попередніх оцінок теплового стану трубопроводів розподільних мереж систем централізованого опалення.

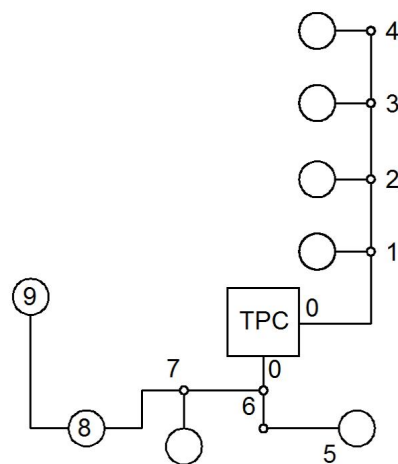


Рисунок 3.19 – Розрахункова схема теплопостачання будівель від ТРС

4/34:

ТРС – теплорозподільна станція ; 0...9 – розрахункові точки опалювальної мережі

Таблиця 3.19 – Результати обчислення зміни тепловтрат зворотними трубопроводами опалювальної мережі при утепленні будівель гілки (0–4)

Зменшення опалювального навантаження мікрорайону μ_m	Формула (3.49) P_1	Тепловий розрахунок за методикою [22] P_2	Відносна похибка, $\frac{P_1 - P_2}{P_2} \%$
0,9	0,97	0,98	-1,06
0,8	0,92	0,927	-1,08
0,7	0,86	0,87	-1,15
0,6	0,796	0,805	-1,15

Формули (3.46) – (3.49) дозволяють проводити оцінки за однакового значення коефіцієнта ефективності утеплення для всіх будівель групи, що приєднані до вітки мережі тепlopостачання. Таку ситуацію в умовах обмеженості фінансових і матеріальних ресурсів варто очікувати через деякий достатньо тривалий інтервал часу після початку виконання робіт з утеплення будівель мікрорайону. Ймовірніше, упродовж одного сезону теплоізоляційні роботи будуть проведені для декількох будівель з обраної групи. У роботах [33, 34] запропоновані формули, які дозволяють розробити спрощену методику оцінок зміни теплового стану опалювальної мережі при «фрагментарному» утепленні будівель мікрорайону. Методика передбачає розбивку вітки мережі на частини, у межах кожної з яких будівлі мають однаковий ступінь «утеплення» (рис. 3.20), і застосування для кожного з фрагментів вітки аналітичних рівнянь.

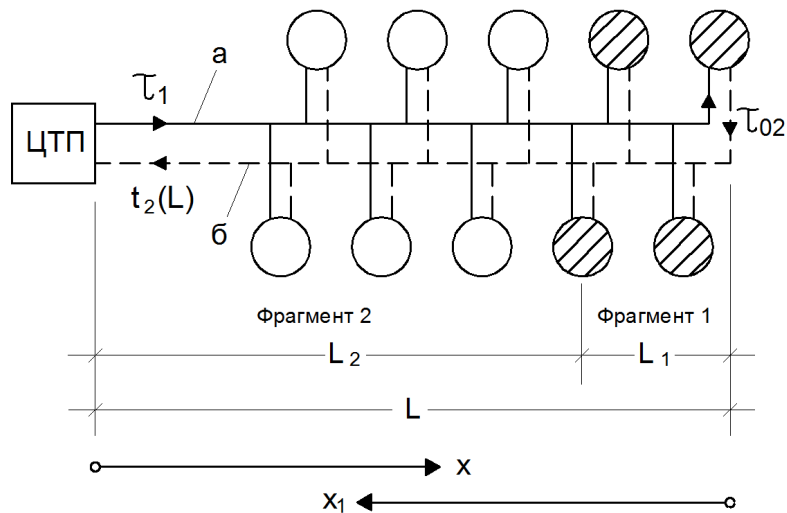


Рисунок 3.20 – До розрахунку зміни температури по довжині теплових мереж:

ЦТП – центральний тепловий пункт; а, б – подавальний та зворотний трубопроводи мережі; L_1 , L_2 – довжини фрагментів мережі з будівлями з різним ступенем ефективності утеплення будівель

При утепленні будівель тепловий стан подавальних трубопроводів мережі змінюється внаслідок зміни витрат теплоносія для опалення. Оскільки утеплення окремих будівель забудови спричиняє незначну зміну показників гідравлічного режиму мережі, для оцінки зменшення втрат теплоти подавальними теплопроводами системи опалення можна скористатися наведеними у таблиці 3.13 співвідношеннями. Для зворотних теплопроводів зміну теплового стану, яка обумовлена переважно зменшенням температури мережної води на виході з системи опалення утепленої споруди, можна оцінити за формулою:

$$\frac{Q'_2}{Q_2} = \frac{(\tau'_{2,cp} - t_{от})}{(\tau_{2,cp} - t_{от})}, \quad (3.51)$$

де Q'_2 , Q_2 – втрати теплоти теплопроводами зворотної лінії (позначення штрихом характеризує режим після утеплення будівель); $\tau'_{2,cp}$, $\tau_{2,cp}$ – середня температура теплоносія на довжині фрагмента мережі; $t_{от}$ – температура навколишнього середовища.

У роботі [34] для фрагмента зворотної лінії довжиною L_0 отримано формулу:

$$\frac{Q'_2}{Q_2} = \frac{2(\tau'_{02} - t_{от}) \left(1 + \frac{G_{min}}{G_{від}} \right) + 0,5(\tau'_{21} - \tau'_{02})}{2(\tau_{02} - t_{от}) \left(1 + \frac{G_{min}}{G_{від}} \right) + 0,5(\tau_{21} - \tau_{02})} = \frac{D'_1 + D'_2}{D_1 + D_2}, \quad (3.52)$$

де τ'_{02} , τ_{02} – температура на виході системи опалення найвіддаленішої від ЦТП будівлі; τ'_{21} , τ_{21} – температура теплоносія на вході у зворотній трубопровід з будівлі або відгалуження, віддаленого на відстань $x_l = L_0$ від початку координат (рис. 3.20); G_{min} , $G_{від}$ – відповідно, витрати теплоносія через систему опалення найвіддаленішої на вітці мережі будівлі та через відгалуження для режиму до утеплення будівель (штрихом позначено режим після утеплення будівель)

Аналіз структури формули (3.52) показує, що за очікуваного рівня параметрів теплоносія у зворотному трубопроводі складові D'_1 і D_1 , як мінімум на порядок більші за D'_2 і D_2 і точність використання формули (3.52) здебільшого визначається величинами D'_1 і D_1 . Тому максимальну відносну похибку обчислень за формулою (3.52) можна оцінити формулою:

$$\frac{\Delta\left(\frac{Q'}{Q}\right)}{\left(\frac{Q'}{Q}\right)} = \frac{4\Delta(G)/G}{\left(1 + \frac{G_{min}}{G_{від}}\right)} + 2\left[\frac{\Delta(t)}{(\tau'_{02} - t_{от})} + \frac{\Delta(t)}{(\tau_{02} - t_{от})}\right], \quad (3.53)$$

де Δ – абсолютна похибка визначення відповідної величини.

Обчислення за формулою (3.53), отриманою відповідно до рекомендацій [35], здійснено за умови, що відносна похибка визначення витрат теплоносія знаходиться на рівні 0,015, помилка визначення температури становить 0,5 °С, а різниця температур теплоносія у зворотній лінії й навколишнього середовища дорівнює 35 – 40 °С. Похибка за формулою (3.52) змінюється від значень приблизно 10 % (за малих величин співвідношення витрат на вітці) до 5,5 % за $(1 + G_{min}/G_{від})^{-1} \geq 10$.

Унаслідок незначної зміни втрат теплоти подавальними трубопроводами максимально можливу похибку визначення зміни втрат мережею загалом варто очікувати на рівні 5 %.

Можливість використання вказаних формул для мережі, до якої приєднані будівлі, що характеризуються різним ступенем ефективності утеплення (μ), розглянуто на прикладі наведених на рисунку 3.21 схем. Усі будівлі розглянутої групи мають однакове розрахункове опалювальне навантаження до утеплення, яке дорівнює 0,1 МВт, відстань між точками приєднання будівель до мережі також однакова і становить 70 м. Діаметри трубопроводів на ділянках визначені за умови, що лінійні втрати тиску не перевищують 90 Па/м. Питомі тепловтрати трубопроводами оцінені як нормативні [26] при прокладанні у непрохідних каналах, коефіцієнт обліку втрат теплоти конструктивними елементами мережі прийнятий рівним 1,15.

Температуру ґрунту на глибині вісі теплопроводів прийнято 5 °С. Обчислення здійснено для величин відносного опалювального навантаження $\bar{Q}_0 = 0,49$ і $\bar{Q}_0 = 1$. Перше значення характеризує режим за середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря для кліматичних умов м. Харкова (-2,1 °С). Друге значення відповідає розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря. Температуру теплоносія на вході до мережі з центрального теплового пункту прийнято, відповідно, 85 °С і 145 °С. Коефіцієнт зміни витрат води на опалення утеплених споруд обчислено за умови, що будівлі приєднано до теплових мереж за залежною схемою. Для кожної з наведених на рисунку 3.21 схем спочатку в результаті розрахунку за традиційною методикою визначено охолодження мережної води й втрати теплоти трубопроводами. Втрати теплоти трубопроводами відгалужень до будівель не враховано. Ці результати порівнювали з обчисленнями за спрощеною методикою. Результати порівняння подані у таблиці 3.20. Нумерацію схем у таблиці подано за рисунком 3.21.

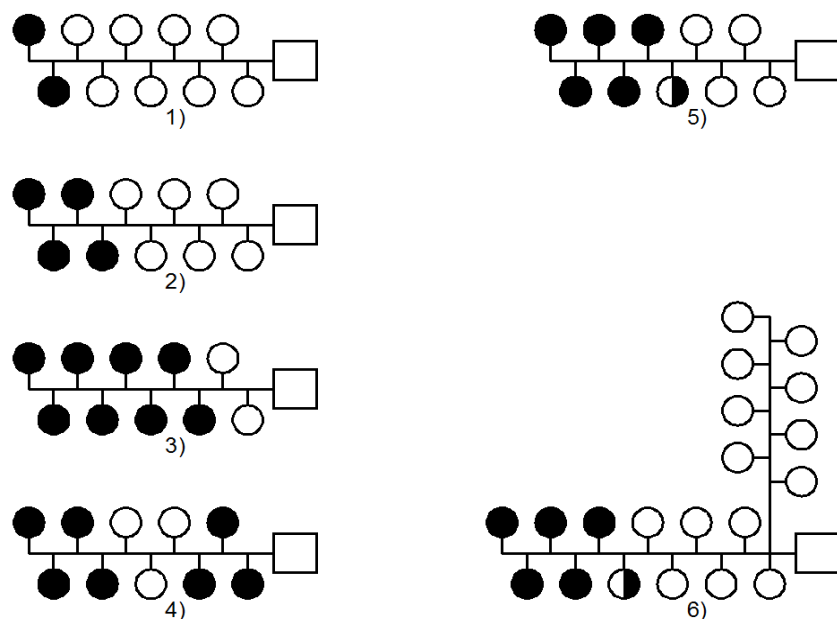


Рисунок 3.21 – Розрахункові схеми теплових мереж:

○ – неутеплені будівлі; ● – будівлі з ефективністю теплової ізоляції $\mu = 0,65$; ◐ – частково утеплені будівлі ($\mu = 0,75$);
 □ – центральний тепловий пункт

Таблиця 3.20 – Зіставлення результатів розрахунків

Схема	$\bar{Q}_0$	Загальне для групи будівель μ_f	Зниження втрат теплоти за традиційною методикою з використанням формул (3.46), (3.52), (3.50)			Відхилення результатів за спрощеною методикою від результатів за формулами (3.46), (3.52), (3.50), %		
			подавальна лінія	зворотна лінія	мережа загалом	подавальна лінія	зворотна лінія	мережа загалом
1	0,49	0,93	0,999	0,883	0,97	0,6	3,8	1
2	0,49	0,86	0,995	0,88	0,953	0,5	2,3	1,2
3	0,49	0,72	0,96	0,89	0,934	1,9	10,8	2,6
4	0,49	0,76	0,99	0,935	0,96	0,2	9,9	3,6
5	0,49	0,8	0,987	0,91	0,95	0,1	10,7	4,1
6	1	0,9	0,99	0,915	0,963	0,1	11,1	5

Як видно з наведених даних, максимальна похибка обчислень за формулою (3.52) для зворотного трубопроводу знаходиться на рівні 11 %, для опалювальної мережі загалом – 5 %, що дає можливість використання спрощеної методики для оцінок теплових втрат теплопроводами для попередніх оцінок ефективності варіантів утеплення будівель, приєднаних до загальної мережі.

3.5 Теоретичне обґрунтування методики визначення фактичних втрат теплоти у мікрорайонних мережах

Особливістю сформованих систем централізованого теплопостачання є розгалуженість і велика довжина внутрішньо мікрорайонних теплових мереж. Високий ступінь розгалуженості розподільних мереж обумовлений тим, що центральний тепловий пункт розміщують зазвичай у центрі теплових навантажень мікрорайону, що забезпечує мінімальну довжину розподільних трубопроводів від теплового пункту до будівель [36]. Велика сумарна довжина мікрорайонних теплових мереж пов'язана з прийнятою закритою схемою приготування гарячої води для господарсько-побутових потреб, яка обумовила наявність чотиритрубною мікрорайонною тепловою мережі (подавальний й зворотний трубопроводи системи опалення та подавальний й циркуляційний трубопроводи системи гарячого водопостачання). Незважаючи на те, що загальна довжина розподільних трубопроводів суттєво перевищує довжину магістральних теплопроводів, визначення фактичних теплових втрат у мережах кварталів і мікрорайонів зазвичай не проводять.

Для проведення натурних випробувань у мікрорайонних системах можна скористатися лічильниками теплової енергії, які останнім часом все активніше використовують для улаштування в індивідуальних теплових пунктах будівель. Існує велика кількість модифікацій таких приладів, але незважаючи на конструктивні особливості, більшість сучасних лічильників теплової енергії складається з таких блоків:

- теплообчислювач, який призначений для обліку спожитої теплової енергії та інших параметрів, що характеризують технологічні процеси теплоспоживання;

- два первинних перетворювача сигналів для вимірювання температури теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах водяної системи опалення житлових і громадських будинків, під'їздів житлових будинків або окремих помешкань при горизонтальних двотрубних і горизонтальних однотрубних системах опалення;
- первинний перетворювач сигналів для вимірювання витрати теплоносія (його встановлюють зазвичай у зворотному трубопроводі).

За результатами вимірювання вказаних величин для низки будівель, що приєднані до фрагмента мікрорайонної мережі, можна обчислити втрати теплоти трубопроводами обраного фрагмента теплопроводу. За умови, що обрана для випробувань ділянка теплопроводу між двома сусідніми спорудами, обладнаними тепловими лічильниками, не має відгалужень до інших будівель, що обумовлює незмінність витрат теплоносія, втрати теплоти трубопроводом ділянки можна обчислити за формулою:

$$Q_d = C \cdot G_d (t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}}), \quad (3.54)$$

де G_d – витрати теплоносія на ділянці; C – питома теплоємність теплоносія; $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вих}}$ – температура теплоносія на вході й виході ділянки (результати вимірювання температури теплоносія у подавальному трубопроводі на вводах до будівель).

У реальних умовах розгалужених теплових мереж для визначення теплових втрат на ділянці можна скористатися наведеними у попередніх підрозділах формулами для обчислення зміни температури теплоносія по довжині трубопроводу. Після перетворень отримано рівняння для обчислення середніх питомих втрат теплоти на ділянці розгалуженого теплопроводу довжиною L . Результати визначення фактичних втрат теплоти у теплових мережах зазвичай порівнюють із нормативними значеннями для конкретного способу прокладання й діаметра трубопроводів і прийнятої при нормуванні різниці температур теплоносія та навколишнього середовища. Наведені у таблиці 3.21 формули для втрат теплоти на ділянці розгалуженої мережі приведено до нормативних температурних умов.

Таблиця 3.21 – Формули для визначення питомих втрат теплоти подавальними трубопроводами розгалужених теплових мереж

Закон зміни витрат теплоносія	Питомі теплові втрати, Вт/м	Номер формули
$\bar{G} = 1 + ax_0$	$q = \frac{aB\Delta t_n(\tau_1 - \tau_k)}{(\ln 1+a)\left[\frac{\tau_1 + \tau_k}{2} - t_{\text{окр}}\right]}$	(3.55)
$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	$q = \frac{B\Delta t_n(\tau_1 - \tau_k)}{(1+b/3)\left[\frac{\tau_1 + \tau_k}{2} - t_{\text{окр}}\right]}$	(3.56)
$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	$q = \frac{B\Delta t_n(\tau_1 - \tau_k)}{(1+c/2)\left[\frac{\tau_1 + \tau_k}{2} - t_{\text{окр}}\right]}$	(3.57)

У формулах (3.55) – (3.57) τ_1 – температура теплоносія на вході до обраної ділянки теплової мережі; Δt_n – різниця температур теплоносія та навколишнього середовища, за якої здійснено нормування теплових втрат; τ_k – температура теплоносія на виході обраної ділянки теплової мережі; $B=CG_{\text{max}}/(k \cdot L)$; G_{max} – витрати теплоносія на вході до подавального трубопроводу вітки; C – питома теплоємність теплоносія; k – коефіцієнт обліку втрат теплоти конструктивними елементами теплопроводів.

Перевірку можливості використання наведених у таблиці 3.21 формул здійснено на прикладі ідеалізованих груп будівель, показаних на рисунку 3.22. До складу груп входять будівлі з однаковим опалювальним навантаженням, яке дорівнює 0,61 МВт. Витрати мережної води на розрахункових ділянках мережі обчислено за формулою (3.54). Діаметри трубопроводів на ділянках визначено з гідравлічного розрахунку за умови, що питомі втрати тиску на подолання сил тертя під час руху води знаходяться у діапазоні $40 \leq R \leq 80$ Па/м. Числові значення коефіцієнтів a , b , c у рівняннях зміни витрат води для прийнятих до розгляду варіантів виконання мережі знайдені за результатами апроксимації закону зміни витрат мережної води по довжині теплопроводу (рис. 3.23) за методом

найменших квадратів. При обчисленнях прийнято, що трубопроводи прокладено у непрохідних каналах, питомі втрати теплоти трубопроводами дорівнюють нормативним значенням, коефіцієнт для врахування теплових втрат конструктивними елементами мережі становить $k = 1,15$ [26]. Довжини розрахункових ділянок мережі для варіанта *а* прийнято однаковими $l_{1-2} = l_{2-3} = \dots = l_{10-11} = 100$ м. Довжини ділянок для варіантів *б* і *в* обчислено із умови однакової для всіх варіантів величини матеріальної характеристики мережі $M = \sum_{i=1}^n (l_i d_i) = 133,8 \text{ м}^2$ (l_i – довжина ділянки, d_i – діаметр, n – кількість розрахункових ділянок). Для варіанта *б* довжини розрахункових ділянок однакові й дорівнюють 207 м, для варіанта *в* довжини найближчих до теплорозподільної станції ділянок прийнято рівними 100 м, інших – по 552 м. Інші характеристики варіантів подано у таблиці 3.22.

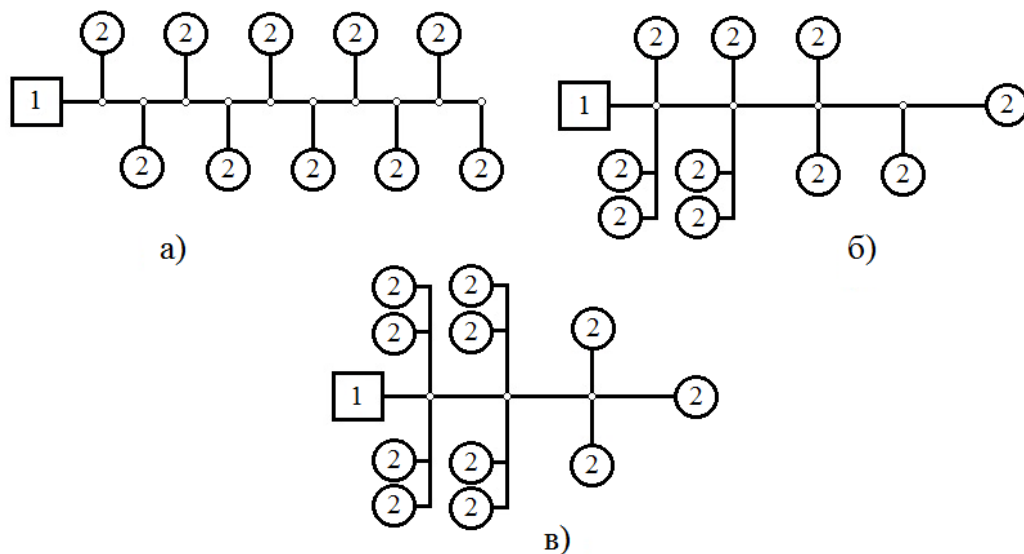


Рисунок 3.22 – Варіанти виконання теплової мережі:

1 – теплорозподільна станція; 2 – будівлі

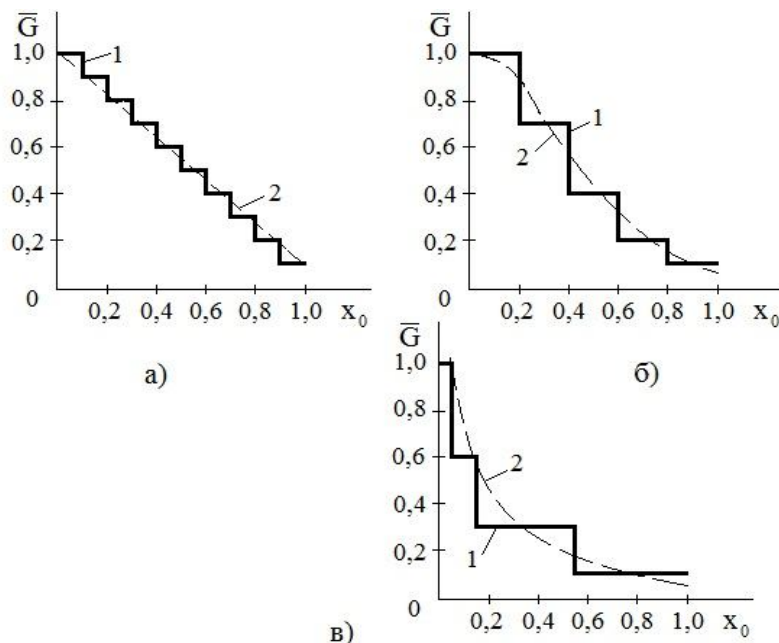


Рисунок 3.23 – Зміна витрат мережної води по довжині вітки:

а, б, в – номери варіантів виконання мережі (за рис. 3.22)

1 – реальний закон; 2 – прийнята апроксимація

Таблиця 3.22 – Характеристики варіантів

Показник	Варіант виконання мережі (рис. 3.22)		
	а	б	в
Прийнятий закон зміни витрат	$1-0,902x_0$	$(1+7,33x_0^2)^{-1}$	$(1+8,73x_0)^{-1}$
Середня похибка апроксимації витрат теплоносія, %	0,5	6,2	- 0,9
Загальна довжина вітки, м	1 000	1 035	1 304
Матеріальна характеристика мережі, м ²	133,8	133,8	133,8

За викладеною у розділі 3.1 методикою для кожного з варіантів виконання теплової мережі обчислено втрати теплоти подавальним трубопроводом для трьох характерних температурних режимів опалювальної мережі: за температурах зовнішнього повітря, близьких до розрахункового для опалення значення (температуру мережної води на вході до вітки прийнято рівною $\tau_l = 130$ °С; за середньої за опалювальний період температурі зовнішнього повітря ($\tau_l = 90$ °С) і температурі зовнішнього повітря у точці зламу температурного графіка теплової

мережі ($\tau_l = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для цих умов за нормативних питомих втрат теплоти через теплову ізоляцію трубопроводів було обчислено охолодження мережної води по довжині віток, які у подальшому були використані для визначення втрат теплоти за наведеними у таблиці 3.21 формулами. Прийняті для розрахунків середні по довжині теплові втрати і охолодження мережної води подано у таблиці 3.23. Там також наведені результати обчислень теплових втрат за формулами (3.55) – (3.57). Порівняння результатів свідчить, що запропоновані формули забезпечують достатню точність визначення теплових втрат (похибка не перевищує 4 %). Аналіз отриманих даних не дозволив виявити вплив температури мережної води на точність визначення втрат теплоти. Проте під час проведення натурних вимірювань в умовах функціонуючої системи теплопостачання, ймовірніше, перевагу матиме режим із меншими температурами зовнішнього повітря. У такому разі, унаслідок більш інтенсивного охолодження води, точність вимірювання зміни температури води по довжині досліджуваної вітки буде вище.

Таблиця 3.23 – Результати визначення питомих теплових втрат подавальним трубопроводом опалювальної мережі

Параметр	Температура води на вході до мережі, $^{\circ}\text{C}$	Варіант виконання мережі		
		<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Нормативні питомі теплові втрати для вихідного розрахунку (середні по довжині), Вт/м	130	69,25	67,7	60,45
	90	69,25	67,7	60,45
	77	69,25	67,7	60,45
Розрахункове охолодження води на вітці, $^{\circ}\text{C}$	130	4,127	5,523	9,614
	90	2,741	3,66	6,4
	77	2,417	3,23	5,63
Розрахункові питомі теплові втрати за формулами (3.55), (3.56), (3.57), Вт/м	130	71,66	69,55	62,8
	90	71,3	69,06	62,6
	77	71,62	69,5	62,7
Відносна похибка обчислень за формулами (3.55), (3.56), (3.57), %	130	3,47	2,73	3,9
	90	3,00	2,01	3,6
	77	3,42	2,71	3,8

Суттєво на точність експериментального визначення втрат теплоти трубопроводами теплової мережі впливає вибір довжини обраного для вимірювань фрагмента теплопроводу. Оцінки впливу параметрів дослідної ділянки можна здійснити на основі аналізу точності використання запропонованих формул. Беручи до уваги, що розподіл похибок підкоряється нормальному закону розподілу Гауса [37], отримано формули для визначення середньоквадратичних похибок (табл. 3.24).

Таблиця 3.24 – Формули для обчислення максимальної відносної похибки визначення теплових втрат

Теплові втрати	Відносна похибка	
	Формула	Величина, %
$q = \frac{aB\Delta t_n(\tau_1 - \tau_k)}{(\ln 1+a)\left[\frac{\tau_1 + \tau_k}{2} - t_{окр}\right]}$	$\frac{\Delta q}{q} = \left[\left(\frac{2\Delta\tau}{\tau_1 - \tau_k} \right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a \ln 1+a } \right)^2 + \left(\frac{\Delta\tau + \Delta t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right)^2 \right]^{0,5}$	14,0
$q = \frac{B\Delta t_n(\tau_1 - \tau_k)}{(1+b/3)\left[\frac{\tau_1 + \tau_k}{2} - t_{окр}\right]}$	$\frac{\Delta q}{q} = \left[\left(\frac{2\Delta\tau}{\tau_1 - \tau_k} \right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b(1+b/3)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta\tau + \Delta t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right)^2 \right]^{0,5}$	18,0
$q = \frac{B\Delta t_n(\tau_1 - \tau_k)}{(1+c/2)\left[\frac{\tau_1 + \tau_k}{2} - t_{окр}\right]}$	$\frac{\Delta q}{q} = \left[\left(\frac{2\Delta\tau}{\tau_1 - \tau_k} \right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c(1+c/2)} \right)^2 + \left(\frac{\Delta\tau + \Delta t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right)^2 \right]^{0,5}$	16,5

У наведених у таблиці 3.24 формулах Δ – абсолютна похибка величини. Абсолютну похибку вимірювання температури мережної води прийнято рівною 0,1 °С, орієнтовне значення охолодження води на ділянці мікрорайонної мережі прийнято 1,5 °С. Відносна похибка визначення довжини вітки і витрат теплоносія оцінено 0,01 і 0,04 відповідно.

Значення $\left(\frac{\Delta a}{a}\right)$, $\left(\frac{\Delta b}{b}\right)$, $\left(\frac{\Delta c}{c}\right)$ у наведених у таблиці 3.24 формулах характеризують точність апроксимації закону зміни витрат теплоносія. Їхнє значення прийнято згідно з даними таблиці 3.22. Результати обчислень показали, що максимальна похибка визначення витрат теплоти становить приблизно 14–18 %.

Мінімально можливу довжину дослідної ділянки можна визначити зі співвідношення (3.54):

$$\tau_1 - \tau_k = Q_d / (C \cdot G_{cp}), \quad (3.54, a)$$

де G_{cp} – середні витрати мережної води на досліджуваній ділянці.

Втрати теплоти на ділянці Q_d можна визначити з рівняння (3.2):

$$Q_d = \frac{q_n}{\Delta t_n} [0,5(\tau_1 + \tau_k) - t_0] Lk. \quad (3.2, a)$$

Оцінки точності визначення відносної похибки проведено для найбільш розповсюдженого способу прокладання розподільних теплових мереж (прокладання у непрохідних каналах) і середнього діаметра трубопроводів, який за даними роботи [3] для мікрорайонних мереж у м. Харкові становить приблизно 133 мм. Згідно з [25] нормативні втрати теплоти для ізольованого теплопроводу за різниці температур теплоносія та ґрунту на глибині прокладання трубопроводу $\Delta t_n = 85$ °С і становить $q_n = 67,5$ Вт/м. Середні витрати мережної води на довжині вітки визначено від її витрати на вході до вітки та характеру зміни витрат по довжині.

Таблиця 3.25 – Середні витрати теплоносія

Закон зміни витрат	Середні на вітці витрати	Числове значення для прийнятих до розгляду схем
$\bar{G} = 1 + ax_0$	$G_{cp} = 0,5(G_{max} + G_{min})$	$0,55 G_{max}$
$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	$G_{cp} = (G_{max} / \sqrt{b}) \arctg \sqrt{b}$	$0,42 G_{max}$
$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	$G_{cp} = G_{max} / (c \cdot \ln 1 + c)$	$0,296 G_{max}$

У таблиці 3.25 наведено формули для обчислення середніх витрат теплоносія, отримані інтегруванням рівнянь для відповідних законів зміни витрат. Максимальні витрати мережної води на ділянці опалювальної мережі обчислено за величиною максимального опалювального навантаження групи будівель. Мінімальні витрати води на ділянці обчислено за величиною теплового навантаження найвіддаленішого на вітці споживача. Тому що охолодження мережної води у трубопроводах мікрорайонної мережі знаходиться у межах декількох градусів, для оцінок за формулою (3.2, а) прийнято $\tau_l \approx \tau_k$. З урахуванням прийнятих припущень і беручи до уваги співвідношення (3.54, а), (3.2, а), мінімально можлива довжина ділянки для експериментального визначення середніх на ділянці витрат теплоти дорівнює:

$$l = \frac{C \cdot G_{\text{ср}} \Delta t_n (\tau_l - \tau_k)}{q_n (\tau_l - t_{\text{вих}}) k} \quad (3.58)$$

Обчислення за формулою (3.58) здійснено для трьох вказаних раніше характерних температурних режимів теплової мережі. Температуру води у подавальному трубопроводі мікрорайонної мережі для вказаних режимів прийнято тією саме, що й при отриманні наведених у таблиці 3.23 результатів. Для магістральних теплопроводів температуру мережної води у подавальному трубопроводі для вказаних режимів прийнято 150 °С, 105 °С, 77 °С відповідно. Максимальне теплове навантаження опалення будівель, що приєднані до вітки мікрорайонної мережі прийнято $Q_{o, \text{max}} = 5$ МВт (орієнтовна кількість мешканців – 2 000). Температуру на глибині прокладання теплопроводів прийнято $t_{OT} = 5$ °С. Результати обчислень подано у таблиці 3.26, з якої видно, що періоди опалювального сезону із зовнішніми температурами, близькими до розрахункового для опалення значення, мають перевагу під час вибору часу проведення випробувань. За цих температур довжина ділянок становить 240–450 м, що майже вдвічі менше потрібної довжини за температури зовнішнього повітря у точці зламу температурного графіка теплової мережі. Для магістральних теплопроводів з середнім діаметром приблизно 500 мм, величина охолодження води $(\tau_l - \tau_k) = 2,5$ °С, довжину ділянки для

проведення теплових випробувань необхідно приймати 1 240–2 300 м. Максимальні витрати мережної води орієнтовно були прийняті у 10 разів більшими за витрати у мікрорайонних мережах.

Таблиця 3.26 – Мінімальна довжина дослідної ділянки теплової мережі, м

Закон зміни витрат	Розподільна мережа за температури води, °C			Магістральні ділянки за температури води, °C		
	130	90	70	150	105	77
$\bar{G} = 1 + ax_0$	450	660	860	2 300	3 380	4 700
$\bar{G} = (1 + bx_0^2)^{-1}$	340	500	650	1 760	2 550	3 540
$\bar{G} = (1 + cx_0)^{-1}$	240	350	570	1 240	1 800	2 500

Запропоновані формули дозволяють визначати середні втрати теплоти на довжині вітки (або окремого фрагмента) розгалуженої мережі теплопостачання для подальшого їхнього порівняння з припустимими. Залежно від характеру зносу чи пошкодження теплової ізоляції, перевищення рівня нормативних теплових втрат може бути рівномірно розподілено по довжині досліджуваного фрагмента мережі або локалізовано на його окремих ділянках. Аналіз впливу місця локалізації наднормативних теплових втрат на точність визначення середніх по довжині величин втрат здійснено для наведених на рисунку 3.23 схем теплопостачання ідеалізованих груп будівель. Обчислення проведено для середньої за опалувальний період температури зовнішнього повітря (температуру води на вході до мікрорайонної мережі прийнято 90 °C). Нормативні теплові втрати прийняті за наведеними у роботі [26] величинами. Інші вихідні дані для проведення обчислень такі самі, що були прийняті для вже наведених результатів обчислень підрозділу. Попередньо для кожної з розглянутих схем з урахуванням фактичної зміни витрат мережної води по довжині теплопроводу обчислено охолодження води на ділянках і вітці загалом. Визначені у такий спосіб перепади температур ($\tau_l - \tau_k$) використано у подальшому для обчислення втрат

теплоти за формулами (3.55)–(3.57). Розрахунки здійснено за умови, що загальні теплові втрати на вітці перевищують нормативні на 10 %, 20 %, 30 %. Проведене співставлення результатів (табл. 3.27) свідчить про достатню «чутливість» методу до наявності рівномірно розподілених по довжині трубопроводу наднормативних теплових втрат. Максимальну розбіжність вихідних значень питомих втрат теплоти та обчислених за формулами (3.55)–(3.57), яка дорівнює приблизно 2,5 %, зафіксовано для схеми б.

Таблиця 3.27 – Результати визначення втрат теплоти за рівномірного розподілу перевищення наднормативних значень по довжині віток опалювальної мережі

Схема	Перевищення втрат понад норми (вихідне), %	Охолодження води на вітці, °C	Середні по довжині втрати теплоти, Вт/м		Перевищення втрат понад норми (розраховане), %
			нормативні	обчислені за формулами (3.23)– (3.25)	
а	0	2,74	69,25	70,5	1,8
	10	2,85		73,39	4,0
	20	3,29		84,61	22,2
	30	3,56		91,66	32,40
б	0	3,66	67,70	70,43	4,04
	10	4,03		77,48	14,45
	20	4,49		84,52	24,8
	30	4,76		91,56	35,2
в	0	6,4	60,45	60,6	0,25
	10	7,02		66,49	10
	20	7,66		72,5	20
	30	8,3		78,7	30,2

Оскільки у реальних умовах більш вірогідним є випадок локального погіршення стану теплопроводів (знос теплової ізоляції, дефекти каналів при каналних способах прокладання тощо), розглянуто варіанти, у яких перевищення нормативних втрат спостерігається або на початкових, або на кінцевих, або на центральних ділянках вітки. Загальне перевищення теплових втрат, як і у попередньому випадку, прийнято 10 %, 20 %, 30 %. Результати визначення втрат теплоти для вказаних випадків наведені на рисунку 3.24, з якого видно, що місце локалізації підвищених теплових втрат суттєво впливає на результат визначення середніх на довжині досліджуваної ділянки значень. Підвищений рівень втрат на кінцевих ділянках вітки, для яких характерні менші значення витрат теплоносія, обумовлює більш інтенсивне його охолодження і, як наслідок, завищення результатів обчислень з використанням формул (3.55)–(3.57). При підвищених втратах теплоти на ділянках з більшими витратами теплоносія (початкові ділянки) варто очікувати заниження результатів обчислень. Відмінність визначення середніх по довжині теплопроводу втрат теплоти становить 20–30 %. До того ж, як видно з наведених даних, на похибку обчислень у разі використання запропонованих формул помітно впливає характер зміни витрат мережної води вздовж вітки, який визначається конфігурацією мережі, та точність апроксимації реального закону зміни витрат.

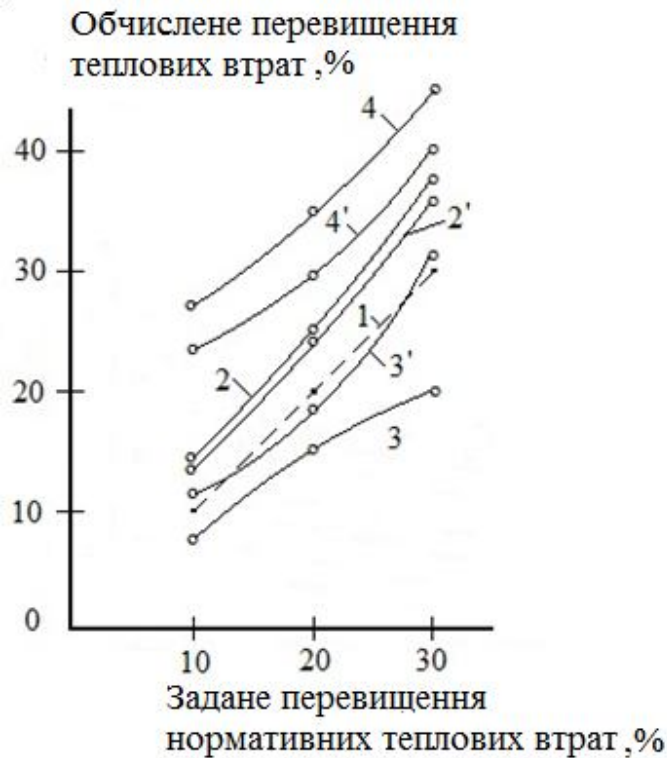


Рисунок 3.24 – Результати визначення теплових втрат трубопроводами опалювальної мережі (розрахункова схема в):

- 1 – результати обчислень з урахуванням фактичного розподілу витрат і температури теплоносія по довжині вітки; 2, 2' – рівномірний розподіл наднормативних втрат по довжині; 3, 3' – локалізація втрат на початкових ділянках вітки; 4, 4' – локалізація втрат на кінцевих ділянках вітки;
 1, 2, 3 – результати обчислень без розділення вітки на фрагменти;
 2', 3', 4' – результати обчислень при розділенні вітки на два фрагменти

Досягти підвищення точності визначення питомих втрат теплоти на ділянці можливо завдяки поділу досліджуваної ділянки на декілька фрагментів, наприклад на два. Під час вибору довжини частин ділянки необхідно враховувати попередні висновки щодо мінімально можливої довжини теплопроводу під час проведення випробувань. Вимірювання температури здійснюють у кінцевих точках обраного фрагмента вітки мережі. Якщо початковою точкою досліджуваного фрагмента є точка входу до вітки, а кінцевою є точка, що віддалена від входу до теплопроводу на відстань L_1 (виміряна температура теплоносія у означеній

точці дорівнює t_b), для визначення середніх на довжині L_l втрат теплоти можна скористатися запропонованими у роботі [38] рівняннями (табл. 3.28). Якщо досліджувана ділянка подавального теплопроводу розпочинається всередині вітки, для визначення теплових втрат необхідно використати формули, наведені у таблиці 3.29.

Таблиця 3.28 – Формули для визначення питомих втрат теплоти трубопроводами фрагмента вітки $0 \leq x_0 \leq L_l / L$

Варіант виконання мережі (рис. 3.21)	Формула	Номер формули
<i>a</i>	$q_1 = \left(\frac{aA_3}{L} \right) \ln \left(\frac{t_b - t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right) / \left(1 - \frac{aL_1}{L} \right),$ $A_3 = (G_0 G_1 \Delta t_h) / \beta$	(3.59)
<i>б</i>	$q_1 = -A_3 \ln \left(\frac{t_b - t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right) / \left[L_1 \left(1 + 0,33b \left(\frac{L_1}{L} \right)^2 \right) \right]$	(3.60)
<i>в</i>	$q_1 = -A_3 \ln \left(\frac{t_b - t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right) / \left[L_1 \left(1 + 0,5c \frac{L_1}{L} \right) \right]$	(3.61)

Таблиця 3.29 – Формули для визначення питомих втрат теплоти трубопроводами фрагмента вітки $L_l / L \leq x_0 \leq 1$

Схема	Формула	Номер формули
<i>a</i>	$q_1 = \left(\frac{aA_3}{L} \right) \ln \left(\frac{t_b - t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right) / \ln \left(\frac{1 - a}{1 - aL_1/L} \right)$	(3.62)
<i>б</i>	$q_1 = -A_3 \ln \left(\frac{t_b - t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right) / \left[L_1 \left(1 + 0,33b \left(\frac{L_1}{L} \right)^2 \right) - L(1 + 0,33b) \right]$	(3.63)
<i>в</i>	$q_1 = -A_3 \ln \left(\frac{t_b - t_{от}}{\tau_1 - t_{от}} \right) / \left[L_1 \left(1 + 0,5c \frac{L_1}{L} \right) - L(1 + 0,5c) \right]$	(3.64)

У поданих у таблиці 3.28, 3.29 формулах G_0 – витрати теплоносія на вході до вітки; C – питома теплоємність теплоносія; Δt_n – прийнята при визначенні нормативних втрат теплоти трубопроводами різниця температур теплоносія й навколишнього середовища; β – коефіцієнт для врахування зменшення витрат теплоносія для опалення за можливого утеплення будівель; a, b, c – коефіцієнти пропорційності у рівняннях (3.36)–(3.38); L – загальна довжина вітки.

Результати обчислень за формулами (3.59)–(3.64) наведено на рисунку 3.23. Поділ вітки на дві розрахункові частини дозволив помітно зменшити відмінність між розрахунковими даними та точним рішенням (лінія 1). Для інших варіантів виконання теплової мережі отримано якісно схожі результати.

Найкращими умовами для проведення теплових випробувань мереж є такі кліматичні і режимні умови, за яких варто очікувати найменшу похибку визначення теплових втрат. Згідно з формулами (3.55)–(3.57) основним параметром, який визначає величину теплових втрат, є різниця температур теплоносія й навколишнього середовища. Регулювання теплового навантаження житлових і громадських будівель здійснюють зазвичай за законами якісного регулювання, змінюючи температуру теплоносія в теплових мережах згідно зі зміною температури зовнішнього повітря. Температуру теплоносія на вході опалювального приладу визначають залежно від розрахункової температури повітря у приміщенні t_b і відносного опалювального навантаження будівлі $\bar{Q}_0$ за поточної температури зовнішнього повітря $t_{зов}$ за формулою [20]:

$$\tau_3 = t_b + \Delta \tau_0^p \bar{Q}_0^{0,8} + 0,5\theta_p \bar{Q}_0, \quad (3.65)$$

$$\bar{Q}_0 = \frac{t_b - t_{зов}}{t_b - t_{p.o}},$$

де $\Delta \tau_0^p$ – розрахункова різниця середньої температури теплоносія в опалювальному приладі й повітря у приміщенні; $t_{p.o}$ – розрахункова для

опалення температура зовнішнього повітря для конкретної місцевості;
 θ_p – розрахункове охолодження теплоносія в опалювальному приладі.

За підземних способів прокладання теплових мереж як розрахункову температуру навколишнього середовища використовують температуру ґрунту на глибині вісі теплопроводу. Для обчислення розподілу температури за глибиною шару ґрунту використано наведені у роботі [39] результати розв’язання диференційного рівняння нестационарної теплопровідності в одновимірній постановці, у припущенні однорідності масиву ґрунту. Зміну температури на різних глибинах упродовж року для кліматичних умов м. Харкова показано на рисунку 3.25. Там само наведено графік річного змінення температури зовнішнього повітря, побудований за даними [27]. Як видно з графіків, амплітуда зміни температури ґрунту залежить від глибини, максимуми температур зміщені відносно часу спостереження максимумів температури зовнішнього повітря, що обумовлює зміну різниці температур теплоносія і ґрунту впродовж опалювального періоду, яку показано на рисунку 3.26. Температуру ґрунту прийнято на глибині 1,5 м, що відповідає глибині підземного прокладання теплопроводів. Температуру мережної води прийнято за температурним графіком однієї з районних опалювальних котелень м. Харкова (дод. II). Результати обчислення похибки визначення теплових втрат подавальними й зворотними трубопроводами опалювальної мережі для різних місяців опалювального періоду подано у таблиці 3.30. Як свідчать наведені у таблиці 3.30 результати, температура ґрунту практично не впливає на точність визначення втрат теплоти трубопроводами, тому для проведення теплових випробувань можна обирати будь-який зручний час опалювального періоду. Відмінність мінімальної (для місяця лютого) і максимальної (для квітня) похибки знаходиться на рівні 1 %.

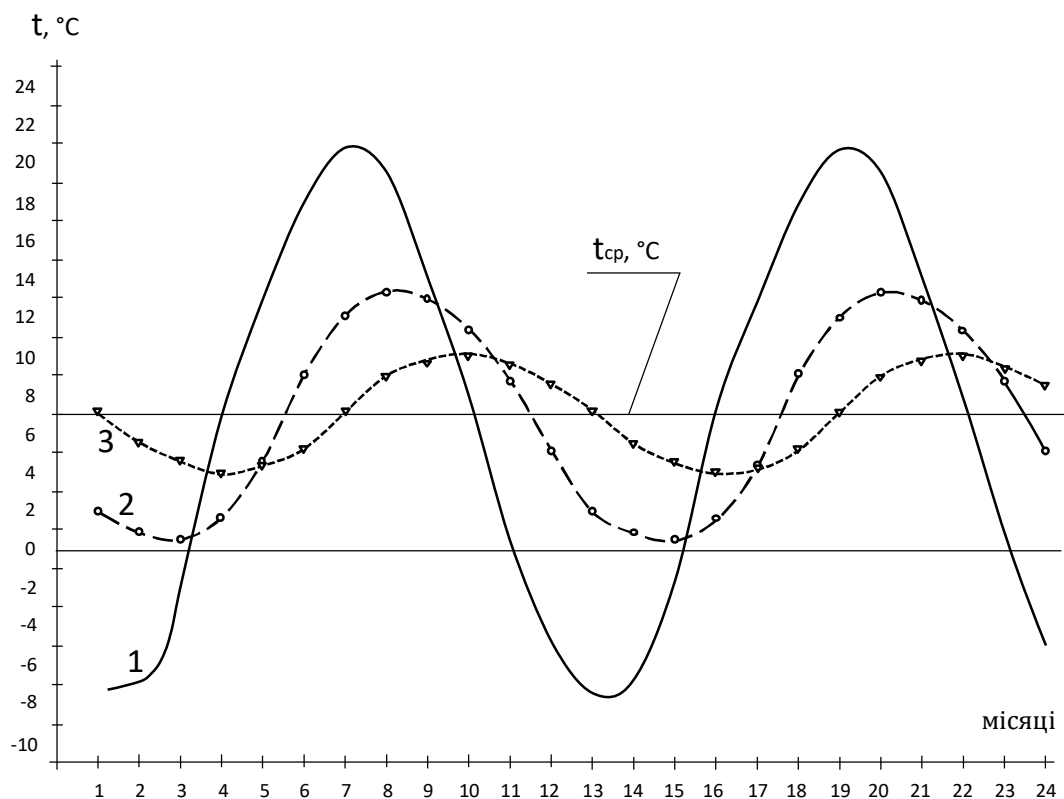


Рисунок 3.25 – Зміна температури повітря і температури ґрунту на різних глибинах (за даними [39]):

1 – температура повітря; 2 – температури ґрунту на глибині 1 м;
3 – температури ґрунту на глибині 2 м

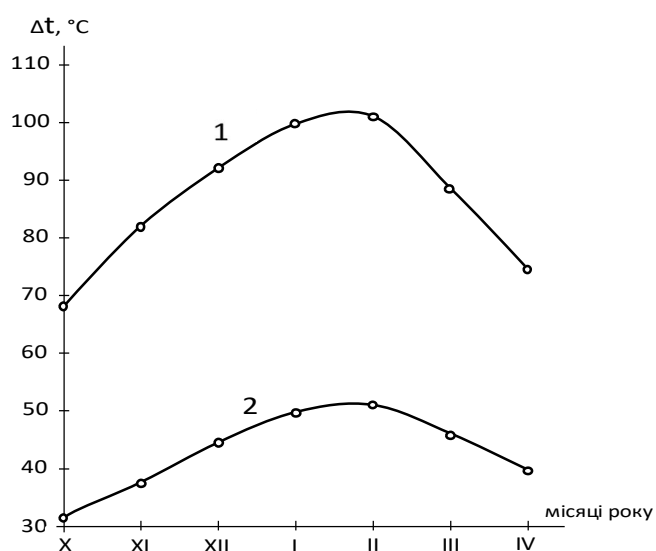


Рисунок 3.26 – Зміна різниці температур мережної води і ґрунту за опалювальний сезон:

1 – подавальний трубопровід теплових мереж;
2 – зворотний трубопровід теплових мереж

Таблиця 3.30 – Результати обчислення максимальної відносної похибки визначення теплових втрат ($\Delta q/q$) трубопроводами

Величина	Місяці опалювального періоду						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
Середня температура зовнішнього повітря, $t_{\text{зов}}, ^\circ\text{C}$	7,1	0,3	-4,8	-7,3	-6,9	-1,7	7,7
$\overline{Q}_0$	0,266	0,432	0,556	0,617	0,607	0,481	0,251
Температура води у подавальному трубопроводі, $^\circ\text{C}$	53,68	66,33	75,28	79,54	78,85	69,89	52,48
Температура води у зворотному трубопроводі, $^\circ\text{C}$	37,02	45,54	51,28	54,12	53,68	47,88	36,21
$(\Delta q/q), \%$: –подавальний трубопровід; –зворотний трубопровід.	14,66 14,95	14,55 14,7	14,5 14,65	14,47 14,6	14,46 14,64	14,5 14,64	14,6 14,8

3.6 Вплив утеплення будівель на показники роботи мікрорайонної підігрівної установки гарячого водопостачання

Зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище через огорожувальні конструкції «утеплених» споруд обумовлює зниження не тільки рівня теплоспоживання будівлями, але й витрат нагрівного теплоносія і, як наслідок, витрат, що пов'язані з його транспортуванням (потужність насоса для водяних теплових мереж, витрати електроенергії, металоємність трубопроводів внаслідок переходу на менші діаметри тощо). Зміну вартості вказаних показників ефективності роботи системи теплозабезпечення необхідно враховувати під час визначення загального економічного ефекту впровадження додаткової теплової ізоляції будинків.

Приведення теплового навантаження утепленої споруди, що знаходиться в експлуатації, до «нового», зниженого рівня доцільно здійснити зменшенням температури теплоносія в системі опалення зміною

коефіцієнта змішування при залежних схемах приєднання системи опалення будівлі або зменшення витрат теплоносія через опалювальний теплообмінний апарат за незалежного приєднання. При зв'язаній подачі теплоти, яка реалізується застосуванням двоступінчастих схем приєднання теплообмінних апаратів гарячого водопостачання, зменшення температури на виході опалювальних комплексів будівель мікрорайону, а отже і температури нагрівного теплоносія на вході першого ступеня водопідігрівної установки, обумовлює зниження теплової продуктивності теплообмінних апаратів першого ступеня. За умови забезпечення якості гарячого водопостачання це спричиняє необхідність підвищення теплової продуктивності підігрівників другого ступеня. А це можливо тільки у разі збільшення витрат нагрівного теплоносія через теплообмінні апарати, що зменшує ефект економії витрат мережної води, обумовлений утепленням будівель. Крім того, вибір схеми приєднання теплообмінних апаратів до теплових мереж, за якої забезпечуються оптимальні умови роботи підігрівної установки гарячого водопостачання, визначається співвідношенням максимальних теплових навантажень гарячого водопостачання й опалення ($\rho_{max} = Q_{h.max}/Q_{o.max}$). Тому зміна розрахункового опалювального навантаження за додаткового утеплення будівель в умовах двоступінчастих схем приєднання теплообмінників гарячого водопостачання може призводити до відхилення умов роботи від оптимальних і зниження техніко-економічних показників роботи установки. Перехід на схему приєднання теплообмінників, яка б відповідала новому значенню співвідношення теплових навантажень гарячого водопостачання і опалення, дозволила б уникнути втрат. Проте в умовах централізованого гарячого водопостачання будівель мікрорайону реконструкція водопідігрівної установки, що обслуговує групу будівель, імовірно доцільна після завершення достатньо тривалого процесу утеплення більшості будівель цієї групи. Зниження ефекту додаткового теплозахисту зовнішніх огорожень будинків за такий період необхідно враховувати під час проведення оцінок економічної ефективності енергоощадних заходів.

Визначити зміну режимних показників теплообмінних апаратів гарячого водопостачання за двоступінчастої змішаної схеми приєднання до теплових мереж (рис. 3.27) можна, розв'язавши систему рівнянь, до складу якої входять рівняння теплової продуктивності першого (3.66) і другого (3.67) ступенів установки і рівняння змішування потоків теплоносія перед входом на перший ступінь (3.68).

$$Q_1 = W_h(t_h^I - t_x) = (W_0 + W_2)(t_1 - t_2^I) = \varepsilon_1 W_{1.M}(t_1 - t_x), \quad (3.66)$$

$$Q_2 = W_h(t_r - t_h^I) = W_2(\tau_1 - t_2^{II}) = \varepsilon_2 W_{2.M}(\tau_1 - t_h^I), \quad (3.67)$$

$$(W_0 + W_2)t_1 = W_0\tau_7 + W_2t_2^{II}, \quad (3.68)$$

де W_h , W_0 , W_2 – теплові еквіваленти витрат водопровідної води, теплоносія на опалення будівель і мережної води через другий ступінь установки, відповідно; t_x , t_r – температура холодної і гарячої води; t_h^I – температура нагрівання водопровідної води на першому ступені; τ_1 – температура теплоносія у подавальному трубопроводі теплової мережі; t_2^I , t_2^{II} – температура мережної води після першого та другого ступенів підігрівної установки; τ_7 – температура теплоносія на виході зі зворотного трубопроводу мікрорайонної мережі опалення до центрального теплового пункту; ε_1 , ε_2 – безрозмірна питома тепла продуктивність теплообмінників відповідних ступенів підігрівної установки; $W_{1.M}$, $W_{2.M}$ – менше зі значень теплового еквівалента витрат середовищ на відповідному ступеню.

Питоме безрозмірне теплове навантаження теплообмінного апарата (ε) є відношенням теплової продуктивності цього апарата до теплової продуктивності апарата з безкінечно великою поверхнею нагріву за однакових умов на вході в апарат. При протиточному русі середовищ у водоводяних теплообмінниках для обчислення питомого безрозмірного теплового навантаження можна скористатися формулою [40]:

$$\varepsilon = \left(0,35 \frac{W_M}{W_6} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_M}{W_6}} \right)^{-1}, \quad (3.69)$$

де W_m , W_6 – менший та більший еквіваленти витрат речовин в апараті;
 Φ – параметр теплообмінника.

Параметр Φ для теплообмінника обчислюють за характеристиками розрахункового для апарату режиму за формулою (3.70) і є величиною практично сталою у широкому діапазоні зміни теплових еквівалентів витрат речовин.

$$\Phi = K_p F_p / \sqrt{W_m^p \cdot W_6^p}, \quad (3.70)$$

де K_p , F_p – коефіцієнт теплопередачі для розрахункового режиму та площа поверхні теплообміну апарату; W_m^p, W_6^p – теплові еквіваленти витрат речовин у розрахунковому режимі.

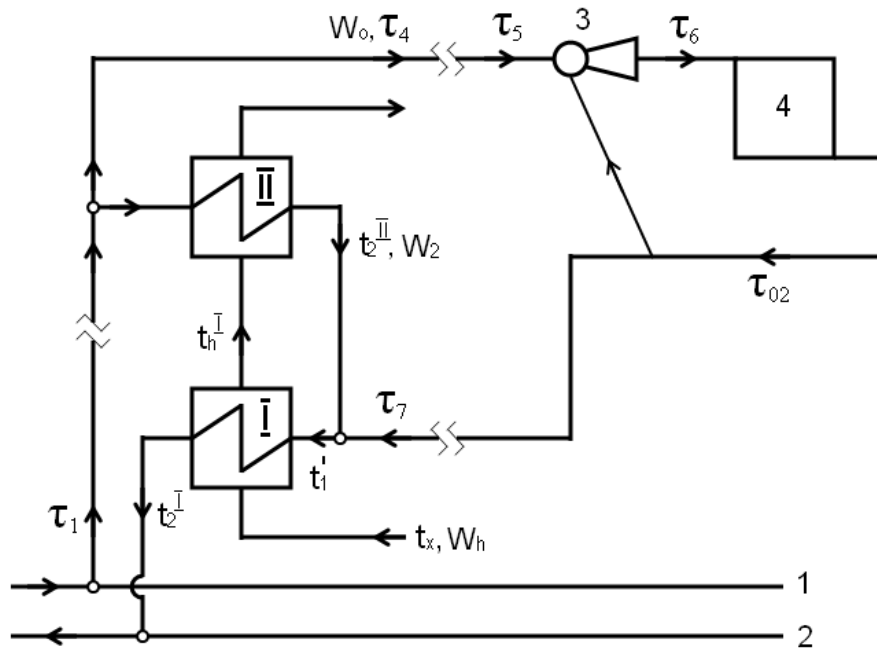


Рисунок 3.27 – Розрахункова схема водопідігрівної установки з двоступінчастим змішаним приєднанням теплообмінників до теплових мереж:

- 1, 2 – подавальний і зворотний трубопроводи теплових мереж;
- 3 – водоструминний елеватор; 4 – система опалення;
- I, II – ступені підігрівної установки

Температуру теплоносія на виході з опалювального комплексу будівлі визначають залежно від способу його приєднання до теплових мереж. Розв’язання наведеної системи рівнянь для умов залежного

приєднання системи опалення споруди наведено у [29]. Останнім часом під час проєктування опалювальних комплексів будівель усе частіше використовують незалежну схему приєднання до теплових мереж зі встановленням теплообмінних апаратів. Тепловий баланс опалювального теплообмінника, що встановлений на індивідуальному тепловому пункті утепленої будівлі, можна записати у вигляді:

$$Q_{\text{он}} = \bar{Q} \cdot Q_{\text{ор}} \cdot \mu = W_c (\tau_1 - \tau_7) = \varepsilon_0 W_M (\tau_1 - \tau_{02\text{н}}), \quad (3.71)$$

де $\bar{Q} = (t_{\text{в}} - t_3) / (t_{\text{в}} - t_{\text{р.о}})$ – відносне опалювальне навантаження; $t_{\text{в}}$ – температура повітря у приміщенні; t_3 , $t_{\text{р.о}}$ – відповідно поточна й розрахункова для опалення температура зовнішнього повітря; $Q_{\text{р.о}}$ – розрахункові витрати теплоти на опалення до утеплення будівель; ε_0 – питома тепла продуктивність опалювального теплообмінника; W_M – менший з еквівалентів речовин через опалювальний теплообмінний апарат; μ – коефіцієнт, що враховує ефективність додаткової теплоізоляції будівель; $\tau_{02\text{н}}$ – температура мережної води на виході системи опалення будівлі; τ_7 – температура води із розподільних теплових мереж на виході теплообмінного апарата.

Співвідношення для обчислення температури мережної води у системі опалення утепленої будівлі наведені у розділі 2. Температуру нагрівного середовища на виході з теплообмінного апарата рекомендовано [40] приймати на 5–10 °С вищою за температуру води у зворотному трубопроводі системи опалення за розрахункової температури зовнішнього повітря $t_{\text{р.о}}$.

Розв'язання наведеної системи рівнянь здійснене відносно величини безрозмірних витрат теплоносія через другий ступінь підігрівної установки гарячого водопостачання ($\bar{W}_2 = W_2 / W_{\text{о.р}}$; $W_{\text{о.р}}$ – тепловий еквівалент витрат мережної води на опалення за розрахункової температури зовнішнього повітря). Оскільки рішення у загальному вигляді достатньо громіздкі, є доцільним виділити окремі рішення залежно від співвідношення теплових еквівалентів витрат середовищ на кожному зі ступенів водопідігрівної установки. Найбільш вірогідними співвідношеннями витрат середовищу

теплообмінних апаратах для двоступінчастої змішаної схеми приєднання є такі: $W_{1M} = W_h$, $W_{2M} = W_2$. Рівняння для вказаного та інших випадків подано у таблиці 3.28. У наведених у таблиці формулах прийняті такі позначення: $\gamma = W_h / W_{o.p} = \rho \cdot \Delta \tau_c^p / \Delta t_r$; $\rho = Q_h / Q_{o.p}$ – співвідношення теплових навантажень гарячого водопостачання і опалення; $\Delta t_r = t_r - t_x$; t_r, t_x – температури гарячої і водопровідної води.

При використанні наведених у таблиці 3.28 формул у процесі обчислення питомої безрозмірної теплової продуктивності теплообмінників виникає необхідність попередньо прийняти значення витрат мережної води через теплообмінні апарати другого ступеня з подальшим їхнім уточненням. Ітераційний цикл уточнень можна вважати закінченим, якщо відмінність прийнятих й обчислених витрат W_2 не перевищує задану величину. Як показали результати тестових обчислень, для забезпечення точності визначення витрат W_2 на рівні 3–5 % необхідно від 2 до 5 ітерацій.

За відомої величини витрат нагрівного теплоносія через теплообмінники другого ступеня основні показники роботи водопідігрівної установки (ВПУ) можна обчислити за наведеними у таблиці 3.29 формулами.

Порядок визначення витрат нагрівної води через опалювальний теплообмінник можна сформулювати так. Приймавши у першому наближенні витрати нагрівної (мережної) води W_c , обчислюють питому теплову продуктивність опалювального теплообмінника. Зі співвідношення (3.71) визначають менший з еквівалентів витрат речовин у теплообмінному апараті. Для опалювальних теплообмінних апаратів більш вірогідним є режим, за якого меншими витратами середовищ є витрати нагрівного теплоносія з теплових мереж.

$$W_{MB} = \frac{W_M}{W_{o.p}} = \frac{\mu Q_p Q_{ob}}{\varepsilon_0 (\tau_1 - \tau_{02H})} = W_{cb}. \quad (3.71, a)$$

Якщо розбіжність результату обчислень за формулою (3.71, а) і прийнятої у першому наближенні величини W_{cb} перевищує потрібну величину, потрібно виконати таке уточнення. Зазвичай, 2–3 ітерації

достатньо для забезпечення необхідної для інженерної практики точності обчислень.

Таблиця 3.28 – Розрахункові формули для обчислення витрат теплоносія через другий ступінь водопідігрівної установки

Умови	Формула	Номер
$W_{1M} = W_h$ $W_{2M} = W_h$	$\overline{W}_2 = \overline{W}_c \frac{(t_r - t_x) - \varepsilon_2(\tau_1 - t_x) - \varepsilon_1[(1 - \varepsilon_2)\tau_7 - t_x]}{\varepsilon_1 \varepsilon_2 [\gamma(\tau_1 - t_r) - t_x]}$	(3.72)
$W_{1M} = W_h$ $W_{2M} = W_2$	$a_1 \overline{W}_2^2 + b_1 \overline{W}_2 + c_1 = 0:$ $a_1 = \varepsilon_1(1 - \varepsilon_1)(\tau_1 - t_x);$ $b_1 = \gamma[\varepsilon_1(\tau_1 - t_x) - \varepsilon_1 \varepsilon_2(\tau_1 - t_r) - (t_r - t_x)] +$ $+ \varepsilon_2 \overline{W}_c [(\tau_1 - t_x) - \varepsilon_1(\tau_7 - t_x)];$ $c_1 = \gamma \overline{W}_c [\varepsilon_1(\tau_7 - t_x) - (t_r - t_x)].$	(3.73)
$W_{1M} = W_c + W_2$ $W_{2M} = W_h$	$a_2 \overline{W}_2^2 + b_2 \overline{W}_2 + c_2 = 0:$ $a_2 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 (\tau_1 - t_x);$ $b_2 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 [\overline{W}_c(\tau_7 - t_x) + \gamma(\tau_1 - t_r) - \gamma(\tau_1 - t_x)(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)];$ $c_2 = \gamma^2(t_r - t_x) - \varepsilon_1 \gamma \overline{W}_c(\tau_7 - t_x).$	(3.74)
$W_{1M} = W_c + W_2$ $W_{2M} = W_2$	$\overline{W}_2 = -W_{cb} \frac{\tau_7 - t_x}{\tau_1 - t_x} + \gamma \frac{t_r(1 - \varepsilon_1 \varepsilon_2) - \tau_1 \varepsilon_2(1 - \varepsilon_1) - (1 - \varepsilon_2)t_x}{(1 - \varepsilon_2)\varepsilon_1(\tau_1 - t_x)}$	(3.75)

Обчислення показників роботи підігрівної установки гарячого водопостачання здійснено для трьох характерних температурних режимів теплової мережі: за розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря ($t_3 = -23$ °C), за середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря ($t_3 = -2,1$ °C) і за температури у точці зламу температурного графіка теплових мереж ($t_3 = 3,5$ °C). Як вихідні дані прийнято кліматичні умови м. Харкова [27]. Температурний графік теплових мереж подано у таблиці 3.30. Температуру повітря в опалюваних приміщеннях прийнято рівною 18 °C. Максимальні витрати теплоти на опалення будівель житлової групи до їхнього утеплення дорівнюють 10 МВт, максимальні витрати теплоти для потреб гарячого водопостачання – 7 МВт. Для приєднання опалювальних комплексів

будівель на індивідуальних теплових пунктах застосовано незалежну схему приєднання. Конструктивний параметр опалювального теплообмінника дорівнює $\Phi_0 = 1,7$. Схема приєднання встановлених на центральному тепловому пункті підігрівників гарячої води – двоступінчаста змішана. Температуру холодної води прийнято рівною $t_x = 5$ °С, розрахункову температуру гарячої води на виході з першого ступеня підігрівної установки – $t_h^I = 35$ °С, на виході другого ступеня – $t_r = 60$ °С. Конструктивний параметр теплообмінного апарата першого ступеня становить $\Phi_1 = 1,68$, другого – $\Phi_2 = 2,62$.

Таблиця 3.29. – Формули для визначення режимних показників підігрівної установки гарячого водопостачання

Величина	Формула	Номер
Температура нагріву води на першому ступені, t_h^I	$\frac{t_x \left(1 - \varepsilon_2 \frac{W_{1M}}{W_h}\right) + \varepsilon_1 \frac{W_{1M}}{W_c + W_2} \left[\frac{W_c \tau_7 + W_2 \tau_1}{W_h} - t_r \right]}{\left[1 - \varepsilon_1 \frac{W_{1M}}{W_c + W_2}\right]}$	(3.76)
Теплова продуктивність першого ступеня, Q_1	$W_h (t_h^I - t_x)$	(3.77)
Теплова продуктивність другого ступеня, Q_2	$Q_h - Q_1 \text{ (} Q_h \text{ – витрати теплоти на гаряче водопостачання)}$	(3.78)
Температура теплоносія після другого ступеня, t_2^{II}	$\tau_1 - Q_2 / W_2$	(3.79)
Температура теплоносія перед першим ступенем, τ_8	$(W_2 t_2^{II} + W_c \tau_7) / (W_2 + W_c)$	(3.80)
Температура теплоносія після першого ступеня, t_2^I	$\tau_8 - Q_1 / (W_2 + W_c)$	(3.81)

Таблиця 3.30 – Графік температур водяних теплових мереж

Температура зовнішнього повітря, °C	-23	-20	-15	-10	-2,1	0	+3,5
Відносне опалювальне навантаження	1,0	0,927	0,805	0,683	0,560	0,439	0,35
Температура у подавальній лінії, °C	150	141,3	126,6	111,6	96,4	81,02	77
Температура у зворотній лінії, °C	70	67,1	66,16	57	51,6	45,9	42

При обчисленнях параметрів підігрівників гарячої води з урахуванням утеплення будівель було прийнято, що заходи з енергозбереження проведено для всіх споруд забудови з однаковою ефективністю. У розглянутих варіантах коефіцієнт зменшення витрат теплоти для потреб опалення (μ) становить 0,9; 0,8; 0,7; 0,6. Температуру мережної води у подавальному трубопроводі теплових мереж прийнято згідно з температурним графіком, однаковою при всіх значеннях коефіцієнта ефективності μ . Вплив охолодження води у трубопроводах теплових мереж не враховано.

Результати визначення режимних показників підігрівної установки гарячого водопостачання подано на рисунках 3.28–3.30. Для вказаного раніше способу зменшення подачі теплової енергії до системи опалення утепленої будівлі підвищення ефективності заходів з енергозбереження обумовлює зниження температури мережної води на виході опалювальних комплексів будівель (рис. 3.28) і, відповідно, її температури на вході до першого ступеня підігрівної установки гарячого водопостачання і зменшення теплової продуктивності теплообмінників цієї частини установки. Водночас спостерігається зниження температури нагріву води у межах першого ступеня (рис. 3.28), яке є більш помітним для режимів, близьких до розрахункового для опалення ($\bar{Q}_o = 1$). Оскільки зазвичай робота підігрівників першого ступеня відбувається без регулювання теплової потужності, необхідна якість гарячого водопостачання

забезпечується підвищенням продуктивності теплообмінників другого ступеня, яке здійснюється регуляторами системи автоматизації теплових пунктів. При значенні $\mu = 0,6$ теплову продуктивність апаратів другого ступеня підігрівної установки необхідно збільшити приблизно вдвічі порівняно з режимом роботи установки до утеплення будівель ($\mu = 1$) для всіх прийнятих до уваги температур зовнішнього повітря опалювального періоду. Регулювання роботи теплообмінників другого ступеня здійснюється зміною витрат нагрівного теплоносія із зовнішніх теплових мереж. Для розглянутих параметрів системи теплопостачання групи будівель зменшення витрат теплоти на опалення на 40 % ($\mu = 0,6$) при їхньому утепленні забезпечує зменшення сумарних витрат теплоти для мікрорайону з урахуванням гарячого водопостачання на 16 %. Разом із тим зменшення витрат мережної води для потреб опалення очікується на рівні 60 %. Однак в умовах зв'язаної подачі теплоти для теплопостачання мікрорайону внаслідок зростання витрат мережної води через другий ступінь підігрівної установки приблизно на 70 % фактичне зменшення витрат мережної води для мікрорайону скорочується до рівня приблизно 30 %. Отже, при економічних оцінках заходів з енергозбереження для споруд, приєднаних до централізованої системи теплопостачання, при зв'язаній подачі тепла необхідно враховувати умови роботи підігрівників гарячого водопостачання. Погіршення ефекту економії витрат мережної води через тепловий пункт мікрорайону залежить від величини теплових навантажень будівель, параметрів підігрівної установки гарячого водопостачання і ступеня ефективності заходів зі зменшення витрат теплоти на опалення будівель.

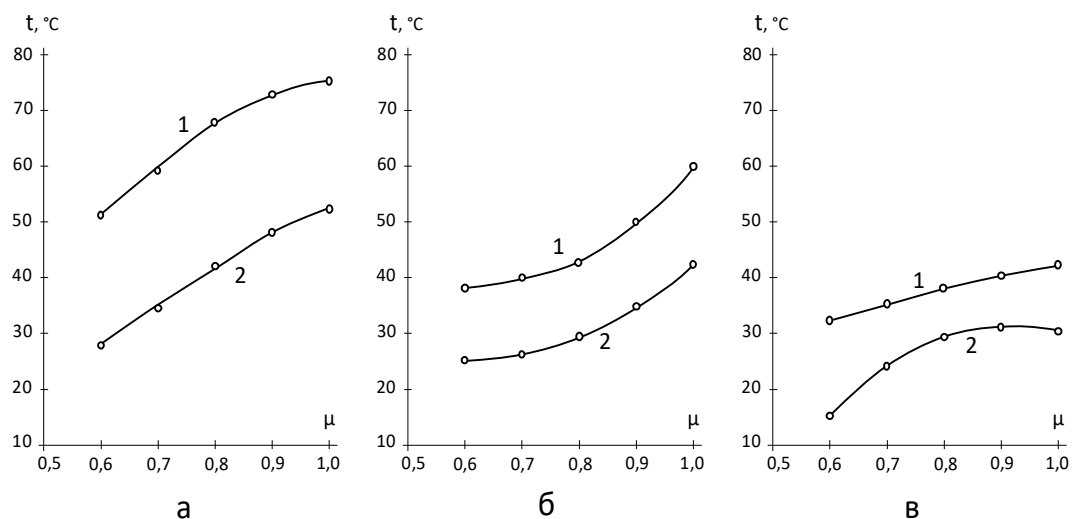


Рисунок 3.28 – Зміна температури теплоносія і гарячої води під час утеплення будівель мікрорайону:

1 – теплоносій на виході опалювального теплообмінника; 2 – вода, що нагрівається, на виході першого ступеня підігрівної установки;

а – за $\bar{Q}_o = 1$; б – $\bar{Q}_o = 0,49$; в – $\bar{Q}_o = 0,35$

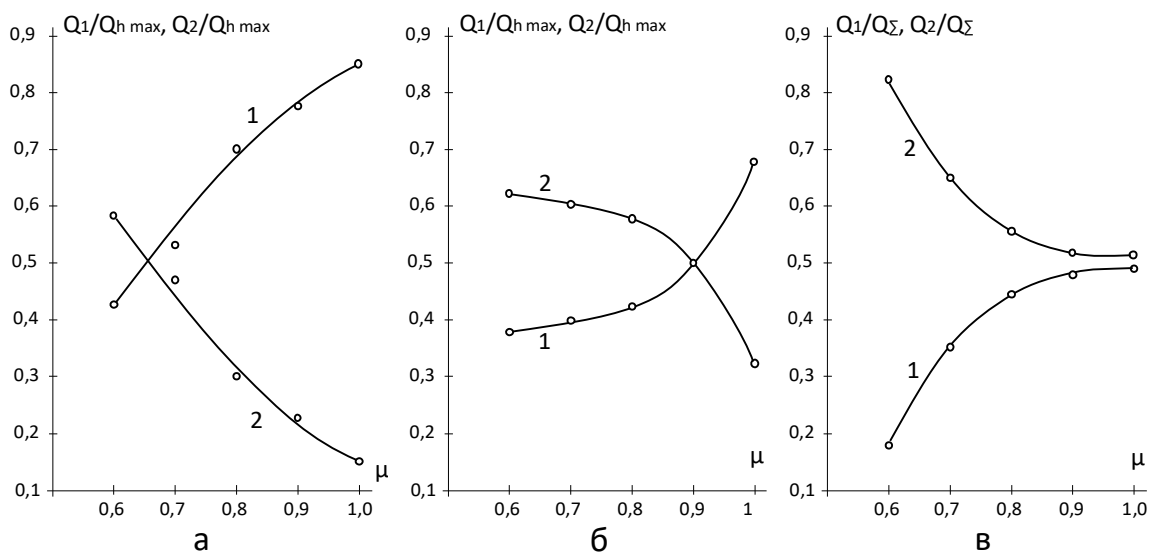


Рисунок 3.29 – Зміна теплової продуктивності ступенів підігрівної установки гарячого водопостачання під час утеплення будівель:

1 – перший ступінь установки; 2 – другий ступінь установки;

а – за $\bar{Q}_o = 1$; б – $\bar{Q}_o = 0,49$; в – $\bar{Q}_o = 0,35$

Висновки:

1. Величина теплових втрат трубопроводами мікрорайонної мережі опалення під час утеплення окремих будівель мікрорайону залежить не тільки від способу прокладання і довжини теплопроводів, параметрів теплової ізоляції трубопроводів, але і від місця розташування утеплених будівель на вітці опалювальної мережі відносно центрального теплового пункту мікрорайону.

2. За однакової ефективності заходів з енергозбереження для всіх споруд забудови найменші втрати теплоти спостерігаються під час утеплення найвіддаленіших від центрального теплового пункту будівель.

3. Утеплення найближчих до центрального теплового пункту будівель обумовлює найбільші теплові втрати трубопроводами опалювальної мережі порівняно з варіантами рівномірного утеплення всіх будівель і утеплення найвіддаленіших від мікрорайонного центру теплопостачання.

4. Для варіанта виконання системи опалення мікрорайону з двох віток, за однакової довжини віток системи, але різних вихідних теплових навантажень утеплених будівель, що приєднані до вітки з меншим навантаженням, обумовлює менші втрати теплоти трубопроводами мережі.

5. Для варіанта мережі з однаковим тепловим навантаженням віток різної довжини в умовах обмеженості матеріальних і технічних ресурсів утеплення групи будівель доцільно починати з будівель, що приєднано до довшої вітки.

6. Якщо вітки системи мають різну довжину і теплові навантаження, для виконання заходів з енергозбереження, насамперед, необхідно передбачити варіант утеплення будівель вітки з меншим тепловим навантаженням. Це дозволяє забезпечити додаткове зменшення теплових втрат трубопроводами мереж.

7. Підвищений рівень лінійних втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі для стану до утеплення будівель обумовлює більше відносне зниження втрат теплоти трубопроводами після утеплення будівель, посилюючи ефект зменшення теплових втрат під час транспортування теплоносія до споруд.

8. Запропоновано методику для спрощених оцінок втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі під час утеплення будівель. Максимальна похибка при використанні запропонованих формул знаходиться на рівні 11 % для зворотного трубопроводу і 5 % для опалювальної мережі мікрорайону загалом, що є припустимим для попередніх оцінок ефективності варіантів утеплення будівель, приєднаних до загальної мережі.

4 ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ДВОТРУБНОЇ СХЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІКРОРАЙОНІВ

4.1 Оцінка зміни теплообмінної поверхні водопідігрівачів під час переходу на двотрубну мікрорайонну систему теплопостачання

Особливістю утворених систем теплопостачання міст є наявність мікрорайонних вузлів управління режимами споживання теплової енергії, якими є центральні теплові пункти, з установленими на них теплообмінними апаратами гарячого водопостачання. Встановлення загальної водопідігрівної установки обумовило чотиритрубну розподільну теплову мережу і суттєві втрати теплоти під час транспортування теплової енергії територією мікрорайону. До інших недоліків існуючої системи відносять металомісткість, великі витрати під час будівництва й експлуатації; теплові лічильники, що встановлюють на центральних теплових пунктах, вимірюють все спожите тепло «після себе», включаючи теплові втрати в розподільних мережах, і немає можливості їхнього порівняння з нормативними, необхідність підтримання величини тиску у системі водопостачання мікрорайону, виходячи із умови забезпечення напору води на вводі найвищої будівлі з урахуванням рельєфу місцевості. Для приєднання теплообмінних апаратів підігрівних установок гарячого водопостачання використовують одноступінчасті й двоступінчасті схеми. Вибір схеми залежить від відношення максимальних витрат теплоти для гарячого водопостачання до максимальних витрат теплоти для опалення $\gamma = Q_{h,max}/Q_{o,max}$ [7].

Бажання зменшити втрати теплоти у централізованих системах обумовило появу і розвиток ідеї заміни традиційної чотиритрубної мікрорайонної теплової мережі на двотрубну. Під час переходу до двотрубної схеми теплопостачання виникає потреба у встановленні теплообмінних апаратів гарячого водопостачання на індивідуальних теплових пунктах (ІТП) будівель. Одну з можливих схем теплового пункту показано на рисунку 4.1. У наведеній схемі реалізовано одноступінчасте приєднання теплообмінника гарячого водопостачання і залежне (за допомогою підмішуючого насоса). Систему опалення будівлі

можна приєднати до теплових мереж також і за незалежною схемою за допомогою теплообмінного апарату.

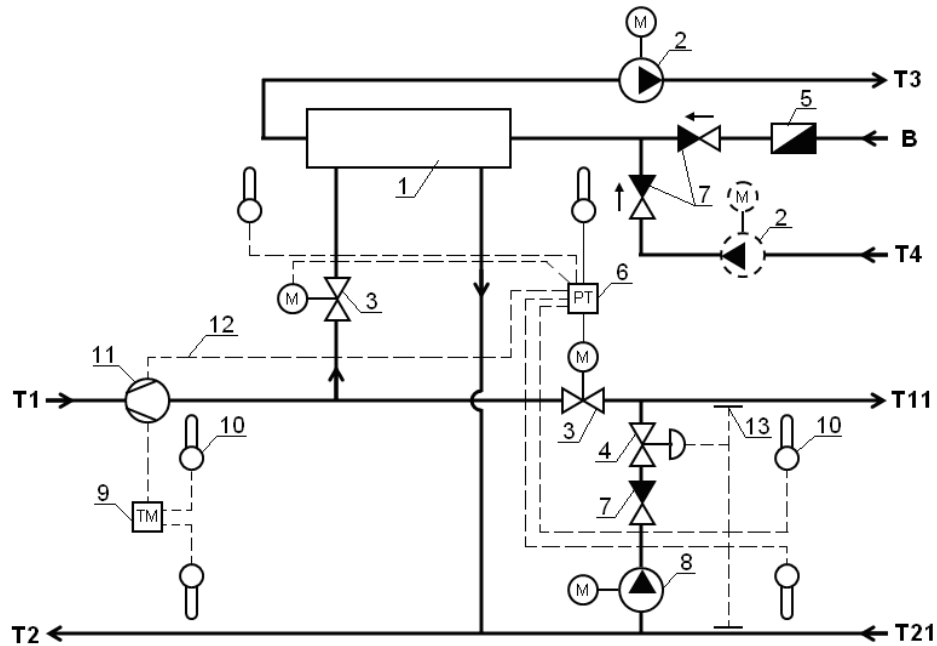


Рисунок 4.1 – Схема теплового пункту з одноступінчастим приєднанням підігрівників гарячого водопостачання і залежним приєднанням системи опалення:

- 1 – підігрівник гарячого водопостачання;
- 2 – циркуляційно-підвищувальний насос гарячого водопостачання (пунктиром – циркуляційний насос); 3 – регулювальний клапан з електродвигуном; 4 – регулятор перепаду тиску (прямої дії); 5 – водомір для холодної води; 6 – регулятор подачі теплоти на опалення, гаряче водопостачання та обмеження максимальних витрат мережної води на ввід; 7 – зворотний клапан; 8 – підмішуючий насос; 9 – тепловий лічильник; 10 – первинний прилад для вимірювання температури; 11 – первинний прилад для вимірювання витрат води; 12 – сигнал обмеження максимальних витрат води з теплової мережі на ввід; 13 – первинний прилад для вимірювання тиску у трубопроводі;
- T1 – з теплової мережі; T2 – до теплової мережі; В – із водопроводу; T3 – до системи гарячого водопостачання; T4 – циркуляція гарячої води; T11 – до систем опалення; T21 – із систем опалення

Індивідуальні теплові пункти розміщують у підвальних приміщеннях будівель. До складу пунктів входять пластинчасті теплообмінники, циркуляційні насоси, прилади обліку води, теплоносія, електроенергії і регулювальна арматура. Система ІТП передбачає наявність двох незалежних контурів – зовнішнього контуру джерела теплоти і внутрішнього контуру опалювання будинку. У споживачів може бути встановлено 2 групи підігрівачів (на опалювання і гаряче водопостачання) і 2 групи циркуляційних насосів. Для автоматичного підтримання температури гарячої води на виході з водопідігрівної установки на встановленому рівні у схемах теплових пунктів передбачене встановлення регуляторів температури. Такі регулятори бувають гідравлічними й електронними. Забезпечення необхідної температури гарячої води здійснюється зміною витрати нагрівної води через теплообмінні апарати водопідігрівної установки. Засоби автоматизації теплового пункту також підтримують постійний тиск у зворотному трубопроводі опалювальної системи за допомогою регулятора тиску і на незмінному рівні витрату мережевої води для системи опалення за допомогою регулятора витрат. Для обліку холодної води, що витрачається на потреби гарячого водопостачання, на тепловому пункті встановлюють лічильник холодної води.

Робота індивідуального теплового пункту здійснюється в автоматичному режимі відповідно до температури зовнішнього повітря. На пульт управління надходить сигнал від датчика температури зовнішнього повітря; бажана температура усередині приміщення виставляється оператором за узгодженням із споживачами. На підставі цих даних автоматично корегується температура теплоносія внутрішнього контуру опалювання житлового будинку. Система автоматизації також забезпечує роботу ІТП в економічному режимі. Цей режим дозволяє виставляти необхідну температуру в приміщеннях залежно від часу доби і днів тижня. Наявність циркуляційних насосів у споживачів дозволяє зменшити електричну потужність мережних насосів, оскільки необхідний тиск, що розвивається насосами, зменшується на величину опору внутрішніх систем опалення. Окрім цього, демонтуються існуючі циркуляційні насоси

гарячого водопостачання в ЦТП. Вважається, що застосування індивідуальних теплових пунктів дозволяє знизити витрати електроенергії на 25–30 % шляхом оптимізації електричної потужності насосів і зменшення гідравлічного опору мережі; знизити витрати палива на 8–10 % шляхом застосування погодного регулювання і усунення перегрівів у перехідний період; знизити непродуктивні витрати води завдяки регулюванню тиску води на вводах до кожної будівлі. До недоліків схем із використанням індивідуальних теплових пунктів варто віднести можливе збільшення сумарної площі теплопередачі встановлених у будівлях мікрорайонів теплообмінників гарячого водопостачання порівняно з площею загально мікрорайонної водопідігрівної установки.

Порівняння сумарної площі поверхні теплопередачі теплообмінних апаратів водопідігрівних установок для встановлення на індивідуальних теплових пунктах будівель мікрорайону і площі поверхні теплопередачі апаратів встановленої на ЦТП мікрорайонної установки гарячого водопостачання проведено на прикладах ідеалізованих груп будівель. Під час обчислень прийнято, що теплообмінники гарячого водопостачання, які встановлено на індивідуальних теплових пунктах, приєднані до теплових мереж за одноступінчастою схемою [6, 7] (рис. 4.2).

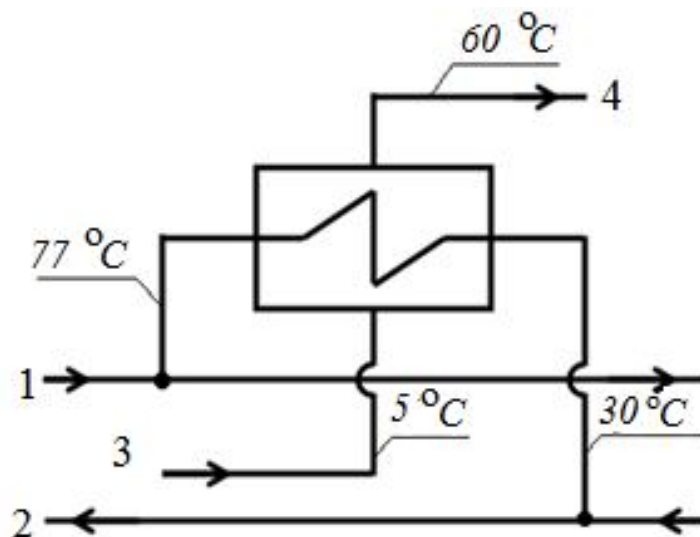


Рисунок 4.2 – Одноступінчаста схема приєднання теплообмінників гарячого водопостачання до теплових мереж:

- 1, 2 – подавальний і зворотний трубопроводи теплових мереж відповідно;
- 3 – трубопровід холодної води; 4 – подавальний трубопровід гарячої води

Для обчислення максимальних витрат теплоти на гаряче водопостачання використано формулу [6]:

$$Q_{h.\max} = (a + b) \cdot m \cdot c \cdot (t_g - t_x) \cdot (K_q + K_{\text{тп}}) / T, \quad (4.1)$$

де a, b – добова норма споживання гарячої води у житлових та громадських будівлях відповідно; $K_{\text{тп}}$ – коефіцієнт, що залежить від типу системи гарячого водопостачання та особливостей виконання; T – інтервал часу, с.; K_q – коефіцієнт годинної нерівномірності споживання гарячої води; m – кількість мешканців.

Для найбільш вживаних систем із пристроями для сушіння рушників та неізольованими стояками без зовнішніх розподільних мереж гарячого водопостачання рекомендовано приймати $K_{\text{тп}} = 0,3$ [6]. Значення коефіцієнтів годинної нерівномірності споживання гарячої води залежно від кількості мешканців подано у таблиці 4.2. Наведені дані свідчать, що для об'єктів із меншою кількістю споживачів води варто очікувати зростання витрат води, а отже, і витрат теплоти для потреб гарячого водопостачання.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти годинної нерівномірності споживання гарячої води [6]

Коефіцієнти годинної нерівномірності за кількості мешканців								
150	250	350	500	700	1 000	3 000	6 000	10 000
5,15	4,30	4,10	3,75	3,50	3,27	2,85	2,70	2,60

Теплообмінну поверхню водопідігрівників визначено з рівняння теплопередачі за максимальним навантаженням гарячого водопостачання:

$$F = \frac{Q_{h.\max}}{(K \Delta t_{\text{cp}})}, \quad (4.2)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі; Δt_{cp} – середня логарифмічна різниця температур води і нагрівного теплоносія.

Тепловий розрахунок пластинчастих теплообмінних апаратів, які широко використовують останнім часом для обладнання теплових пунктів,

можна виконати за відомими методиками [20, 21, 41]. Обчислення площі поверхні теплопередачі водопідігрівників здійснено у припущенні, що коефіцієнт теплопередачі однаковий для теплообмінників з різною тепловою продуктивністю. Таке припущення базується на такому. Коефіцієнт теплопередачі теплообмінного апарата визначають за формулою:

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \delta_{\text{ст}} + \delta_{\text{зб}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}, \quad (4.3)$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти теплообміну, відповідно, між нагрівальною та «холодною» речовиною і стінками апарата; $\delta_{\text{ст}}, \delta_{\text{зб}}$ – термічний опір стінки каналу та відкладень на стінках відповідно.

Термічний опір стінок каналів пластинчастих теплообмінників змінюється в межах $(0,047 - 0,063) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, термічний опір можливих відкладень на стінках теплообмінних апаратів для гарячого водопостачання відповідно до [21] становить $0,000\ 48 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ і є найбільшою величиною із складових опору теплопередачі для апарата. У діапазоні зміни коефіцієнтів теплообміну $(4\ 000 - 12\ 000) \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, характерному для водоводяних теплообмінних апаратів, коефіцієнт теплопередачі змінюється у діапазоні $1\ 200 - 1\ 500 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. У подальших обчисленнях прийнято значення коефіцієнту $1\ 300 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Для одноступінчастої схеми приєднання теплообмінників гарячого водопостачання до теплових мереж середня логарифмічна різниця температур для умов нагріву води від 5 °C до 60 °C і значень температур мережної води у точці зламу графіка температур становить $28,85 \text{ °C}$. Результати розрахунку площі поверхні теплопередачі теплообмінних апаратів гарячого водопостачання для встановлення на індивідуальних теплових пунктах будинків 5-ти, 9-ти, 12-ти і 16-типоверхової забудови подано у таблиці 4.3. Обчислення здійснено із розрахунку витрат гарячої води мешканцями однієї квартири – $367,5 \text{ л}$ за добу і кількості квартир на поверсі житлового будинку – 4.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку площі теплообміну водогрійної установки для індивідуальних теплових пунктів житлових будинків

Характеристики будівель	5 поверхів		9 поверхів			12 поверхів		16 поверхів	
	Кількість секцій будівлі								
	4	9	3	4	6	4	6	1	2
Теплове навантаження гарячого водопостачання, МВт	0,288	0,356	0,395	0,571	0,846	0,722	1,01	0,302	0,57
Площа теплообміну, м²	7,68	9,48	10,53	15,23	22,56	19,26	26,85	8,06	15,2

Здійснено порівняння величин сумарної площі поверхні водопідігрівників ІТП будинків і площі поверхні мікрорайонної підігрівної установки гарячого водопостачання, що використовується при чотиритрубній системі (F_o). Значення F_o знайдено за умови, що ВПУ приєднано до теплових мереж за двоступінчастою змішаною схемою (рис. 4.3). Двоступінчасті схеми застосовують із метою використання теплоти, яку містить теплоносій на виході з системи опалення. Для цього зворотний трубопровід мікрорайонної опалювальної мережі приєднують до входу першого ступеня ВПУ, забезпечуючи тим самим нагрівання водопровідної води до температури $t_h^I = 20 - 35$ °С. Водночас вибір значення температури t_h^I суттєво впливає і на конструктивні параметри, і на показники економічності роботи обладнання. Збільшення значення температури нагрівання води на першому ступені обумовлює зростання теплової продуктивності теплообмінних апаратів першого ступеня, що забезпечується збільшенням площі поверхні теплопередачі апаратів. Незважаючи на зменшення площі поверхні теплообмінників другого ступеня, при зростанні температури t_h^I зазвичай спостерігається збільшення загальної площі поверхні підігрівників гарячої води. Рекомендоване значення температури водопровідної води після першого ступеня має бути на 7–12 °С [21, 40]

нижче температури мережної води у зворотному трубопроводі системи опалення за температури зовнішнього повітря у точці зламу графіка температур [40], що становить $t_h^I = 20\text{--}35\text{ }^\circ\text{C}$. При подальших обчисленнях прийнято $t_h^I = 30\text{ }^\circ\text{C}$. Температуру холодної і гарячої води прийнято рівними $t_x = 5\text{ }^\circ\text{C}$ і $t_r = 60\text{ }^\circ\text{C}$. Розрахункову температуру мережної води на вході до теплообмінних апаратів першого ступеня згідно з рекомендаціями [40] прийнято $\tau_2' = 42\text{ }^\circ\text{C}$. Температура мережної води на вході й виході другого ступеня становить відповідно $\tau_1' = 77\text{ }^\circ\text{C}$ та $\tau_2' = 42\text{ }^\circ\text{C}$.

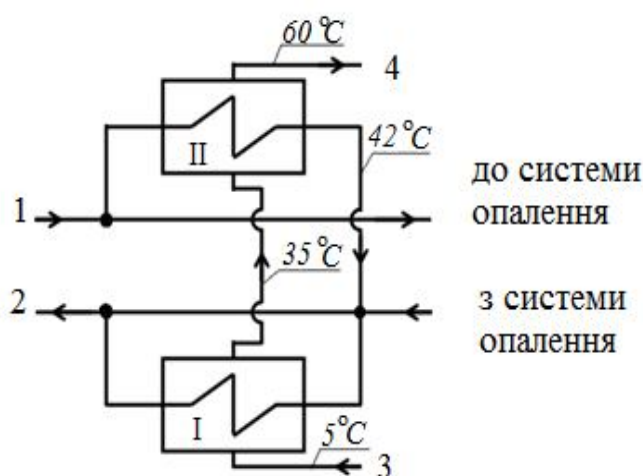


Рисунок 4.3 – Двоступінчаста змішана схема приєднання теплообмінників гарячого водопостачання до теплових мереж:
1, 2 – подавальний і зворотний трубопроводи теплових мереж відповідно;
3 – трубопровід холодної води; 4 – подавальний трубопровід гарячої води;
I, II – перший та другий ступені підігрівної установки

Теплову продуктивність теплообмінників першого (Q_1) та другого (Q_2) ступенів за двоступінчастої змішаної схеми приєднання обчислюють за формулами [21]:

$$Q_1 = Q \frac{t_h^I - t_x}{t_r - t_x}, \quad (4.2)$$

$$Q_2 = Q - Q_1, \quad (4.3)$$

де Q – максимальні витрати теплоти на гаряче водопостачання.

Витрати води з теплових мереж через теплообмінні апарати другого ступеня обчислюють за формулою:

$$G_2 = \frac{Q_2}{C(\tau'_1 - \tau'_2)}, \quad (4.4)$$

де τ'_1, τ'_2 – відповідно, температура води у подавальному і зворотному трубопроводі теплових мереж у точці зламу графіка температур.

Витрати мережної води через теплообмінники першого ступеня обчислюють як суму витрат через другий ступінь і систему опалення G_0 :

$$G_1 = G_2 + G_0, \quad (4.5)$$

$$G_0 = \frac{Q_0}{C(\tau_{1,p} - \tau_{2,p})}, \quad (4.6)$$

де $\tau_{1,p}, \tau_{2,p}$ – відповідно, температура води у подавальному і зворотному трубопроводі теплових мереж для розрахункового для опалення режиму; Q_0 – максимальні витрати теплоти на опалення.

При обчисленнях прийнято, що температура нагріву води на першому ступені дорівнює 25 °С, коефіцієнти теплопередачі в апаратах ступенів однакові і дорівнюють 1 300 Вт/(м²·°С). Кількість мешканців у будівлях житлової групи прийнято приблизно однаковою для варіантів і рівною 10 000 мешк. ($Q_{h,max} = 8,67$ МВт). Навантаження гарячого водопостачання враховує також витрати теплоти для школи (0,15 МВт), дитячого комбінату (0,25 МВт), громадсько-торгівельного центра (0,012 МВт). Максимальні витрати теплоти на опалення дорівнюють 15,69 МВт, площа поверхні теплообміну мікрорайонної ВПУ – 395,3 м² (134,3 м² – на першому ступені і 261 м² – на другому). Характеристики варіантів забудови мікрорайонів та співвідношення сумарної розрахункової площі поверхні теплообмінників гарячого водопостачання для ІТП будівель (F/F_0) і площі теплопередачі встановлених на ЦТП теплообмінників наведено у таблиці 4.4.

Для всіх варіантів забудови сумарна площа поверхні теплообмінників ІТП помітно менше площі апаратів, що встановлені на центральному тепловому пункті. Різниця становить від 11 % до 27 %.

Найбільше зниження розрахункової площі поверхні теплообмінників гарячого водопостачання зафіксовано для варіантів, що характеризуються більш високими параметрами забудови (кількість поверхів, кількість секцій будівель). Причому для забудови житлової групи з п'ятиповерховими будинками площа апаратів індивідуальних теплових пунктів найбільша, що пояснюється ростом коефіцієнта годинної нерівномірності. Загальне зменшення площі теплообміну водопідігрівників для індивідуальних теплових пунктів пояснюється використанням на них одноступінчастої паралельної схеми приєднання, для якої характерні більш висока різниця температур нагрівної води і води, що нагрівається. Для двотрубною схеми організації тепlopостачання груп будівель зафіксоване збільшення витрат теплоносія з теплових мереж для потреб гарячого водопостачання (табл. 4.5). Як свідчать наведені дані, для розглянутих груп будівель варто очікувати збільшення витрат теплоносія з теплових мереж приблизно у 1,5 рази.

Таблиця 4.4 – Порівняння варіантів обчислень площі поверхні підігрівних установок гарячого водопостачання

Номер варіанта	Характеристика забудови (кількість будівель з вказаною кількістю поверхів і кількістю секцій будинку)									Кількість мешканців	F/F_o
	5 поверхів		9 поверхів			12 поверхів		16 поверхів			
	кількість секцій будинку										
	3	4	3	4	6	4	6	1	2		
1	1	35	—	—	—	—	—	—	—	10 010	0,89
2	—	14	—	6	4	—	—	—	—	9 968	0,82
3	—	—	—	20	—	—	—	—	—	10 080	0,80
4	—	—	—	6	—	—	7	—	—	10 080	0,73
5	—	—	—	—	—	6	4	1	2	10 080	0,77

Таблиця 4.5 – Витрати мережної води для варіантів виконання мікрорайонів

Номер варіанта	1	2	3	4	5
Витрати мережної води на гаряче водопостачання, кг/с	89,7	83,29	80,79	91,14	77,54
Загальні витрати мережної води для теплопостачання (опалення + гаряче водопостачання), кг/с	136,54	130,13	127,63	138	124,4
Співвідношення витрат мережної води за двотрубною G_1 і чотиритрубною G_2 системи (G_1/G_2)	1,58	1,51	1,48	1,6	1,44

4.2 Оцінка зміни параметрів мікрорайонної теплової мережі під час переходу від чотиритрубною системи теплопостачання до двотрубною

Ще однією особливістю переходу до двотрубною схеми теплопостачання забудови є потреба подачі до будівель збільшених витрат теплоносія. Двотрубна тепла мережа повинна забезпечити транспортування теплоносія і для опалення, і для гарячого водопостачання. Співставлення варіантів заміни традиційної системи теплопостачання на двотрубну проведено на прикладі трьох ідеалізованих житлових груп із середньою кількістю поверхів житлових будинків 5, 9 і 16. Для зручності порівняння варіантів прийнято, що всі будівлі кожної з груп мають однакову кількість поверхів. Опалювальні навантаження мікрорайонів і кількість мешканців приблизно однакові. Витрати теплоти на гаряче водопостачання обчислено для кожної будівлі з урахуванням коефіцієнта годинної нерівномірності споживання води залежно від прийнятої кількості мешканців. Теплову мережу мікрорайону утворює одна головна вітка. Кількість відгалужень від головної вітки дорівнює кількості будівель, відстань між точками приєднання сусідніх відгалужень однакова. Теплопроводи прокладено у непрохідних каналах. Довжина теплових мереж груп будівель, приєднаних до єдиного теплового пункту, залежить від площі території забудови, кількості поверхів будинків, місця розташування центрального теплового пункту та інших факторів. Наведені у [42, 43] дані щодо довжини теплопроводів на 1 000 м²

загальної площі житлових будинків з похибкою, що не перевищує 3 %, апроксимовані формулою:

$$\frac{L}{Q_{o.\max}} = \frac{10^3}{0,47E + 0,6}, \quad (4.7)$$

де L – довжина теплових мереж; $Q_{o.\max}$ – опалювальне навантаження мікрорайону, МВт; E – середня кількість поверхів забудови

Основні характеристики розглянутих груп будівель наведені у таблиці 4.6. Теплові втрати трубопроводами мікрорайонів обчислено окремо для опалювального й літнього періодів, за викладеною у попередньому розділі спрощеною методикою. Для визначення втрат тиску теплоносієм у розподільних теплопроводах використано викладену у роботі [44] методику.

Таблиця 4.6 – Характеристики мікрорайонів

Показник	Варіант		
	1	2	3
Кількість поверхів житлових будівель	5	9	16
Довжина трубопроводів, м:			
– загальна;	5 320	3 271	1 938
– головної вітки;	2 120	1 308	775
– відгалужень.	3 200	1 963	1 163
Кількість мешканців	10 010	10 080	10 050
Максимальні витрати теплоти, МВт:			
– опалення;	15,69	15,80	15,74
– гаряче водопостачання.	8,67	8,67	8,67
Кількість житлових будинків	36	20	22

Розподіл довжин трубопроводів головної вітки й відгалужень за довжиною прийнято 0,4/0,6. Діаметр теплопроводів (D) обчислено згідно з формулою (3.26). Витрати води по довжині головної вітки опалювальної мережі визначено у припущенні монотонності його зміни згідно з формулою (3.5). Прийнято, що зміна витрат мережної води по довжині має лінійний характер, для якого $n = 1$. Діаметри трубопроводів опалювальної мережі і подавальної лінії системи гарячого водопостачання визначено за

максимальними тепловими навантаженнями й прийнятою величиною питомих втрат тиску $R = 50$ Па/м. Діаметр циркуляційного трубопроводу гарячого водопостачання прийнято рівним $D_{\text{ц}} = 0,77 D_{\text{п}}$ ($D_{\text{п}}$ – діаметр подавального трубопроводу гарячого водопостачання). Питомі втрати тиску у циркуляційному трубопроводі обчислено за формулою (4.8), витрати гарячої води у режимі циркуляції визначено за величиною втрат теплоти трубопроводами подавальної лінії $\Delta Q_{\text{п}}$:

$$G_{\text{ц}} = \frac{\Delta Q_{\text{п}}}{(C \cdot \Delta t_{\text{доп}})}, \quad (4.8)$$

де C – питома теплоємність води; $\Delta t_{\text{доп}}$ – припустиме охолодження води у системі в режимі циркуляції (при обчисленнях прийнято $8,5$ °С).

Вихідні дані для обчислень подано у таблиці 4.7. Результати визначення основних показників теплових мереж за традиційної чотиритрубною схемою організації тепlopостачання мікрорайонів наведені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.7 – Вихідні дані для порівняння варіантів

Показник	Позначення	Значення
Температура зовнішнього повітря (середня за опалювальний період), °С	$t_{\text{ср}}$	-2,1
Температура мережної води, °С: – подавальна лінія; – зворотна лінія.	$T_{\text{п}}$ $t_{\text{о}}$	85 49
Температура гарячої води, °С: – подавальна лінія; – циркуляційна лінія.	$t_{\text{г}}$ $t_{\text{ц}}$	60 45
Температура ґрунту на глибині прокладання мережі: опалювальний період/ літній період	$t_{\text{гр}}$	5,0/8,5
Тривалість періоду, діб: (опалювальний / літній)	$T_{\text{оп}}/T_{\text{л}}$	190/160
Коефіцієнт обліку втрат теплоти конструктивними елементами теплової мережі	K	1,15
Коефіцієнт обліку втрат тиску у місцевих опорах	$K_{\text{м}}$	0,3
Коефіцієнт корисної дії насосів	$\eta_{\text{н}}$	0,6

Таблиця 4.8 – Результати обчислення характеристик чотиритрубною схеми теплопостачання мікрорайонів

Показник	Варіант		
	1	2	3
Кількість поверхів житлових будівель	5	9	16
Середній діаметр трубопроводів опалювальної мережі, м (головна вітка / мережа загалом)	0,175/0,104	0,179/0,114	0,178/0,112
Середній діаметр трубопроводів гарячого водопостачання (ГВ):			
– подавальний трубопровід (головна вітка / мережа загалом);	0,164/0,105	0,167/0,114	0,167/0,114
– циркуляційний трубопровід (головна вітка / мережа загалом).	0,126/0,081	0,129/0,092	0,129/0,092
Матеріальна характеристика, м ²	2 095	1 420	825
Теплові втрати трубопроводами, ГДж/рік:			
– система опалення;	9371	6 039	3 542
– система ГВ;	11 831	7 648	4 490
– мережа загалом.	21 202	13 687	8 032
Умовні витрати електроенергії, кВт·година/рік:			
– система опалення;	75 887	80 264	105 281
– система ГВ;	18 740	28 330	44 889
– мережа загалом.	94 629	108 594	150 170

Обчислення характеристик системи для двотрубною схеми здійснено у такій послідовності. За сумою теплових навантажень опалення й гарячого водопостачання обчислено витрати теплоносія. Під час визначення діаметрів трубопроводів мережі використано максимальне

теплове навантаження гарячого водопостачання, під час обчислення умовних витрат електроенергії для транспортування води мікрорайонною мережею – середньодобові витрати води, які знайдено з урахуванням коефіцієнта годинної нерівномірності споживання води. За необхідності, за формулою (4.8) обчислено нові значення діаметрів трубопроводів. Величину середнього діаметра трубопроводів мікрорайонної мережі загалом використано при визначенні теплових втрат. Для обчислення гідравлічних характеристик використано величину середнього діаметра головної вітки.

Розглянуто такі схеми переходу до двотрубно́ї системи. Перша схема передбачає використання існуючої мережі трубопроводів опалення для транспортування збільшених витрат мережної води. За другою схемою необхідна реконструкція мережі з метою збільшення діаметрів теплопроводів для транспортування більших витрат теплоносія. Перша схема пов'язана з ростом втрат тиску і додатковими витратами електроенергії для насосів. За другої схеми виникає потреба у додаткових капітальних вкладеннях на проведення демонтажних робіт існуючої і прокладання нової мережі. Вибір варіанта залежить від терміну експлуатації і стану теплових мереж (знос трубопроводів, теплової ізоляції), напору мережної води на вводі до мікрорайону, наявність ресурсів для проведення робіт

Результати обчислень показників роботи системи тепlopостачання для вказаних варіантів двотрубно́ї мережі подано у таблицях 4.9, 4.10.

Таблиця 4.9 – Параметри двотрубно́ї системи тепlopостачання під час переходу за першою схемою (умова переходу – незмінність діаметрів мережі)

Показник	Варіант виконання мікрорайону		
	1	2	3
1	2	3	4
Кількість поверхів житлових будівель	5	9	16

Продовження таблиці 4.9

1	2	3	4
Середній діаметр трубопроводів опалювальної мережі, м (головна вітка / мережа загалом)	0,175/0,104	0,179/0,114	0,178/0,112
Відношення діаметрів D_2 / D_4 (головна вітка / мережа в загалом)	1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/1,0
Матеріальна характеристика M_2 , м ²	1 107	746	434
Відношення M_2 / M_4	0,53	0,525	0,526
Теплові втрати мережею ΔQ_2 , ГДж/рік	15 869	10 225	5 998
Відношення $\Delta Q_2 / \Delta Q_4$	0,75	0,747	0,747
Умовні витрати електроенергії, N_2 , КВт·година/рік	219 760	186 869	228 714
Відношення N_2 / N_4	2,32	1,70	1,52
Збільшення умовної потужності насосів для транспортування теплоносія	2,49	2,08	1,71
Збільшення потрібного напору	1,73	1,4	1,1
Примітка: індекс «2» позначає двотрубну систему, індекс «4» – чотиритрубну.			

Таблиця 4.10 – Параметри двотрубною системи тепlopостачання мікрорайонів (умова переходу – рівність середніх питомих втрат тиску)

Показник	Варіант виконання мікрорайону		
	1	2	3
1	2	3	4
Кількість поверхів житлових будівель	5	9	16

Продовження таблиці 4.10

1	2	3	4
Середній діаметр трубопроводів опалювальної мережі, м (головна вітка / мережа загалом)	0,202/0,121	0,206/0,133	0,214/0,135
Відношення діаметрів D_2 / D_4 (головна вітка / мережа загалом)	1,154/1,16	1,15/1,17	1,2/1,210
Матеріальна характеристика M_2 , м ²	1 287	870	523
Відношення M_2 / M_4	0,614	0,613	0,63
Теплові втрати мережею ΔQ_2 , ГДж/рік	17 140	11 090	6 630
Відношення $\Delta Q_2 / \Delta Q_4$	0,808	0,81	0,825
Умовні витрати електроенергії, N_2 , кВт·година/рік	121 171	135 728	217 362
Відношення N_2 / N_4	1,28	1,25	1,45
Збільшення умовної потужності насосів для транспортування теплоносія	1,44	1,45	1,62
Збільшення потрібного напору	1,0	1,0	1,0
Примітка: індекс «2» позначає двотрубну систему, індекс «4»- чотиритрубну.			

Аналіз результатів обчислень показав, що під час переходу до двотрубною системи тепlopостачання груп будівель за першою схемою варто очікувати зниження річних теплових втрат трубопроводами мережі на 25 %. Однак через зростання витрат теплоносія й втрат тиску (збільшення потрібного напору дорівнює 10 – 30 %) перехід за першою схемою потребує збільшення витрат електроенергії для транспортування мережею приблизно вдвічі.

При переході до двотрубною мікрорайонної мережі за другою схемою зниження річних теплових втрат помітно менше (18–19 %). Оскільки

потрібний напір у цьому випадку залишається незмінним, витрати електроенергії для транспортування мережею збільшуються приблизно у 1,5 рази. Зростання витрат електроенергії обумовлене збільшенням витрат теплоносія.

Вибір стратегії переходу до двотрубною системи тепlopостачання мікрорайону залежить від низки факторів: характеристик гідравлічного режиму і рівня зносу мереж; величини теплових навантажень; прийнятої у вихідному варіанті тепlopостачання мікрорайону схеми приєднання теплообмінних апаратів гарячого водопостачання. У разі задовільного стану теплових мереж використання існуючої системи трубопроводів опалення можливе за виконання попереднього утеплення будівель, що дозволить зменшити необхідні для опалення витрати теплоносія і забезпечити зменшення капітальних вкладень у модернізацію системи і скоротити терміни переходу до двотрубною системи тепlopостачання.

За умови, що за чотиритрубною системи тепlopостачання мікрорайону підігрівників гарячого водопостачання приєднано на центральному тепловому пункті за двоступінчастою змішаною схемою, у роботі [45] запропоновано формулу для оцінок зміни витрат мережної води під час переходу до двотрубною системи тепlopостачання. Формулу отримано без урахування можливого додаткового утеплення будівель:

$$\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{G_{\text{цтп}}} = \frac{9,3 \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{0,817}}{m} + \frac{1,25}{\gamma}}{0,052(t_r - t_h^I) + \frac{1,25}{\gamma}}, \quad (4.9)$$

де G_i – витрати мережної води для окремої будівлі забудови; $G_{\text{цтп}}$ – витрати мережної води через центральний тепловий пункт (ЦТП) мікрорайону за чотиритрубною схеми; n – кількість індивідуальних теплових пунктів; γ – співвідношення максимальних теплових навантажень гарячого водопостачання й опалення для мікрорайону до реформування; t_r – температура гарячої води; t_h^I – температура нагрівання води на першому ступені встановленої на ЦТП водопідігрівної установки (ВПУ).

Обчислення за формулою (4.9) проведено для діапазону зміни співвідношення теплових навантажень мікрорайону $0,6 \leq \gamma \leq 1$, для яких рекомендовано вибір вказаної схеми приєднання. Теплообмінники гарячої води на індивідуальних теплових пунктах приєднано до теплових мереж за одноступінчастою схемою. Характеристики прийнятих до розгляду ідеалізованих груп будівель наведено у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Характеристики груп будівель

Показник	Варіант				
	1	2	3	4	5
Загальна кількість мешканців, осіб	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Кількість індивідуальних теплових пунктів, од.	50	20	10	3	2
Кількість мешканців в одному будинку, m_o , осіб	200	500	1 000	3 333	5 000

Результати обчислень за формулою (4.9) подано у таблиці 4.12, які показують, що під час переходу до двотрубною системи тепlopостачання без утеплення будівель варто очікувати суттєве зростання витрат мережної води. Враховуючи, що орієнтовна кількість мешканців у типовому житловому будинку, що має 3–6 секцій, дорівнює 500–1 000 осіб, вказане підвищення становить приблизно від 30 % до 50 %.

Таблиця 4.12 – Зміна витрат мережної води ($\sum_{i=1}^n G_i / G_{\text{ггп}}$) без утеплення будівельних конструкцій будівель

Співвідношення γ	Варіант				
	1	2	3	4	5
0,6	1,58	1,42	1,33	1,18	1,14
0,8	1,66	1,503	1,39	1,215	1,17
1,0	1,765	1,56	1,43	1,24	1,19

З урахуванням можливого утеплення будівель формулу (4.9) можна трансформувати до вигляду:

$$\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{G_{\text{цтп}}} = \frac{9,3 \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{0,817}}{m} + \frac{1,25}{\gamma} \beta}{0,052(t_r - t_h^I) + \frac{1,25}{\gamma}} \quad (4.9)$$

Коефіцієнт для врахування зміни витрат мережної води для опалення будівлі під час утеплення β залежить від ефективності застосування енергоощадних заходів для будівель, яку враховано коефіцієнтом μ . Обчислення проведено для діапазону зміни коефіцієнта $0,5 \leq \mu \leq 0,8$ (тобто зниження опалювального навантаження при утепленні на 20 – 50 %). Разом із тим припускається, що утеплено всі споруди забудови одночасно, з однаковою ефективністю.

Вплив ефективності утеплення будівель на витрати теплоносія показано на рисунку 4.4, з якого видно, що під час утеплення споруд можливі ситуації, за яких витрати мережної води після утеплення не перевищують або навіть менше, ніж для вихідного варіанта (до впровадження заходів з енергозбереження і переходу до двотрубною схеми). При розрахунках двоступінчастих водопідігрівних установок температуру нагрівання водопровідної води на першому ступені t_h^I рекомендовано приймати [21, 40] приблизно на 5 °С нижче температури мережевої води у зворотному трубопроводі системи опалення у точці зламу графіка температур.

Наведені на рисунку 4.4 результати характеризують параметри мікрорайонної підігрівної установки гарячого водопостачання, які обчислено за $t_h^I = 32$ °С. Збільшення вказаної температури під час проектування водопідігрівних установок обумовлює зростання необхідних витрат мережної води (рис. 4.5). Відмінність витрат нагрівного теплоносія для температур $t_h^I = 27$ °С і $t_h^I = 37$ °С складає приблизно 16 – 20 %. Як видно з рисунку 4.4, для кожного розглянутого випадку переходу до двотрубною схеми з попереднім утепленням споруд є умовна кількість мешканців в одній будівлі ($m_{\text{кр}}$), за якої витрати мережної води для

вихідного варіанта і варіанта, що розглядається, є однаковими. Зміну величини $m_{кр}$ залежно від ступеня ефективності додаткової теплової ізоляції будівель μ та вихідного співвідношення максимальних теплових навантажень групи будівель загалом γ показано на рисунку 4.6. Результати обчислень із похибкою не більше 9 % узагальнено формулою (4.10). Співставлення розрахункових даних і результатів обчислень за формулою (4.10) здійснено на рисунку 4.6.

$$m_{кр} = \frac{0,119 * 10^4}{8,41\gamma^{-2,39} \left[1 - \mu \left(0,94 + \frac{0,12}{\gamma} \right) \right]}. \quad (4.10)$$

За умови, що за чотиритрубною схемою теплопостачання підігрівну установку гарячого водопостачання було приєднано до теплових мереж за двоступінчастою послідовною схемою, зміну витрат мережної води для гарячого водопостачання під час переходу до двотрубною системи теплопостачання без утеплення будівель мікрорайону можна обчислити за наведеною у роботі [46] формулою:

$$\frac{G_2}{G_4} = \frac{1}{A} \left[0,093 \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{0,817}}{m} + \frac{1}{\gamma_{\max} (\tau_1^p - \tau_2^p)} \right]; \quad (4.11)$$

$$A = \frac{0,0122}{\gamma_{\max}} (11,83 - 0,195 t_h^I) \cdot 10^{-3},$$

де G_2 , G_4 – витрати мережної води за двотрубною і чотиритрубною схемами теплопостачання відповідно; m_i – кількість споживачів, що отримують гарячу воду від ІТП, що розглядається; m – загальна кількість мешканців у мікрорайоні; τ_1^p, τ_2^p – розрахункова температура мережної води у подавальному й зворотному трубопроводах теплової мережі; $\gamma_{\max}$ – співвідношення максимальних теплових навантажень гарячого водопостачання й опалення мікрорайону до утеплення будівель.

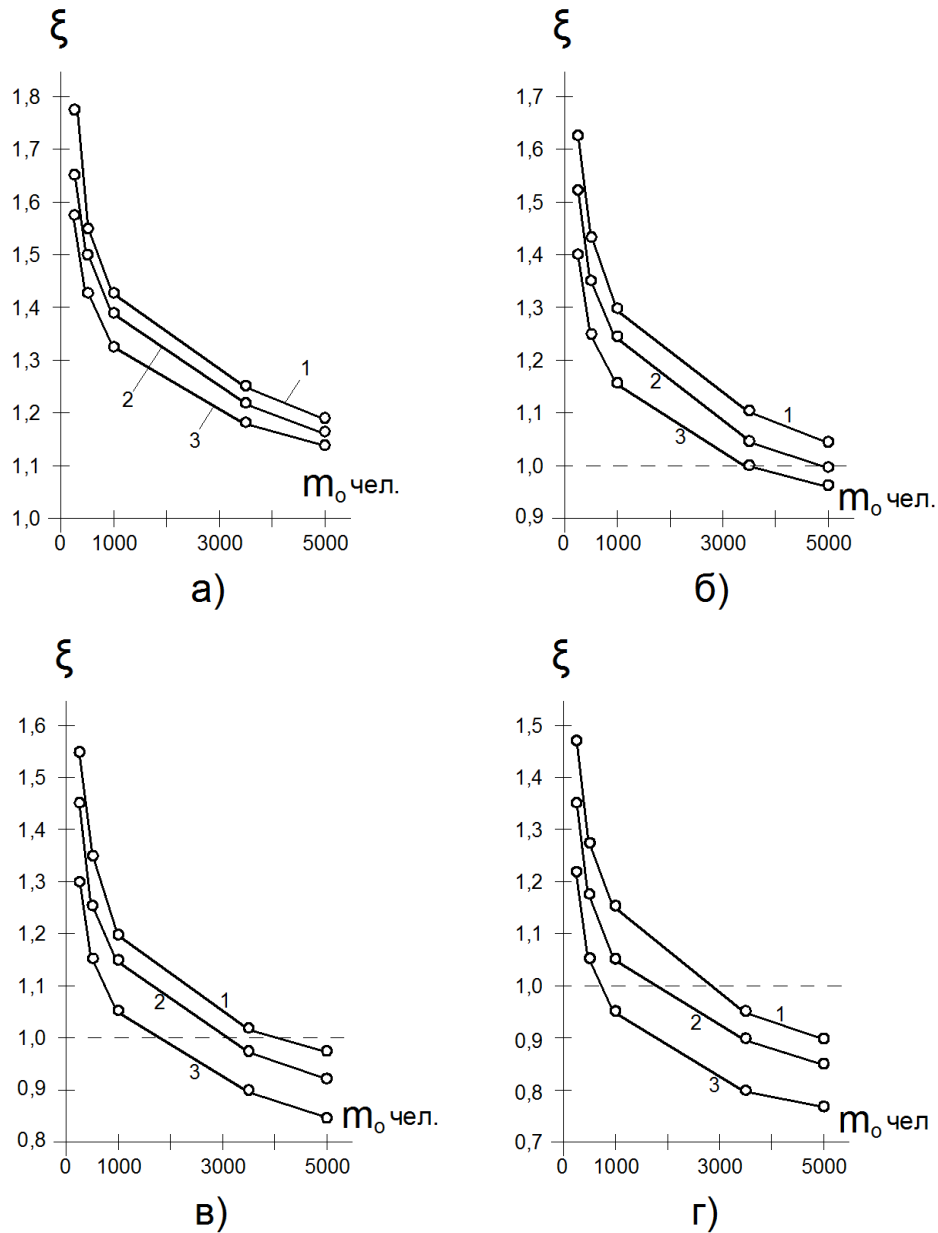


Рисунок 4.4 – Зміна витрат мережної води для гарячого водопостачання будівель мікрорайону під час переходу до двотрубної схеми теплопостачання:

$\zeta = \left(\sum_{i=1}^n G_{\text{итп}} \right) / G_{\text{цтп}}$ ($G_{\text{итп}}$ – витрати теплоносія через індивідуальний тепловий пункт будівлі; n – кількість індивідуальних теплових пунктів; $G_{\text{цтп}}$ – витрати теплоносія через центральний тепловий пункт за чотиритрубної системи теплопостачання);

а – $\mu = 1,0$; б – $\mu = 0,8$; в – $\mu = 0,65$; г – $\mu = 0,5$; 1 – $\gamma = 1,0$; 2 – $\gamma = 0,8$; 3 – $\gamma = 0,6$

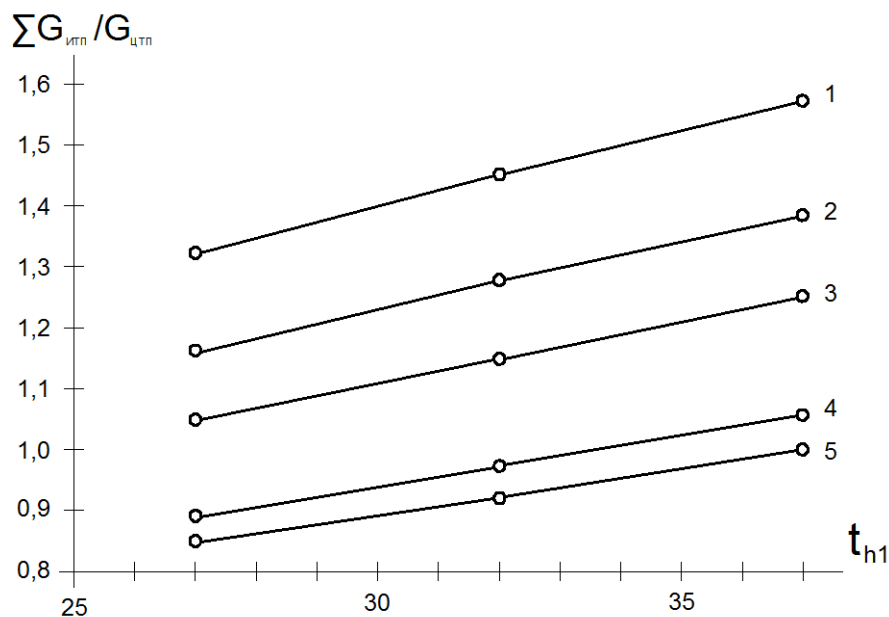


Рисунок 4.5 – Вплив температури нагрівання води на першому ступені водопідігрівної установки на зміну сумарних витрат мережної води:
1, 2, 3, 4, 5 – номери розрахункових варіантів ($\mu = 0,65$; $\gamma = 0,8$)

Формулу (4.11) отримано у припущенні, що підігрівники гарячої води на індивідуальних теплових пунктах приєднано до теплових мереж за одноступінчастою схемою. З урахуванням зниження витрат теплоти на опалення будівель під час утеплення, яке оцінюється коефіцієнтом μ , рівняння (4.11) трансформується до вигляду:

$$\frac{G_2}{G_4} = \frac{1}{A} \left[0,093 \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{0,817}}{m} + \frac{\mu}{\gamma_{\max} (\tau_1^p - \tau_2^p)} \right]; \quad (4.12)$$

Обчислення проведено для ідеалізованих груп будівель з однаковою кількістю мешканців ($m = 10\,000$). Характеристики житлових груп подано у таблиці 4.11. Ефективність утеплення будівель прийнято однаковою для всіх споруд і рівною $\mu = 0,65$. Для вихідного варіанта (чотиритрубна схема організації теплопостачання мікрорайону) прийнято такі діапазони величин $0,3 \leq \gamma_{\max} \leq 0,6$; $25 \leq t'_{h1} \leq 35$ °C. Величину зміни відносних витрат мережної води при переході до двотрубної схеми теплопостачання з попереднім утепленням будівель $\beta_{\text{ур}} = \left(\sum_{i=1}^n G_i / G_{\text{цтп}} \right)_{\text{ур}}$ порівнювали з результатами обчислень зміни відносних витрат мережної води при

вказаному переході без утеплення будівель β . У таблиці 4.13 проведено співставлення результатів обчислення для найбільш вірогідного значення нагріву водопровідної води на першому ступені мікрорайонної водопідігрівної установки $t_h^I = 35^\circ\text{C}$.

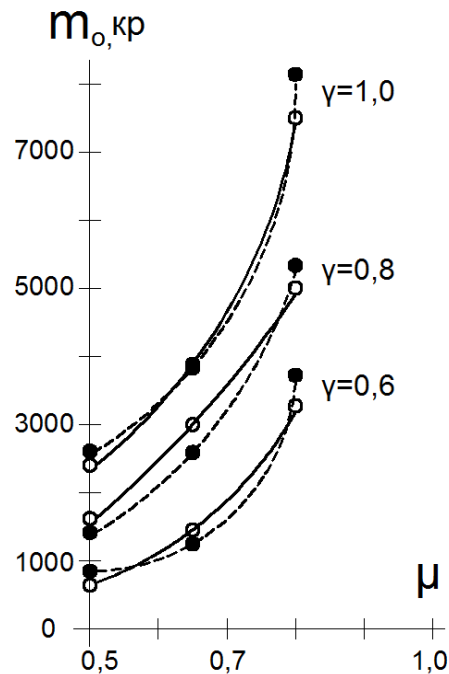


Рисунок 4.6 – Зміна критичної кількості мешканців будівлі мікрорайону, що забезпечує зменшення витрат мережної води під час переходу до двотрубно́ї системи теплопостачання:

———— розрахунок; — — — — — формула (4.10)

Таблиця 4.13 – Зміна відносних витрат мережної води під час заміни чотиритрубно́ї системи теплопостачання мікрорайону на двотрубну за попереднього утеплення будівель ($\mu = 0,65$)

Значення (β_{ym}/β) за співвідношення γ_{max}	Варіант				
	1	2	3	4	5
0,3	0,817	0,802	0,790	0,770	0,760
0,4	0,837	0,820	0,809	0,790	0,770
0,5	0,854	0,840	0,830	0,810	0,793
0,6	0,872	0,870	0,845	0,826	0,810

Як свідчать наведені дані, попереднє утеплення будівель з ефективністю $\mu = 0,65$ забезпечує зниження потрібних витрат мережної води для теплопостачання житлової групи орієнтовно на 13 – 24 % залежно від характеристик групи будівель. Під час проектування двоступінчастих підігрівних установок гарячого водопостачання вибір температури нагріву води на першому ступені t_h^I помітно позначається на конструктивних параметрах теплообмінних апаратів і витратах нагрівного теплоносія. Тому було проведено серію обчислень для оцінки впливу вказаної температури на витрати мережної води. Зафіксована відмінність зміни витрат води з теплових мереж під час переходу до двотрубною системи теплопостачання для значень температури $t_h^I = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_h^I = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ знаходиться у межах 4–8 % залежно від величини $\gamma_{\max}$ (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Вплив температури нагріву водопровідної води на першому ступені підігрівної установки гарячого водопостачання t_h^I на витрати мережної води за двохступінчастої послідовної схеми приєднання до теплових мереж

$(\beta_{ym}/\beta)_{35}/(\beta_{ym}/\beta)_{25}$ за співвідношення $\gamma_{\max}$	Варіант				
	1	2	3	4	5
0,3	1,044	1,045	1,043	1,044	1,043
0,4	1,056	1,055	1,056	1,056	1,056
0,5	1,067	1,068	1,068	1,067	1,068
0,6	1,078	1,078	1,078	1,078	1,078
Примітка: $(\beta_{ym}/\beta)_{35}$ – відношення величини зниження витрат за температури $t_h^I = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$; $(\beta_{ym}/\beta)_{25}$ – вказане відношення витрат за температури $t_h^I = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.					

У підсумку необхідно сказати, що під час переходу централізованого теплопостачання мікрорайонів з чотиритрубною системи до двотрубною варто очікувати зменшення річних втрат теплоти у теплових мережах на рівні 17–25 %. Більш помітне зменшення теплових втрат зафіксовано під час переходу до двотрубною системи з використанням існуючої

(за чотиритрубною системою) опалювальною мережею. Переходу до двотрубною системою теплопостачання мікрорайону повинне передувати утеплення будівель із максимально можливою ефективністю, що дозволить зменшити потрібні витрати мережної води і у низці випадків дозволить здійснити вказаний перехід без заміни трубопроводів опалювальною мережею вихідного варіанта.

4.3 Зменшення непродуктивних витрат води і теплоти у системі гарячого водопостачання під час переходу до двотрубною системою теплопостачання мікрорайону

Для аналізу використано методику оцінки впливу характеру забудови мікрорайону на показники роботи системи гарячого водопостачання, наведену у [47]. Залежність добового споживання води від тиску води за відсутності регулювання тиску води на вводах до будівель записано формулою:

$$G = 146 + 5(H - 2\bar{a}), \text{ л/(добу} \cdot \text{мешк.)} \quad (4.13)$$

де H – середній тиск води на вводі до найвищої у мікрорайоні будівлі;
 $\bar{a}$ – середня кількість поверхів забудови.

Середню кількість поверхів забудови $\bar{a}$ обчислюють за формулою:

$$\bar{a} = \frac{\sum (n_i \cdot a_i)}{n}, \quad (4.14)$$

де n_i – загальна кількість квартир у будівлях із кількістю поверхів;
 n – загальна кількість квартир у забудові.

Відношення кількості поверхів найвищої будівлі у мікрорайоні до середньої кількості поверхів забудови називають коефіцієнтом нерівномірності забудови $K_3 = \frac{a_d}{\bar{a}}$.

Якщо на вводах до будівлі передбачене регулювання тиску, залежність добового споживання води від тиску води можна записати рівнянням [47]:

$$G' = \frac{\sum (146 + 5(H_i - 2a_i))n_i}{n}, \quad (4.15)$$

де H_i – тиск води на вводі до будівлі з кількістю поверхів n_i .

Таким чином, річні перевитрати води у кожній квартирі, що обслуговується системою водопостачання мікрорайону дорівнюють:

$$\Delta G = 365(G - G') \cdot n_{cp}, \text{ л/(рік/кварт.)}, \quad (4.16)$$

де n_{cp} – середня кількість мешканців у квартирі.

Орієнтовно приймаючи, що розподіл перевитрат води між системами холодного і гарячого водопостачання оцінюється співвідношенням $\Delta G_r = 0,4\Delta G$ [47], можна визначити перевитрати гарячої води по мікрорайону в цілому при об'єднанні в одну систему будівель з різною кількістю поверхів:

$$\Delta G_{r,mp} = \frac{\Delta G_r \sum n_i}{10^3}. \quad (4.17)$$

Річні втрати теплоти у системі гарячого водопостачання мікрорайону, що обумовлені перевитратами гарячої води можна обчислити за формулою:

$$\Delta Q_{mp} = \Delta G_{r,mp} \cdot C(t_r - t_x), \quad (4.18)$$

де t_r , t_x – температура гарячої і холодної води відповідно.

Економічні втрати від об'єднання в єдину систему різноповерхових споруд не обмежується тільки втратами води й теплоти. Він посилюється також і втратами електроенергії, необхідної для подачі води від центрального теплового пункту до будівель. Величину перевитрати електроенергії визначають залежно від величини перевитрат гарячої води і різниці геометричних висот будівель мікрорайону. Зменшення перевитрат води, теплової та електричної енергії можна досягти встановленням регуляторів тиску на вводі водопроводу в усі будівлі, зонування системи гарячого водопостачання. При зонуванні частина висотної будівлі (нижні поверхи) приєднано до загальної мікрорайонної мережі гарячого водопостачання, у якій підтримують тиск води, достатній для водопостачання невисоких будівель, а верхня зона висотних споруд окремим трубопроводом і насосом. Циркуляція води у верхній зоні здійснюється завдяки тепловому напору, а підігрів води відбувається у теплообмінному апараті, встановленому у підвалі будівлі. Як нагріве

середовище для теплообмінника використовують воду, що циркулює у нижній зоні. Улаштування у будівлях індивідуальних теплових пунктів з підігрівниками і насосами гарячого водопостачання також дозволяє вирішити проблему забезпечення тиску гарячої води, необхідного для кожної конкретної споруди.

Для визначення економії електроенергії при використанні названих методів можна скористатися наведеним у роботі [47] графіком (рис. 4.7). Перевитрати електроенергії (а відповідно і економія) є функцією коефіцієнтів нерівномірності забудови K_3 і кількості поверхів найвищої будівлі a_d .

Як підкреслено у [47], у системах гарячого водопостачання встановлення регуляторів тиску на вводах може різко скоротити, а за певних умов і припинити взагалі циркуляцію води у будівлях з малою кількістю поверхів. Тому такий спосіб у системах гарячого водопостачання зазвичай не застосовують. Зонування системи гарячого водопостачання можна без забруднень реалізувати на стадії проектування. В умовах існуючої забудови такий спосіб ускладнений через проблеми з улаштуванням зон у будівлях існуючих типових проєктів.

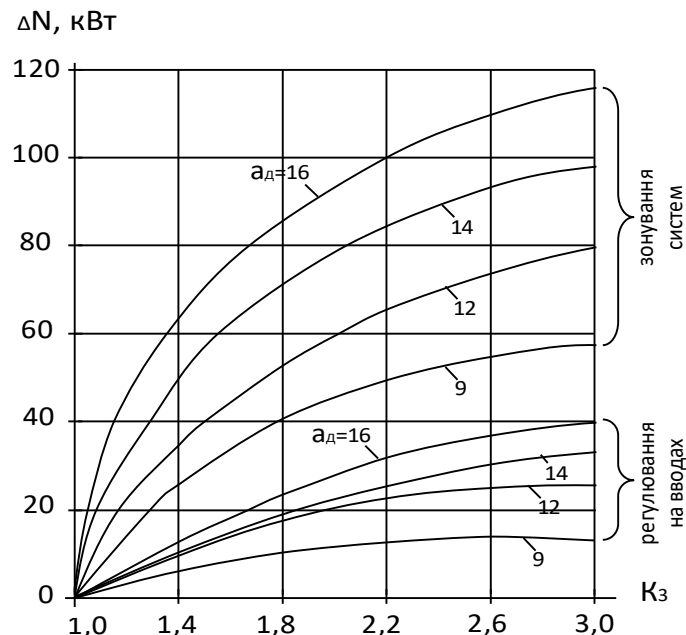


Рисунок 4.7 – Залежність зменшення потужності електродвигунів насосів водопостачання від коефіцієнта нерівномірності забудови

Вплив параметрів забудови на величину економії ресурсів при обладнанні у будівлях індивідуальних теплових пунктів з підігрівниками гарячої води проілюстровано на прикладах мікрорайонів, характеристики яких наведено у таблиці 4.11. Результати обчислень економії води гарячої води, теплоти і електроенергії для гарячого водопостачання подано у таблиці 4.12.

Під час переходу від централізованого гарячого водопостачання до нагріву води на індивідуальних теплових пунктах окремих споруд для груп будівель, що характеризуються суттєвою нерівномірністю забудови, зафіксовано більш помітне зменшення непродуктивних перевитрат гарячої води. Пов'язане з цим споживання електроенергії, необхідної для транспортування води розподільною мережею до споруд, для розглянутих груп будівель становило приблизно 3,5 % від річних витрат електроенергії насосами водопостачання. На рисунку 4.8 наведено графік зміни можливої економії теплоти завдяки зменшенню перевитрат води у системі гарячого водопостачання залежно від коефіцієнта нерівномірності забудови. Для розглянутих груп будівель річна економія теплоти при забезпеченні будівель гарячою водою за допомогою встановлених на індивідуальних теплових пунктах теплообмінних апаратів порівняно зі схемою гарячого водопостачання від централізованої мікрорайонної підігрівної установки становить від 0,55 % до 3,6 %. Результати обчислень апроксимовано формулою:

$$\Delta Q = 5,85 \left(1 - \frac{1}{K_3} \right), \% \quad (4.17)$$

Таблиця 4.11 – Характеристики варіантів забудови житлових груп

Номер варіанта	Кількість поверхів									Кількість мешканців, осіб
	5		9			12		16		
	кількість секцій будівлі									
	3	4	3	4	6	4	6	1	2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	35	—	—	—	—	—	—	—	10 010
2	—	14	—	6	4	—	—	—	—	9 968

Продовження таблиці 4.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	—	—	—	20	—	—	—	—	—	10 080
4	—	—	—	6	—	—	7	—	—	10 080
5	—	—	—	—	—	6	4	9	—	10 080
6	5	14	—	8	—	—	—	5	—	10 122
7	—	20	—	10	—	—	—	9	—	10 556
8	—	14	—	—	—	—	—	—	14	10 192
9	—	32	—	—	—	—	—	5	—	10 080

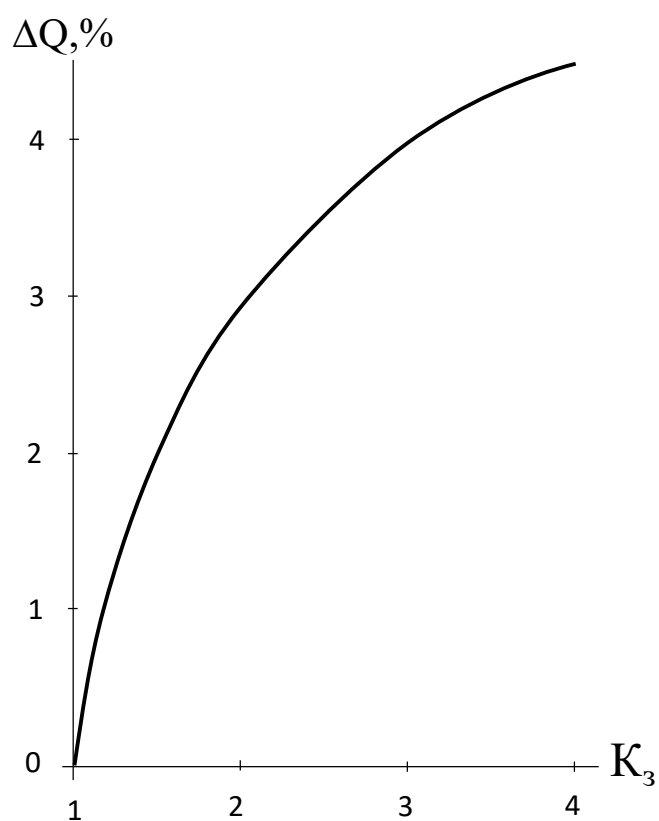


Рисунок 4.8 – Залежність зменшення перевитрат теплоти системою гарячого водопостачання від коефіцієнта нерівномірності забудови

Таблиця 4.12 – Річна економія енергоресурсів і гарячої води при від'єднанні систем будівель мікрорайону від загальної мережі гарячого водопостачання

Показник	Варіант (за табл. 4.11)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Середня кількість поверхів	5	7,4	9	11.1	12,8	7,8	9	7,1	6,2
Коефіцієнт нерівномірності забудови, K_z	1,0	1,21	1,0	1,08	1,25	2,05	1,8	2,24	2,6
Економія гарячої води, $\text{м}^3/\text{рік}$	0	26,85	0	17,28	55,3	147,5	131,5	164	174
Економія електроенергії, $\text{МВт} \cdot \text{годин}/\text{рік}$	0	58,8	0	33,6	84	22,7	21	294	311
Економія теплоти, $\text{ГДж}/\text{рік}$	0	5,6	0	3,6	11,6	30,9	27,5	34,3	36,4

Висновки:

1. Під час переходу від чотиритрубною системи централізованого теплопостачання мікрорайонів до двотрубною й обладнанні індивідуальних теплових пунктів будівель теплообмінниками гарячого водопостачання, приєднаними до теплових мереж за одноступінчастою паралельною схемою, варто очікувати, з одного боку, зменшення сумарної площі поверхні теплообміну підігрівників порівняно з величиною площі загальномікрорайонної установки за чотиритрубною системи теплопостачання; з другого боку – зростання витрат мережної води для потреб гарячого водопостачання. Найбільше зниження розрахункової площі поверхні теплообмінників гарячого водопостачання зафіксовано для будівель з більшою кількістю поверхів або більшою кількістю мешканців. Для розглянутих умов зафіксоване зростання витрат води з теплових мереж для потреб гарячого водопостачання, яке становить від 21 % до 45 %.

2. Очікуване зменшення річних втрат теплоти трубопроводами в теплових мережах під час переходу до двотрубної системи знаходиться у межах 17 – 25 %. Більш помітне зменшення теплових втрат зафіксовано у випадку використання існуючої (за чотиритрубною системою) опалювальної мережі.

3. Переходу до двотрубної системи теплопостачання мікрорайону повинне передувати утеплення будівель із максимально можливою ефективністю, що дозволить зменшити потрібні витрати мережної води і у низці випадків дозволить здійснити вказаний перехід без заміни трубопроводів опалювальної мережі вихідного варіанта. Зменшення витрат мережної води залежить від кількості мешканців у будівлі, схеми приєднання і характеристик підігрівної установки гарячого водопостачання у вихідному варіанті виконання системи.

4. Економічний ефект переходу до двотрубною схеми теплопостачання груп будівель доповнюється зменшенням витрат теплоти для потреб гарячого водопостачання завдяки зменшенню непродуктивних витрат води.

5 ОЦІНКА РЕСУРСУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ МІКРОРАЙОНУ

Ефективність проведення заходів з енергозбереження проілюстровано на прикладі 522-1 мікрорайону Салтівського житлового масиву у м. Харкові. Забудову мікрорайону здійснено 9-ти, 12-ти та 16-типоверховими житловими будинками. Розподіл житлового фонду за будівлями з різною кількістю поверхів подано у таблиці 5.1. Там само наведені значення необхідного напору води на вводі до системи водопостачання будинків. Усереднену кількість мешканців однієї квартири прийнято рівною 3,5. Визначена за формулою (4.14) середня кількість поверхів житлових будівель становить $\bar{a} = 12$. Коефіцієнт нерівномірності забудови мікрорайону дорівнює $K_3 = 1,33$.

Таблиця 5.1 – Характеристика забудови мікрорайону

Показник	Значення для будівлі з кількістю поверхів		
	9	12	16
Кількість квартир у будинках з означеною кількістю поверхів (сумарна для мікрорайону)	432	3696	320
Напір води на вводі до будівель, $H_{\text{вв}}$, м вод. ст.	31	40	51

На території житлової групи знаходяться три школи, два дитячих комбінати, заклади торгівлі. Витрати теплоти для потреб опалення і вентиляції громадських споруд становлять приблизно 24 % від витрат теплоти на такі ж потреби для житлових будівель мікрорайону загалом. Подача теплової енергії для мікрорайону здійснюється від опалювальної котельні двотрубною водяною тепловою мережею. Теплові навантаження будівель прийнято за даними КП «Харківські теплові мережі». Максимальні витрати теплоти для мікрорайону подано у таблиці 5.2. Для керування процесами теплопостачання у мікрорайоні передбачено теплорозподільну станцію (ТРС). Нагрівання води для системи гарячого водопостачання відбувається у встановлених на ТРС пластинчастих

теплообмінних апаратах. Відповідно до величини співвідношення теплових навантажень опалення і гарячого водопостачання ($Q_{h.max}/Q_{o.max} = 0,78$) для приєднання підігрівників води для господарсько-побутових потреб прийнято двоступінчасту змішану схему. Теплові мережі від теплорозподільної станції до споживачів тритрубні (подавальний і зворотний трубопроводи системи опалення і подавальний трубопровід централізованого гарячого водопостачання). Прокладання теплопроводів здійснено переважно у непрохідних каналах. Схему теплових мереж мікрорайону подано на рисунку 5.1. Система розподільних теплопроводів має дві основні вітки з приблизно однаковим сумарним тепловим навантаженнями приєднаних до віток будівель. Характеристику теплових мереж подано у таблиці 5.2.

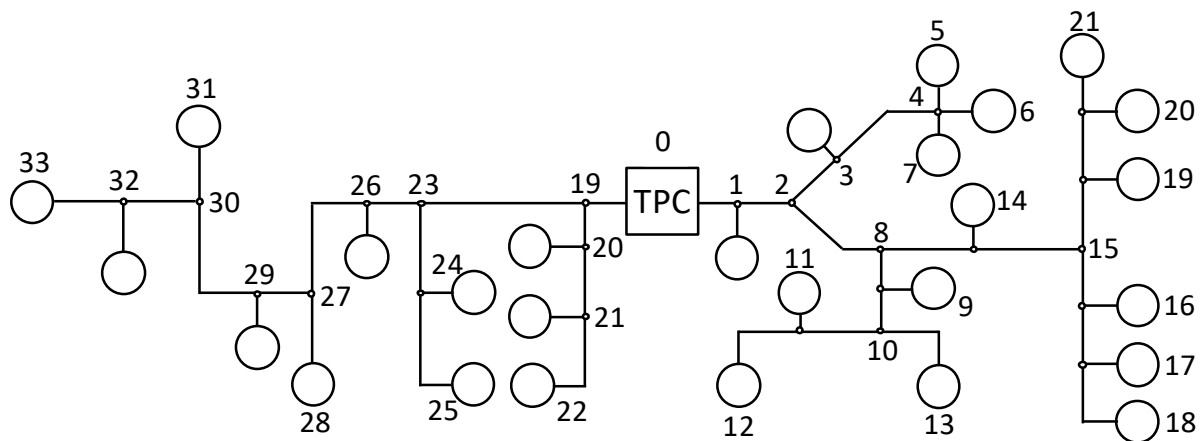


Рисунок 5.1 – Схема тепlopостачання мікрорайону:

ТПС – теплорозподільна станція; 1, 2,...32 – розрахункові точки мережі

Таблиця 5.2 – Характеристики системи тепlopостачання 522-1 мікрорайону

Показник	вітка (0-1-21)	вітка (0-19-33)	мікрорайон загалом
Максимальні витрати теплоти для опалення, МВт	9,9	8,1	18,0
Максимальні витрати теплоти для потреб гарячого водопостачання, МВт	7,2	6,8	14,0
Довжина теплопроводів основного напрямку, м	608	521	1129
Довжина теплопроводів відгалужень, м	627	386	1013
Матеріальна характеристика трубопроводів:			
– основного напрямку, м ² ;	101	104	205
– відгалужень, м. ²	88,7	99,7	188,4

Для ділянок розподільних теплопроводів проведено тепловий і гідравлічний розрахунки. Довжину і діаметр розрахункових ділянок прийнято за даними КП «Харківські теплові мережі». Питомі втрати тиску через тертя під час руху речовин на ділянці мережі R_d визначено за допомогою спеціальних номограм для гідравлічного розрахунку теплопроводів водяних теплових мереж і трубопроводів гарячого водопостачання. Втрати тиску на ділянці визначено за формулою:

$$\Delta P_d = R_d \cdot L_d (1 + k_M), \quad (5.1)$$

де L_d – довжина розрахункової ділянки; k_M – коефіцієнт для врахування втрат тиску у місцевих опорах теплопроводів.

Потужність насосів обчислено за формулою:

$$N = \frac{H_n \cdot G \cdot g}{\eta_n}, \quad (5.2)$$

де G – подача насоса; g – прискорення вільного падіння; η_n – коефіцієнт корисної дії насосів.

Необхідний напір води на виході з насоса H_n складається з втрат тиску у трубопроводах мережі і напору води на ввіді до будівлі (при обчисленнях показників насосних установок централізованих систем до уваги прийнято величину напору, необхідну для функціонування інженерних систем найвищої будівлі). Прийняті вихідні дані для обчислення споживання електроенергії насосами системи теплопостачання подано у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані до обчислень

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Коефіцієнт корисної дії насосів	—	0,65
Напір водопровідної води на ввіді до мікрорайону	м вод. ст.	25
Тривалість опалювального періоду	діб	189
Тривалість роботи системи гарячого водопостачання	діб	350
Тривалість роботи системи теплопостачання за двотрубною схемою	діб	350

Теплові втрати трубопроводами опалювальної мережі визначено за наведеною у розділі 3.1 методикою, яка дозволяє врахувати зміну витрат і температури мережної води вздовж теплопроводу. Обчислення проведено для розрахункової для опалення та середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря. Значення температури мережної води на виході з ТРС до мікрорайонної мережі прийнято відповідно 105 °С та 92 °С. Температуру ґрунту на глибині прокладання теплопроводів прийнято рівною 5 °С. Обчислення втрат теплоти здійснено для умови, що опір теплопередачі ізолюваних трубопроводів відповідає нормативним вимогам. Втрати теплоти конструктивними елементами теплових мереж враховано коефіцієнтом $k = 1,15$ [25, 26].

Втрати теплоти на ділянках трубопроводу гарячого водопостачання обчислено за тією ж методикою, що й втрати теплопроводами мережею опалення. Витрати гарячої води на ділянках обчислено за формулою:

$$G_h = \frac{Q_h}{C(t_r - t_x)}, \quad (5.3)$$

де Q_h – теплове навантаження ділянки; C – питома теплоємність води.

Температуру гарячої води на виході підігрівної установки прийнято рівною $t_r = 60$ °С [5], Температуру холодної води в опалювальний період прийнято рівною $t_x = 5$ °С [5], у літній період $t_x = 15$ °С [5]. Витрати теплоти для потреб гарячого водопостачання у літній період ($Q_{h,л}$) обчислено за величиною витрат для гарячого водопостачання в опалювальний період ($Q_{h,з}$) за формулою:

$$Q_{h,л} = Q_{h,з} \frac{(t_r - 15)}{(t_r - 5)}. \quad (5.4)$$

Річні витрати теплоти на гаряче водопостачання визначено за формулою [5]:

$$Q_h^p = [Q_{h,з} \cdot n + Q_{h,л} (350 - n)] \cdot 24 \cdot 3600, \text{ Дж}, \quad (5.5)$$

де n – тривалість опалювального періоду.

Особливістю роботи системи гарячого водопостачання є суттєва нерівномірність витрачання води впродовж доби з наявністю ранкового та вечірнього піків споживання і практично нульовою потребою у нічні години. Співвідношення максимальних і середніх за добу витрат гарячої води прийнято рівним 2,4 [6]. Здійснено порівняння теплових втрат трубопроводами гарячого водопостачання мікрорайону за максимальних і середніх витратах гарячої води. Збільшення витрат гарячої води у пікові години обумовлює зростання величини тепловмісту об'єму води у трубопроводі і менш інтенсивне охолодження води під час її руху по трубопроводу. Зафіксована відмінність втрат теплоти трубопроводами за максимальних і середніх витрат води становить приблизно 3,8 %. У подальших обчисленнях використано величину теплових втрат за середніх за добу витрат води.

Добова нерівномірність споживання води у системах побутового гарячого водопостачання за відсутності циркуляції призводить до охолодження води в трубопроводах при невеликому розборі або у разі його відсутності, наприклад, у нічні години, і обумовлює непродуктивні втрати води і теплоти при зливанні охолодженої води з трубопроводів системи в ранкові години. Для запобігання таких втрат централізовані системи виготовляють з додатковим, циркуляційним трубопроводом, по якому невитрачена споживачами вода повертається до пристрою для нагрівання, підігрівається і знову надходить до подавальних трубопроводів системи. Тим самим забезпечується необхідний рівень температури гарячої води впродовж потрібного відрізка часу. Залежно від призначення систем циркуляція води може здійснюватися або безперервно впродовж доби або періодично перед початком тривалого водорозбору. Рух води в трубопроводах у режимі циркуляції забезпечується циркуляційним насосом. Система централізованого гарячого водопостачання розглянутого мікрорайону не передбачає циркуляції води, що спричиняє втрати води особливо у ранкові години доби. Разом із тим втрачається і відповідна кількість теплоти, яку було підведено до води під час її нагрівання. Охолодження води за 8 годин нічного часу визначено у припущенні стаціонарності процесу теплообміну на окремих інтервалах часу. Температуру води наприкінці розрахункового інтервалу часу $\Delta\tau$ обчислено з рівняння теплового балансу фрагмента трубопроводу гарячого водопостачання:

$$\Delta\tau \cdot Q = M \cdot C(t_{\text{п}} - t_{\text{к}}), \quad (5.6)$$

$$M = V \cdot \rho, \quad (5.7)$$

де Q – втрати теплоти на ділянці трубопроводу; M – маса води у фрагменті трубопроводу; V – об'єм води; ρ – питома вага води; C – питома теплоємність води; $t_{\text{п}}$, $t_{\text{к}}$ – початкова і кінцева температура води у межах розрахункового інтервалу часу $\Delta\tau$.

Теплові втрати трубопроводом обчислено за формулою (3.2) при нормативних питомих значеннях, які обрано залежно від діаметра трубопроводу, і при значенні коефіцієнта для обліку втрат теплоти

конструктивними елементами мережі 1,15. Розрахунковий інтервал часу прийнято рівним $\Delta\tau = 1$ год. Температуру у початковий момент процесу охолодження (умовний 0 годин) прийнято рівною 60 °С. Температура води на початку кожного наступного інтервалу часу дорівнює температурі наприкінці попереднього інтервалу часу. Результати визначення питомих втрат трубопроводами гарячого водопостачання різного діаметра за 8 нічних годин відсутності водорозбору наведено у таблиці 5.4. Загальні втрати теплоти трубопроводами мережі гарячого водопостачання за вказаний інтервал часу для вітки (0–1–21) становлять 2 140 МДж, для вітки (0–19–33) – 1 542 МДж. Сумарні добові теплові втрати трубопроводами гарячої води мікрорайону через відсутність циркуляції дорівнюють 3 682 МДж.

Економічні втрати від об'єднання в єдину систему різноповерхових споруд обчислено за формулами (4.13), (4.15), (4.16). Величину перевитрати електроенергії визначено за допомогою рисунка 4.4. Результати обчислень показників системи теплопостачання для вихідного розрахункового варіанта (до проведення робіт з утеплення будівель) подано у таблицях 5.5, 5.6.

Таблиця 5.4 – Теплові втрати трубопроводами системи гарячого водопостачання у нічні години доби

Діаметр трубопроводу, мм	273	219	159	133	108	89	76
Питомі втрати теплоти, МДж/м	2,59	2,12	1,64	1,41	1,16	0,95	0,80

Таблиця 5.5 – Перевитрати теплоти у системі гарячого водопостачання через об'єднання в єдину систему різноповерхових споруд

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Річні витрати гарячої води за відсутності регулювання тиску води на вводі до будівель	л/рік	$0,64 \cdot 10^9$
Річні витрати гарячої води під час регулювання тиску води на вводі до будівель	л/рік	$0,56 \cdot 10^9$
Втрати теплоти через відсутність регулювання тиску води на вводі до будівель	Дж/рік	$16,8 \cdot 10^{12}$

Таблиця 5.6 – Показники системи тепlopостачання мікрорайону
(вихідний варіант)

№ з/п	Показник	Значення
1	Річні витрати теплоти на опалення будівель мікрорайону, ГДж/рік	$144 * 10^3$
2	Річні втрати теплоти трубопроводами опалювальної мережі, ГДж/рік	$5,57 * 10^3$
3	Річна потреба в тепловій енергії для опалення будівель мікрорайону (з урахуванням теплових втрат в мережах), ГДж/рік	$149,57 * 10^3$
4	Річні витрати теплоти на гаряче водопостачання будівель мікрорайону, ГДж/рік	$161,8 * 10^3$
5	Річні втрати теплоти трубопроводами мережі гарячого водопостачання, ГДж/рік: – у денні години доби – у нічні години доби через відсутність циркуляції	$3,04 * 10^3$ $1,29 * 10^3$
6	Непродуктивні втрати теплоти у системі гарячого водопостачання, ГДж/рік	$128,2 * 10^3$
7	Річна потреба в тепловій енергії для потреб гарячого водопостачання мікрорайону (з урахуванням всіх видів теплових втрат, ГДж/рік	$294,3 * 10^3$
8	Річна потреба в тепловій енергії для мікрорайону, ГДж/рік	$443,9 * 10^3$
9	Річні умовні витрати електроенергії для роботи насосів системи опалення, кВт·годин	$736,6 * 10^3$
10	Річні витрати електроенергії підвищуючи ми насосами водопостачання, кВт·годин	$357,2 * 10^3$
11	Перевитрати електроенергії через непродуктивне використання гарячої води, кВт·годин	$84 * 10^3$
12	Річні витрати електроенергії системою тепlopостачання мікрорайону, кВт·годин	$1\,178 * 10^3$

Таблиця 5.7 – Характеристика етапів проведення робіт з енергозбереження

Номер етапу	Перелік заходів	Очікувані результати
1	Утеплення частини будівель мікрорайону	1. Зменшення витрат теплоти на опалення будівель. 2. Зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі. 3. Зменшення витрат мережної води для опалення будівель
2	Утеплення ще частини будівель мікрорайону	
3	Утеплення всіх будівель мікрорайону	
4	Улаштування підігрівних установок гарячого водопостачання на індивідуальних теплових пунктах всіх будівель. Перехід до двотрубною системи теплопостачання мікрорайону	1. Зменшення втрат теплоти в теплових мережах завдяки відсутності розподільних трубопроводів системи гарячого водопостачання. 2. Зменшення непродуктивних витрат гарячої вод. 3. Зменшення витрат теплоти на опалення будівель завдяки більш точному корегуванню режимів відпуску теплоти за допомогою встановлених на ІТП будівель засобів автоматизації

Програму заходів зі зменшення теплоспоживання мікрорайону планується виконувати протягом декількох років у чотири етапи (характеристику етапів подано у табл. 5.7). Кількість і конкретне наповнення етапів залежить від наявних матеріально-технічних ресурсів і характеристик забудови. На першому етапі необхідно провести утеплення частини будівель. Прийнято, що доведення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій споруд до рівня, який є необхідним згідно з діючими нормативами, забезпечує зменшення витрат теплоти на опалення окремої будівлі на 40 %. Виконання робіт першого етапу дозволить зменшити розрахункове опалювальне навантаження мікрорайону на 12 %.

Для підтвердження висновків розділу 3 розглянуто три можливих варіанта плану виконання робіт з енергозбереження на першому етапі, характеристику яких подано у таблиці 5.8. Перший варіант передбачає утеплення будівель вітки (0–19–33), найвіддаленіших від теплорозподільної станції (рис. 5.2, а).

Таблиця 5.8 – Можливі варіанти виконання робіт з утеплення будівель на першому етапі

Варіант	Перелік заходів	Очікувані результати
а	Утеплення найвіддаленіших будівель від ТРС будівель на вітці (0–19–33) (рис. 5.2, а)	1. Зменшення вихідного опалювального навантаження мікрорайону на 12 %. 2. Зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі на 4,3 %. 3. Зменшення витрат мережної води для опалення будівель на 18,2 %.
б	Утеплення найближчих до ТРС будівель на вітці (0–19–33) (рис. 5.2, б)	1. Зменшення вихідного опалювального навантаження мікрорайону на 11,2 %. 2. Зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі на 1,3 %. 3. Зменшення витрат мережної води для опалення будівель на 16,7 % порівняно з вихідними витратами
в	Утеплення найвіддаленіших на обох вітках будівель (рис. 5.2, в)	1. Зменшення вихідного опалювального навантаження мікрорайону на 12 %. 2. Зменшення втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі на 5,2 %. 3. Зменшення витрат мережної води для опалення будівель на 19,4 %.

За другим варіантом утепленню підлягають найближчі до ТРС будівлі, що приєднані до вказаної вітки (рис. 5.2, б). Третій варіант першого етапу передбачає утеплення будівель, найвіддаленіших від теплорозподільної станції на обох вітках мережі (рис. 5.2, в). Для кожного з варіантів за описаною у розділі 3 методикою визначено теплові втрати трубопроводами опалювальної мережі та витрати теплоносія з урахуванням зменшення опалювального навантаження утеплених будівель й охолодження теплоносія у теплових мережах. Наведені у таблиці 5.8 результати обчислень втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі свідчать, що за приблизно однакового рівня зменшення витрат теплоти для опалення будівель мікрорайону при реалізації першого етапу робіт з енергозбереження за третім варіантом матимемо втрати теплоти трубопроводами мережі опалення на 2,9 % менше, ніж для вихідного варіанта (до утеплення будівель). Тоді як при утепленні найближчих до ТРС будівель вітки (0–33) зниження втрат теплоти становить приблизно 1,3 %. Різниця річних втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі для варіантів б та в становить 88 ГДж/рік. Такої кількості теплоти достатньо для опалення дитячого комбінату розглянутого мікрорайону впродовж майже півтора тижня. Отже, за однакових капіталовкладеннях у термомодернізацію будівель утеплення найвіддаленіших на вітках будівель забезпечить додаткову економію теплової енергії завдяки зменшенню втрат теплоти під час транспортування теплоносія системою розподільних трубопроводів.

На другому етапі додатково до утеплених на попередньому етапі (варіантом в) будівель здійснено термомодернізацію ще двох споруд, приєднаних до вітки (0-19-33), та чотирьох споруд, що приєднано до вітки (0–1–21). Розміщення утеплених будівель за планом робіт другого етапу показано на рисунку 5.3. Під час вибору об'єктів для проведення робіт з енергозбереження було дотримано принципу утеплення найвіддаленіших від теплорозподільної станції споруд на обох вітках мережі. Виконання робіт третього етапу завершує процес утеплення розглянутої групи будівель, що забезпечує зменшення опалювального навантаження мікрорайону на 40 %.

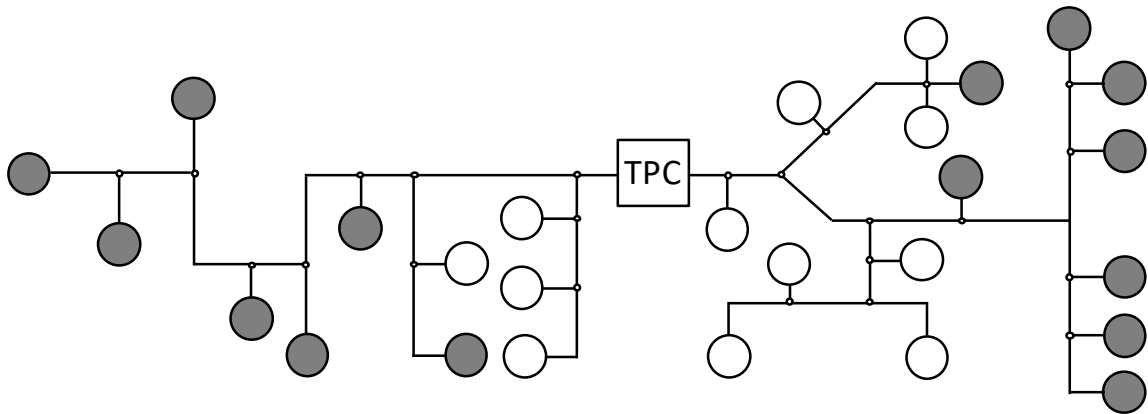


Рисунок 5.3 – Розташування утеплених будівель на схемі теплопостачання (третій етап термомодернізації мікрорайону):

ТПС – теплорозподільна станція

● – Утеплена будівля ○ – Неутеплена будівля

На четвертому етапі проведення робіт з енергозбереження у мікрорайоні передбачається улаштування у кожній будівлі автоматизованого індивідуального теплового пункту з підігрівною установкою гарячого водопостачання і перехід до двотрубною схеми теплопостачання мікрорайону. Застосування сучасних засобів автоматизації у схемах теплових пунктів дозволяє економити від 10 % до 17 % теплової енергії, необхідної для опалення споруди [8]. При визначенні ефективності заходів четвертого етапу величину зменшення витрат теплоти на опалення будівель після встановлення сучасних ІТП прийнято на рівні 12 %. Улаштування підігрівних установок гарячого водопостачання у кожній будівлі мікрорайону дозволить відмовитися від мікрорайонної мережі гарячого водопостачання і перейти до двотрубною схеми теплопостачання. Таке рішення, заплановане на четвертому етапі виконання робіт з енергозбереження, забезпечить додаткове зменшення втрат теплоти теплопроводами. Реалізувати цей крок доцільно після завершення робіт з утеплення всіх чи більшості споруд мікрорайону, що у низці випадків дає можливість використати існуючу мережу опалення для теплопостачання будівель у «нових» умовах. У цьому розділі розглянуто саме такий варіант переходу від чотиритрубною схеми до двотрубною. Зміну витрат мережної води по довжині головних віток опалювальною мережі

мікрорайону показано на рисунку 5.4, з якого видно, що під час переходу до двотрубною схеми організації теплопостачання не очікується зростання витрат води. Для вітки (0–1) зменшення витрат мережної води становить приблизно 9,7 %, для вітки (0–19) – 2,4 %. При використанні існуючої мережі розподільних трубопроводів системи опалення для теплопостачання будівель за двотрубною схемою можливе зменшення середніх питомих втрат тиску через тертя на вітці (0–1) становить приблизно 15 %, для вітки (0–19) – 2,6 %. Таким чином, під час переходу до двотрубною системи мікрорайону не варто очікувати збільшення умовних витрат електроенергії насосами для транспортування теплоносія до будівель. Підсумкові результати визначення показників гідравлічного режиму двотрубною системи теплопостачання мікрорайону подано у таблиці 5.9. Річні втрати теплоти трубопроводами системи теплопостачання мікрорайону для двотрубною схеми обчислено як суму втрат за опалювальний і літній періоди. Середня за опалювальний період температура мережної води на вході до подавального трубопроводу мікрорайонної мережі прийнята рівною 92 °С. Температуру мережної води у літній період прийнято у точці зламу температурного графіка (77 °С для подавального трубопроводу і 42 °С для зворотного трубопроводу). Витрати мережної води для будівель у літній період обчислено з урахуванням тільки потреби для нагріву води для гарячого водопостачання.

Подані у таблиці 5.10 результати ілюструють зміну показників теплопостачання мікрорайону за поетапного виконання заходів з енергозбереження. У підсумку після завершення IV етапу загального плану робіт можна очікувати зменшення річного споживання теплоти будівлями мікрорайону приблизно на 19 %. Подальшим кроком зі зменшення витрат теплоти мікрорайоном може бути перехід на новий, знижений температурний графік відпуску теплоти будівлям мікрорайону, що забезпечить додаткове зменшення втрат теплоти трубопроводами розподільної мережі. Помітного зменшення витрат теплоти для потреб гарячого водопостачання будівель можна досягти встановленням лічильників гарячої води у кожній квартирі.

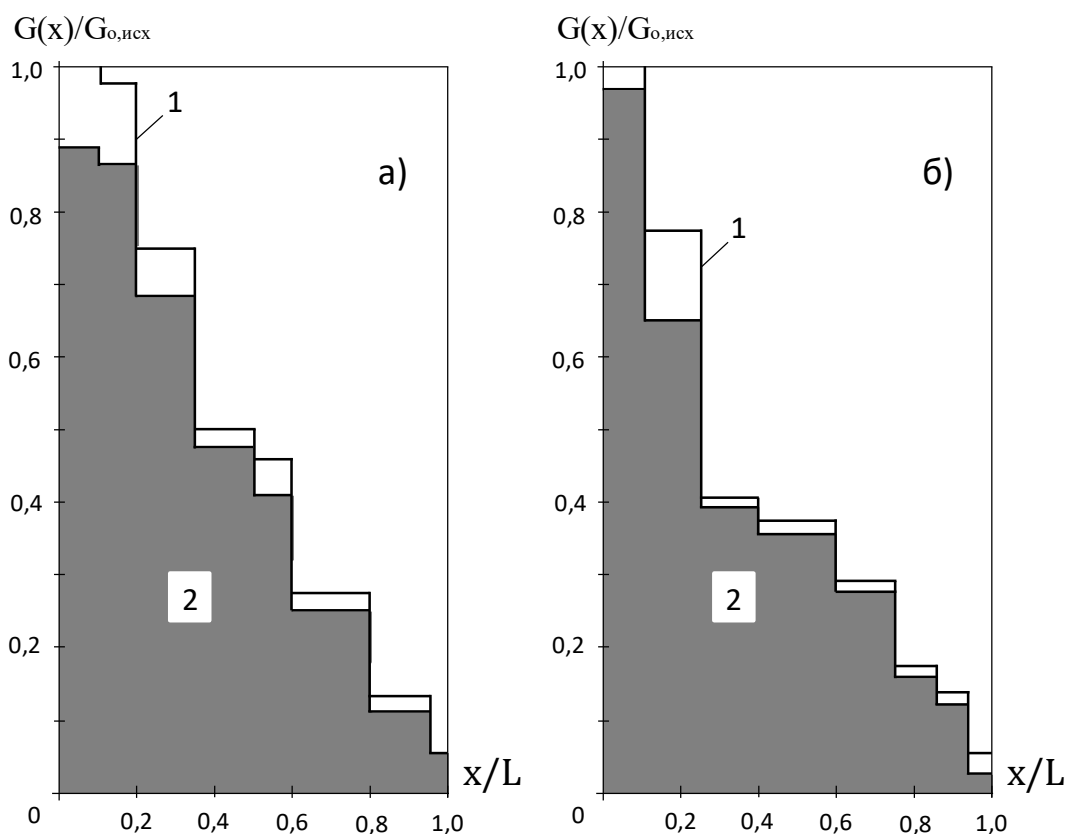


Рисунок 5.4 – Зміна мережної води на ділянках головних віток розподільних теплопроводів мікрорайону:

а) – вітка (0–1); б) – вітка (0–19);

1 – опалювальна мережа за чотиритрубної схеми;

2 – мережа теплопостачання за двотрубної схеми

Таблиця 5.9 – Показники двотрубної системи теплопостачання

№ з/п	Показник	Значення
1	Річні умовні витрати електроенергії для роботи насосів системи опалення, кВт/годин	$1\,064 \cdot 10^3$
2	Річні витрати електроенергії підвищуючи ми насосами водопостачання (для забезпечення водою споруд з кількістю поверхів не більше 12), кВт/годин	$212 \cdot 10^3$
3	Річні витрати електроенергії насосами водопостачання будівель висотою понад 12 поверхів, кВт/годин	$10,8 \cdot 10^3$
4	Річні витрати електроенергії системою теплопостачання мікрорайону, кВт/годин	$1287 \cdot 10^3$ (зростання відносно ихідного варіанта 9,2 %)

Таблиця 5.10 – Зміна показників теплопостачання мікрорайону в результаті поетапного виконання робіт з енергозбереження

Показник	Значення показника (у дужках – зменшення величини відносно вихідного варіанта, %)			
	Номер етапу			
	I	II	III	IV
Річні витрати теплоти на опалення будівель, ГДж/рік	126 * 10 ³ (12 %)	111 * 10 ³ (22,6 %)	86,4 * 10 ³ (40 %)	76 * 10 ³ (47,2 %)
Річні втрати теплоти трубопроводами опалювальної мережі, ГДж/рік	5,41 * 10 ³ (3 %)	5,19 * 10 ³ (6,8 %)	4,78 * 10 ³ (14,2 %)	*8,75 * 10 ³
Річна потреба в тепловій енергії для опалення мікрорайону, ГДж/рік	132,1 * 10 ³ (11,7 %)	116,6 * 10 ³ (22,2 %)	91,2 * 10 ³ (39 %)	
Річні витрати теплоти на гаряче водопостачання (ГВ), ГДж/рік	161,8 * 10 ³ (0 %)	161,8 * 10 ³ (0 %)	161,8 * 10 ³ (0 %)	161,8 * 10 ³ (0 %)
Річні втрати теплоти у системі гарячого водопостачання, ГДж/рік: – трубопроводами мережі; – через непродуктивні втрати.	4,33 * 10 ³ (0 %) 128,2 * 10 ³ (0%)	3,04 * 10 ³ (0 %) 128,2 * 10 ³ (0%)	3,04 * 10 ³ (0 %) 128,2 * 10 ³ (0%)	0 112,4 * 10 ³ (12,3%)
Річна потреба в тепловій енергії для ГВ мікрорайону з урахуванням всіх видів втрат теплоти, ГДж/рік	294,3 * 10 ³ (0 %)	294,3 * 10 ³ (0 %)	294,3 * 10 ³ (0 %)	274,2 * 10 ³ (6,8 %)
Річна потреба в теплоті для мікрорайону (з урахуванням всіх видів втрат теплоти), ГДж/рік	426,4 * 10 ³ (3,9 %)	411 * 10 ³ (7,4 %)	385,5 * 10 ³ (13,2 %)	359 * 10 ³ (19,1 %)
* Для IV етапу вказані втрати коректніше називати річними втратами теплоти трубопроводами системи теплопостачання мікрорайону.				

ВИСНОВКИ

1. На прикладі 522-1 мікрорайону Салтівського житлового масиву у м. Харкові проаналізовано ефективність комплексу заходів із проведення робіт з енергозбереження. Показано, що виконання комплексу заходів із проведення робіт з енергозбереження дозволить для розглянутого мікрорайону приблизно на 19 % зменшити річну потребу в тепловій енергії.

2. Переходу до двотрубною схеми теплопостачання мікрорайону, який розглядається як остаточний етап комплексу робіт, повинні передувати роботи з підвищення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сегединов А. А. Проблемы экономики развития инфраструктуры городов / А. А. Сегединов. – М. : Стройиздат, 1981. – 216 с.
2. Губіна М. В. Формування житлової забудови в містах : навч. посібник / М. В. Губіна. – Київ : ІСДО, 1994. – 136 с.
3. Концепция оценки технического состояния городских инженерных систем и электрического транспорта г. Харькова / Л. Н. Шутенко, М. С. Золотов, Н. А. Шульга и др. // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техніка, 2007. – Вып. 37. – С. 131–134.
4. Дмитриев А. В. Городские инженерные сети / А. В. Дмитриев, А. Б. Кетаев. – М. : Стройиздат, 1988. – 176 с.
5. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарські потреби в Україні : керівний технічний матеріал 204 України, 244-94, 195. – 636 с.
6. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / [Н. Н. Чистяков, М. М. Грудзинский, В. И. Личак и др.]. – М. : Стройиздат, 1988. – 314 с.
7. Зингер Н. М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н. М. Зингер, В. Г. Бестолченко, А. А. Жидков. – М. : Стройиздат, 1990. – 185 с.
8. Бобух А. О. Автоматизація інженерних систем : навч. посібник / А. О. Бобух. – Харків : ХНАМГ, 2005. – 212 с.
9. Маляренко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження / В. А. Маляренко. – Харків : САГА, 2006. – 484 с.
10. Фомичев Е. П. Направления модернизации систем отопления / Е. П. Фомичев // Энергосбережение на транспорте и в промышленности. Инновационные решения : Сборник материалов 3-й научно-практической конференции : 2008 г. – Одесса – С. 80–85.
11. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31 : 2016. – Офіційне видання. – Київ : Мінрегіон України, 2017.
12. Алексахин А. А. Оценка энергосберегающего потенциала функционирующих жилых зданий / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – №1(95), 2012 – С. 10–14.

13. Украина : Энергосбережение в зданиях. – Киев : ЕС-Energy Centre. Kiev, 2002. – 274 с.
14. Олли Сеппанен. Требования к энергоэффективности зданий в странах ЕС // Энергосбережение. – 2010. – № 7. С. 42–50.
15. Савйовский В. В. Ремонт и реконструкция гражданских зданий / В. В. Савйовский, О. Н. Болотских. – Харьков : Ватерпас, 1999. – 288 с.
16. Маляренко В. А. Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений / В. А. Маляренко, А. Ф. Редько, Ю. И. Чайка, В. Б. Поволочко. – Харьков : Рубикон, 2001. – 280 с.
17. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Справочник / И. Г. Староверов. – М. : Стройиздат, 1976. – 426 с.
18. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий. Проектирование. Справочник / Г. В. Русланов, М. Я. Розкин, Э. Л. Ямпольский. – Київ : Будівельник, 1983. – 272 с.
19. Тарадай А. М. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения / А. М. Тарадай. – Харьков : Основа, 1998. – 192 с.
20. Козин В. Е. Теплоснабжение / В. Е. Козин, Т. А. Левина, А. П. Марков. – М. : Высш. школа, 1980. – 408 с.
21. Методические указания по тепловым и гидравлическим расчетам пластинчатых теплообменников (водонагревателей), применяемых в системах теплоснабжения. – Київ : 1998. – 49 с.
22. Показатели работы системы отопления при дополнительной теплоизоляции стройконструкций / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский, И. Л. Деркач // Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие технологии в системах теплогазоснабжения и вентиляции». – Пенза, ПГУАС, 2011.
23. Зингер Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н. М. Зингер. – М. : Энергоиздат, 1986. – 320 с.
24. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях. РД 34.09.255–97 – М. : 1998. – 56 с.
25. Тепловая изоляция. Справочник / под. ред. Г. Ф. Кузнецов. – М. : Стройиздат, 1995. – 421 с.

26. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. Справочник / А. А. Николаев. – М. : Стройиздат, 1965. – 359 с.
27. Будівельна кліматологія : ДСТУ – НБВ.1.1-27:2010 : чинний від 01.11.2011. : Мінрегіонбуд, Київ. 2011. – 123 с.
28. Справочник по гидравлике. Справочник / под редак. В. А. Большакова. – Київ : Вища школа, 1984. – 368 с.
29. Алексахін О. О. Теплові розрахунки мікрорайонних систем теплопостачання; монографія / О. О. Алексахін. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 138 с.
30. Теплотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. № 9, 2011.
31. Энергосбережение в коммунальной теплоэнергетике / С. Ю. Андреев, А. П. Голованов, А. П. Репин // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, № 3, 2007, С. 62–68.
32. Расчет теплотерь подающими трубопроводами разветвленных тепловых сетей / А. А. Алексахин, С. В. Ена, Е. П. Гордиенко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2016. – № 1. – С. 45–50.
33. Тепловое состояние трубопроводов отопительной сети при утеплении зданий микрорайона / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский, А. В. Величко // Збірник наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. Вип. 132, Харків – 2012.
34. Спрощена методика обчислення теплових втрат трубопроводами розгалуженої опалювальної мережі з урахуванням утеплення будівель / О. О. Алексахін, О. В. Бобловський // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. № 7(113), 2013.
35. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова. – М. : Энергия, 1979. – 320 с.
36. Шубин Е. П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов / Е. П. Шубин. – М. : Энергия, 1979. – 360 с.
37. Шенк К. Теория инженерного эксперимента / К. Шенк. – М. : Мир. – 381 с.
38. Влияние места локализации повышенных теплотерь на подающем трубопроводе теплосети на средние по длине значения / А. А. Алексахин, С. В. Ена, Е. П. Гордиенко // Інтегровані технології та енергозбереження, № 3, 2017, Харків, С. 51–56.

39. Харлампіді Д. Х. Розрахунково-експериментальне дослідження спеціалізованих тепло насосних установок. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Харків, 2000. – 18 с.
40. Зингер Н. М. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения: / Н. М. Зингер, А. М. Тарадай, Л. С. Бармина. – М. : Энергоиздат, 1995 – 256 с.
41. Пластинчатые теплообменники в промышленности : учеб. пособие / [Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П. А. КАПУСТЕНКО, Г. Л. ХАВИН и др.]. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2004. – 232 с.
42. Губіна М. В. Формування житлової забудови в містах : навч. посібник / М. В. Губіна. – Київ : ІСДО, 1994. – 136 с.
43. Дмитриев А. В. Городские инженерные сети / А. В. Дмитриев, А. Б. Кетаев. – М. : Стройиздат, 1988. – 176 с.
44. Втрати тиску у мікрорайонних теплових мережах / О. О. Алексахін, О. В. Бобловський // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Харків : 2014, – Вип. № 114, С. 168–172.
45. К вопросу о переходе на двухтрубные системы теплоснабжения микрорайонов / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. № 11(142), 2015, С. 26–31.
46. Определение расхода сетевой воды для микрорайона при переходе к двухтрубной системе теплоснабжения / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків : 2017, – Вип. № 134, С. 65–68.
47. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособие / [Л. Д. Богуславский, В. И. Ливчак, В. П. Титов и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Конструктивні характеристики будинків і результати обчислення зменшення витрат теплоти системою опалення

Тип будинку	I-464A-15	I-447C-42	II-57 (3 секції)	II-57 (4 секції)
1	2	3	4	5
Кількість поверхів	5	9	9	9
Житлова площа, м ²	4 347	2 492	6 605	8 806
Площа зовнішніх стін (без урахування скління), м ²	2 263,3	2 467,26	2 784	3 544
Загальна площа вікон, м ²	565,8	505,24	817,1	1 090
Загальна площа зовнішніх огорожень F, м ²	2 829,1	2 972,5	3 601,1	4 634
Об'єм споруди V, м ³	11 302	6 728	16 802	22 402
Зменшення опалювального навантаження внаслідок забезпечення сучасних нормативних вимог до опору теплопередачі ($Q_{01} - Q_{02}$) / Q_{01} , %	23,8	32,9	26,4	26
Зменшення опалювального навантаження при виконанні комплексу заходів з енергозбереження (включно із заходами для системи вентиляції), %	34,8	40,9	36,3	35,9

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5
Тип будинку	II-57 (6 секцій)	176-Т-8-1	III-162 2 п/1	3с-16
Кількість поверхів	9	12	16	16
Житлова площа, м ²	13 210	4 184,8	5 045,8	6 163,1
Площа зовнішніх стін (без урахування скління), м ²	5 063	3 355,1	3 483,1	3 854
Загальна площа вікон, м ²	1 634,2	546,2	663,5	641
Загальна площа вікон, м ²	1 634,2	546,2	663,5	641
Загальна площа зовнішніх огорожень F, м ²	6 697,2	3 901,3	4 146,6	4 495
Об'єм споруди V, м ³	33 604	11 290	13 624	18 226
Зменшення опалювального навантаження внаслідок забезпечення сучасних нормативних вимог до опору теплопередачі (Q01- Q02)/ Q01, %	25,3	29,7	27,3	27,9
Зменшення опалювального навантаження при виконанні комплексу заходів з енергозбереження (включно із заходами для системи вентиляції), %	35,3	39,1	37,3	37,6

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Припустима товщина ізоляційного шару трубопроводів надземної прокладки і прокладки у непрохідних каналах

Надземне прокладання		Прокладання в непрохідних каналах		
Умовний діаметр, мм	Товщина, мм	Умовний діаметр, мм	Товщина для всіх трубопроводів, крім труб для транспортування	Товщина для трубопроводів гарячої води, мм
25	40	25	70	60
40	80	50	100	80
50	100	100	150	90
100	130	150	150	100
150	160	200	180	100
200	180	250	180	100
300	200	300	190	100
400	210	350	200	100
500	220	400	200	110
600	230	500 та більше	200	120
800	240	—	—	—
1 000	260	—	—	—

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Середня температура ґрунту для деяких міст України [24]

Місто	Зимня		Літня		Середньорічна	
	Глибина ґрунту, м					
	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6
Київ	1	2,7	17,3	15,1	8,5	8,5
Одеса	3,2	5,5	23	19,6	12,7	12,5
Харків	1,5	2,7	17,1	15,7	8,8	8,9

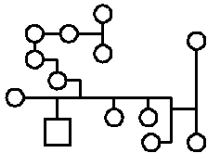
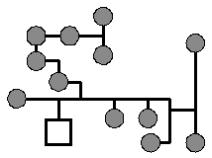
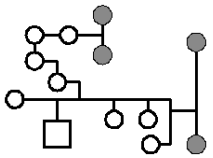
ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Норми теплових витрат ізольованими теплопроводами водяних теплових мереж у непрохідних каналах і при безканаліному прокладанні за середньорічної температури ґрунту на глибині прокладання + 5 °С

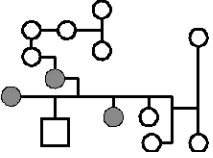
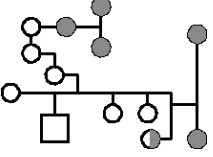
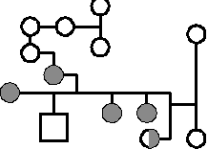
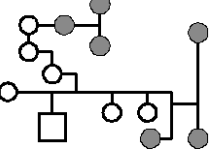
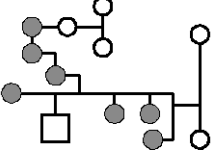
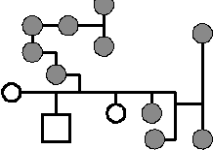
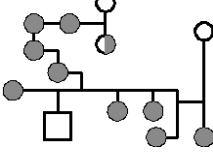
Діаметр труб, мм	Питомий тепловий потік Вт/м				
	З поверхні зворотної труби за $t_{cp} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	З поверхні подавальної труби	Сумарний за сумісного прокладання	З поверхні подавальної труби	Сумарний за сумісного прокладання
		При температурі подавальної труби, $^{\circ}\text{C}$ $t_{max} = 95, t_{min} = 40,$ $t_{cp} = 65^{\circ}\text{C}$		При температурі подавальної труби, $^{\circ}\text{C}$ $t_{max} = 150, t_{min} = 70,$ $t_{cp} = 90^{\circ}\text{C}$	
32	23	29	51	37	60
57	29	36	65	46	75
76	34	41	75	52	86
89	36	44	80	57	93
108	40	49	89	63	103
159	49	60	109	76	124
219	59	72	131	92	151
273	70	84	154	104	174
325	79	94	173	116	195
377	88	—	—	124	212
426	95	—	—	141	236
478	106	—	—	153	260
529	117	—	—	165	282
630	133	—	—	188	321
720	145	—	—	211	356
820	164	—	—	233	397
920	180	—	—	254	434
1 020	198	—	—	279	477

ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Результати розрахунку опалювальної мережі

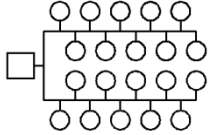
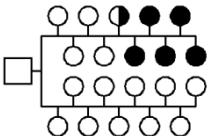
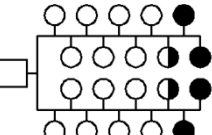
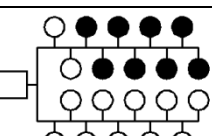
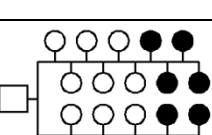
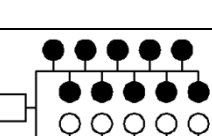
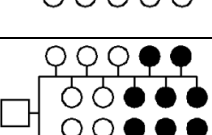
Розрахункова схема: ● - утеплені будівлі; ○ частково утеплені будівлі.	Зниження розрахункового опалювального навантаження загалом для будівель	Відносне опалювальне навантаження	Витрати теплоносія, кг/с	Тепловтрати, КВт	
				загальні	зворотною лінією
1	2	3	4	5	6
	0 % (вихідний варіант)	1,0	26,84	165,5	56,22
		0,49		108,5	39,34
		0,38		86,08	31,86
	10 %	1,0	22,43	158,2	48,91
		0,49		105,8	36,7
		0,38		83,25	29,03
	20 %	1,0	18,58	152,28	42,94
		0,49		102,97	33,84
		0,38		80,47	26,25
	30 %	1,0	15,17	145,85	36,5
		0,49		99,42	30,29
		0,38		78,65	24,42
	40 %	1,0	12,19	139	29,7
		0,49		102,8	33,7
		0,38		72,96	18,73
	50 %	1,0	9,54	132,74	23,43
		0,49		93,33	24,2
		0,38		72,51	18,29
	10 %	1,0	23,25	155,6	46,29
		0,49		101,25	32,11
		0,38		80,98	26,76

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6
	10 %	1,0	23,32	162,2	52,9
		0,49		108,04	38,91
		0,38		85,04	30,8
	20 %	1,0	19,84	149,08	39,8
		0,49		100,7	31,57
		0,38		79,52	25,29
	20 %	1,0	19,72	162,5	53,04
		0,49		105,3	36,2
		0,38		82,64	28,41
	30 %	1,0	16,96	144,17	34,9
		0,49		97,64	28,5
		0,38		77,25	23,03
	30 %	1,0	16,36	159,6	50,27
		0,49		102,4	33,3
		0,38		80,44	26,21
	40 %	1,0	11,57	131,6	22,3
		0,49		94,18	25,05
		0,38		75,75	21,52
	40 %	1,0	12,81	153,6	44,25
		0,49		103,07	33,94
		0,38		77,49	23,27

ДОДАТОК Е

Таблиця Е.1 – Питомі теплові втрати трубопроводами мережі, Вт/м²
(група будівель з однаковим опалювальним навантаженням, рис. 3.11, а)

Розрахункова схема	μ	Питомі втрати теплоти, Вт/м ²								
		вітка (1–21)			вітка (11–21)			мережа загалом		
		а	б	в	а	б	в	а	б	в
	1,0	323	211	534	323	211	534	339	221	560
	0,9	318	175	493	318	175	493	336	204	539
	0,9	321	189	510	321	189	510	336	198	534
	0,86	318	168	486	318	168	486	336	199	535
	0,86	320	184	504	320	184	504	335	193	528
	0,75	311	144	455	311	144	455	332	186	518
	0,75	316	166	482	316	166	482	331,6	175,4	507
Примітки: а – подавальний трубопровід; б – зворотний; в – мережа загалом; ○ – неутеплені будівлі; ● – утеплені будівлі; ◐ – частково утеплені будівлі;  – центральний тепловий пункт										

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж.1 – Питомі теплові втрати трубопроводами мережі (група будівель з різним опалювальним навантаженням; рис. 3.1, б, рис. 3.1, в)

Розрахункова схема	μ	Питомі втрати теплоти, Вт/м ²								
		вітка (1–21)			вітка (11–21)			мережа загалом		
		а	б	в	а	б	в	а	б	в
	1,0	474	310	784	332	211	543	403	267	670
	0,86	474	310	784	318	167	485	407	241	648
	0,86	468	249	717	323	211	534	408	242	650
	0,86	471	263	733	320	184	504	407	231	638
	0,86	474	305	779	320	184	504	408	248	656
	0,88	474	305	779	321	189	510	408	251	659
	1,0	323	211	534	486	317	803	415	270	685
	0,97	323	211	534	484	312	796	414	268	682
	0,98	323	211	534	483	302	785	413	264	677

Примітки: а – подавальний трубопровід; б – зворотний; в – мережа загалом;

○ – будівлі з вихідним опалювальним навантаженням 0,1 МВт;

□ – будівлі з вихідним опалювальним навантаженням 0,2 МВт;

□ – центральний тепловий пункт.

ДОДАТОК И

Таблиця И.1 – Температурний графік центрального регулювання відпускання теплоти від опалювальної котельні

Середня за добу температура зовнішнього повітря, °С	Температура мережної води, °С			
	подача	зворотна від системи опалення	після елеватора	
			за $t_{3p} = 105\text{ °С}$	за $t_{3p} = 95\text{ °С}$
+10	77	46	56,5	53,5
+8	77	44,4	55,5	52,5
+6	77	43,5	55,0	52,0
+4	77	42,5	54,4	51,0
+3,5	77	42,0	54,3	50,7
+2	81,5	43,6	57,5	53,5
+1	84	44,7	59,5	55,0
0	87	46,0	61,5	57,0
-1	89	47,0	63,5	59,0
-2	92	48,0	65,0	60,0
-3	95	49,0	67,0	62,0
-4	96	50,0	69,0	64,0
-5	100	51,0	71,0	65,5
-6	103	52,0	73,0	67,0
-7	106	53,4	75,0	69,0
-8	108,5	54,7	77,0	71,0
-9	111,5	55,8	79,0	72,5
-10	114	57,0	81,0	74,0
-11	117	58,0	82,5	76,0
-12	120	59,0	85,0	77,0
-13	122,5	60,0	87,0	79,0
-14	125	61,0	88,5	80,5
-15	128	62,5	90,5	82,5
-16	131	63,5	92,5	84,0
-17	134	64,5	94,0	85,5
-18	135	65,5	96,0	87,0
-19	135	65,5	95,5	86,5
-21	135	63,5	94,7	85,5
-23	135	62	94,0	84,7

Наукове видання

АЛЕКСАХІН Олександр Олексійович,
БОБЛОВСЬКИЙ Олександр Володимирович

***ТЕПЛОВІ І ГІДРАВЛІЧНІ РЕЖИМИ МІКРОРАЙОННИХ
СИСТЕМ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ***

МОНОГРАФІЯ

Відповідальний за випуск *І. І. Капцов*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 27.07.2021. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк арк. 10,6.

Тираж 300 пр. Зам. № 10249.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.