

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)

УДК 697.343

СУЧАСНІ ВОДЯНІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Д-р техн. наук О. М. Тарадай, асп. С. В. Дяченко

MODERN WATER HEATING SYSTEMS WITH TWO SOURCES OF HEAT SUPPLY

Dr. Sc. (Tech.) O. Taradai, postgraduate student S. Diachenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.213.2025.341937>



Анотація. У статті розглянуто основні аспекти роботи залежних і незалежних поквартирних систем опалення, серед яких найбільш надійною та придатною в експлуатації є незалежна поквартирна система з двома джерелами теплопостачання. Впровадження таких систем забезпечує високу надійність теплопостачання, сприяє зниженню експлуатаційних витрат і забезпечує можливість проведення ремонтних або відновлювальних робіт без припинення подавання теплової енергії в інші частини будівлі. Зроблено висновки про перспективність впровадження незалежних поквартирних систем опалення як із будівництвом нових житлових комплексів, так і реконструкцією наявного житлового фонду.

Ключові слова: житловий фонд, системи опалення, теплоносій, електричні котли, будівництво, джерело.

Abstract. The article discusses the differences and key aspects of the functioning of dependent and independent apartment heating systems in multi-story residential buildings. Particular attention is paid to the analysis of various heating system schemes, among which an independent apartment system with two heat sources of heat supply is identified as the most reliable and cost-effective option.

The feasibility and effectiveness of using independent apartment heating systems with two heat sources of heat supply in multi-story residential buildings are comprehensively analysed. It has been established that this approach provides individual control over the thermal regime in each apartment, reduces the load on centralised networks in emergency situations and periods of peak consumption, and allows the system to be adapted to the needs of users. It has been established that in such systems it is advisable to use individual electric boilers in each apartment as a second heat supply source, which is a technically and economically sound solution. It has been established that such a combination ensures uninterrupted heating even in the event of failure of one of the sources, thereby increasing the overall reliability of the system. The implementation of such systems ensures high reliability of heat supply, reduces operating costs and simplifies repair or technical work without interrupting heating in other parts of the building. This, in turn, contributes to increased comfort for residents and optimisation of heating costs.

The results obtained confirm that the introduction of independent heating systems for flats with two heat sources of heat supply is a promising approach in modern residential construction, as well as in the reconstruction of existing housing stock with the aim of improving energy efficiency and reliability of heat supply.

Keywords: housing stock, heating systems, heat carrier, electric boilers, construction, source.

Вступ. Одним із основних завдань будь-якої держави є забезпечення раціонального використання енергоресурсів. Для України це питання має актуальну особливість, оскільки від ефективного споживання енергії залежить її стан енергетичної безпеки [1].

У цьому контексті особливу роль відіграють системи теплопостачання та опалення, які є невід'ємною складовою інфраструктури будь-якого міста чи населеного пункту, створюють і забезпечують споживачів необхідними умовами для їхнього комфортного існування. Проте постійне підвищення вимог щодо енергоефективності та енергетичної незалежності наявного багатоквартирного житлового фонду, дорожнеча комунальних послуг для населення стають основним стимулом для пошуку нових підходів щодо організації альтернативних систем опалення. Дедалі частіше ведуть дискусії в науковому та будівельному колі, присвячені комбінованим системам, що утворилися в результаті оптимізації традиційного централізованого та автономного теплопостачання.

Сьогодні одним із найбільш перспективних рішень є впровадження поквартирних комбінованих систем опалення з незалежною схемою підключення, що поєднують опалення з централізованим джерелом теплопостачання (ТЕЦ або котельня) і автономним, зокрема електричними котлами. До споживачів теплової енергії належать юридичні і фізичні особи, які використовують теплову енергію на підставі укладеного договору [2]. Тому впровадження сучасних підходів щодо теплоспоживання, зокрема індивідуального регулювання температурного режиму в окремих кімнатах квартири, відкриває для кожного споживача можливість самостійно управляти параметрами теплопостачання.

Це сприятиме досягненню економії енергоресурсів, поліпшенню комфортних умов проживання та зниженню витрат на ремонтно-експлуатаційні заходи.

Виклики, спричинені руйнуванням систем опалення під час бойових дій, роблять проблему можливості заміни джерела теплопостачання в кожній квартирі незалежно від інших квартир багатоповерхового житлового будинку досить актуальною. Розв'язання цієї проблеми необхідне не тільки для безпосереднього збереження нормальних умов життєдіяльності, але і оперативного проведення відновлювальних робіт.

У статті проаналізовано основні особливості функціонування поквартирних систем опалення із залежною та незалежною схемою підключення і двома джерелами теплопостачання, запропоновано рекомендації з поетапного переходу до поквартирних систем у наявному та новому житловому фонді. Досягнуті результати дослідження можуть бути корисними для тих, хто працює у сфері теплопостачання і будівництва: проектувальників, фахівців, інженерів, а також як база для подальших досліджень у галузі енергозбереження, теплотехніки та інженерних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження останніх років у сфері теплопостачання і будівництва свідчать, що різні типи систем опалення мають свої недоліки та переваги. Але найбільшого розповсюдження отримали саме водяні системи, які базовані на використанні централізованого джерела та котлів, що споживають різні види палива, зокрема електроенергію [3, 4].

Такий підхід забезпечує комбінованій системі вищу енергоефективність і надійність, ніж у системі з одним джерелом, тому його можна розглядати як ефективний напрям модернізації теплових мереж. Крім того, електричний котел можна використовувати як резервне або пікове джерело теплопостачання, що дасть змогу зменшити навантаження на централізоване джерело в разі виникнення аварійних ситуацій або в години максимального споживання [5].

Крім того, акцентовано на оптимізації витрат шляхом використання нічних тарифів на електроенергію [6, 7], що робить комбіновані системи в умовах сучасного енергетичного ринку економічно доцільними.

Проте проведений аналіз вітчизняної та закордонної наукової літератури свідчить, що існує недостатня кількість досліджень, які б поєднували техніко-економічні, екологічні та експлуатаційні аспекти застосування комбінованих систем у житловому фонді. Це свідчить про обмеження можливостей для формування об'єктивної оцінки ефективності цих систем і потребує подальших досліджень з урахуванням сучасних умов енергетичного ринку та кліматичних викликів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз техніко-економічних та експлуатаційних особливостей поквартирних систем опалення з двома джерелами теплопостачання і незалежною схемою підключення та оцінювання потенціалу їх впровадження як способу підвищення енергоефективності житлових будинків.

Завдання дослідження:

- огляд актуальних досліджень і наукової літератури;
- розкрити принцип роботи поквартирних систем опалення з двома джерелами теплопостачання та незалежною схемою підключення;
- проаналізувати їхні основні переваги та обмеження з реконструкцією наявного або будівництвом нового житлового фонду;
- розглянути можливі технічні рішення щодо застосування незалежної схеми.

Основна частина дослідження. Навіщо в системі потрібне друге джерело теплопостачання? Розглянемо можливі варіанти відповідей на це запитання:

1. Резервування подавання теплопостачання в разі аварійного виходу з ладу основної системи теплопостачання або її

окремих частин і, як наслідок, припинення подавання теплової енергії споживачу. Саме цей випадок особливо актуальний у контексті бойових дій.

2. Створення можливості збереження опалення у споживача в разі перебоїв у постачанні палива основним постачальником теплової енергії.

3. Створення можливості кожному мешканцю квартири або всім мешканцям квартир одного будинку вмикати систему опалення своєї квартири або всього будинку за власним бажанням протягом цілого року незалежно від термінів опалювального періоду, встановленого основним постачальником.

4. Можливість вільного вибору споживачем постачальника теплової енергії за вартісними показниками теплової енергії.

Обов'язковою умовою для можливості індивідуального вибору постачальника теплової енергії мешканцями квартир є наявність у багатоповерховому житловому будинку поквартирних горизонтальних двотрубних систем опалення з лічильниками теплової енергії.

Якщо будинок обладнаний вертикальними однотрубними системами опалення, то реалізація технічної можливості індивідуального вибору джерела теплопостачання та підключення до нього неможлива. За таких умов джерело вибирають колективно на рівні всього будинку.

В Україні основними (першими) джерелами теплопостачання є ТЕЦ, районні, квартальні, групові або місцеві (будинкові) котельні.

Квартирною системою може бути котел, встановлений у місцевій котельні, що працює на газовому або будь-якому іншому виді палива. Якщо теплоносій від цього котла (другого джерела) буде поданий до квартирних систем опалення тими самими трубопроводами, якими подають і теплоносій від основного джерела, то ми отримаємо систему опалення з можливістю зміни джерела теплопостачання тільки в цілому для всіх квартир одночасно.

Якщо ж теплоносій від другого джерела подати до кожної квартири по самостійному розвідному трубопроводу, то ми отримаємо систему опалення будинку з можливістю змінювати джерело тепlopостачання в кожній квартирній системі опалення за бажанням мешканців квартири. При цьому всі інші квартири можуть отримувати тепло, як і раніше, від першого джерела.

Таку схему можна розглядати виключно як теоретично можливу, оскільки її реальна практична реалізація потребує постійного функціонування другого джерела та наявності відповідного

кваліфікованого персоналу, здатного обслуговувати це джерело в будь-який час на вимогу окремого споживача.

Очевидно, що мешканці жодного багатоповерхового житлового будинку не погодяться мати такі додаткові, абсолютно необґрунтовані витрати.

На рис. 1 зображено можливу залежну поквартирну схему опалення багатоповерхового житлового будинку з двома джерелами тепlopостачання. Перше джерело – централізоване, що здійснює подавання теплоносія від теплових мереж, ТЕЦ або котельні. Другим джерелом є внутрішньобудинкова електрична котельня.

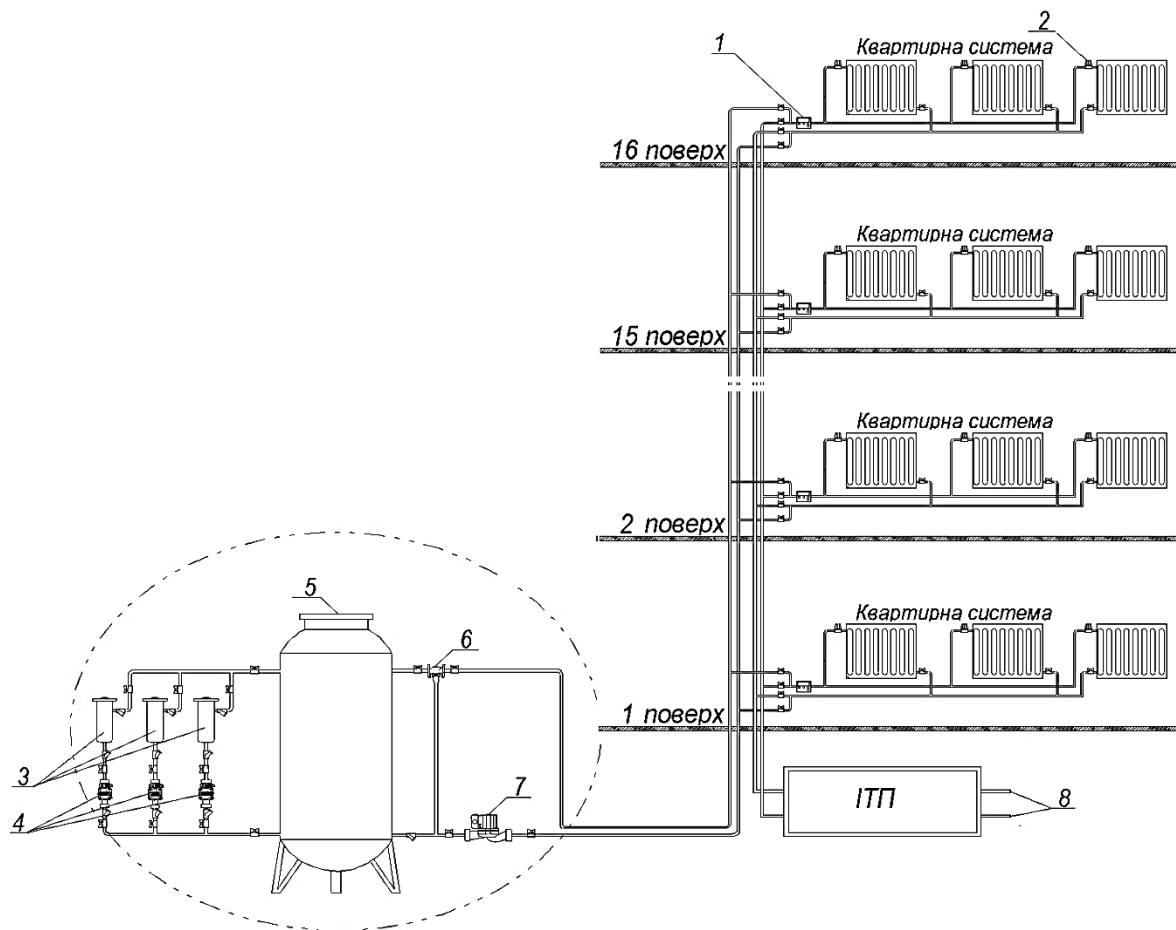


Рис. 1. Залежна поквартирна схема системи опалення багатоповерхового житлового будинку з двома джерелами тепlopостачання:

- 1 – квартирний лічильник теплової енергії; 2 – терморегулятор «Danfoss»;
- 3 – електродний котел; 4 – циркуляційний насос котельного контуру;
- 5 – теплоаккумуляторна ємність; 6 – регулювальний клапан; 7 – циркуляційний насос внутрішньосистемного контуру; 8 – ввід тепломережі

Реальним другим джерелом теплопостачання в такій схемі є лише електричний котел, оскільки використання будь-якого іншого котла, що працює на твердому або рідкому паливі, потребує істотних змін конструкції самого житлового будинку, а також значних додаткових площ для розміщення складів палива і продуктів його згоряння.

У запропонованій схемі, зображеній на рис. 1, уся внутрішньобудинкова поквартирна система опалення функціонує відповідно до гідравлічних і теплотехнічних параметрів джерел теплопостачання. Для прикладу, у квартирній системі опалення 16-поверхового будинку статичний тиск досягатиме граничних значень, наближених до норм міцності нагрівальних приладів та іншого обладнання.

Будь-які технологічні порушення в роботі зовнішньої системи теплопостачання безпосередньо будуть передаватися на внутрішньобудинковій системі, створюючи додаткові ризики для її надійності та довговічності.

У запропонованій схемі управління своєю внутрішньоквартирною системою опалення вибір джерела теплопостачання покладено на мешканця квартири, який здійснює управління шляхом відкривання/закривання відповідної запірної арматури на вводі до своєї квартири. Очевидно, що при цьому можуть виникнути передумови, спричинені помилковими діями користувача, що може призвести до порушень у функціонуванні системи та аварійних ситуацій. Такими наслідками можуть бути витікання теплоносія, утворення повітряних пробок і навіть часткові руйнування елементів арматури, нагрівальних приладів і трубопроводів.

З огляду на це, слід зазначити, що вся система опалення має бути заповнена хімічно очищеним деаерованим теплоносієм, приготованим на джерелі теплопостачання. Втрата такого дорогого теплоносія в результаті неправильної експлуатації небажана.

Очевидним є той факт, що застосування залежної схеми в багатоповерховому житловому будинку призводить до погіршення експлуатаційних характеристик системи, а найголовніше, її надійності.

Технічно обґрунтованим і раціональним рішенням, особливо у випадку, коли передбачена квартирна система з двома самостійними джерелами теплопостачання, є впровадження незалежної схеми підключення поквартирної системи опалення до загальнобудинкової тепломережі.

Розглянемо можливі технічні рішення щодо застосування незалежної схеми.

Для створення повної автономності у виборі джерела теплопостачання доцільним є установа свого індивідуального котла в межах кожної квартири. З технічного погляду найбільш реальним варіантом є електричний котел. Водночас для впровадження такого рішення може бути потрібне проведення додаткових робіт із реконструкції системи електропостачання.

Встановлення газового котла в кожній квартирі потребує значних капіталовкладень на газифікацію будинку, зокрема на реконструкцію зовнішніх мереж газопостачання, які в декілька разів перевищують капіталовкладення на реконструкцію мереж електропостачання. Основним недоліком газифікації будь-якого житлового будинку є істотне підвищення рівня газопожежної небезпеки, що потребує суворого дотримання правил пожежної безпеки.

Крім того, газифікація житлових будинків обмежена п'ятиповерховими [8], максимум в окремих випадках дев'ятиповерховими, забудовами. Фактично єдиним допустимими випадком, коли для опалення квартири може бути використаний двоконтурний газонагрівач, – це старі житлові дво-шестиповерхові будинки, обладнані газовими колонками.

Як уже зазначено вище, з'єднання централізованої або автономної системи опалення з квартирною, оснащеною електричним котлом, без гідравлічного

розділення контурів, є технічно необґрунтованим і небажаним, оскільки призводить до значного зниження надійності та створює критичну залежність її функціонування від некваліфікованих дій окремих мешканців будинку.

Для забезпечення стабільної та надійної експлуатації необхідно передбачити розділення контурів подавання теплоносія від кожного джерела

теплопостачання шляхом впровадження незалежної схеми.

Можливі дві незалежні схеми з'єднання різних джерел теплопостачання через пластинчасті теплообмінники у водяних системах опалення: перша – незалежне приєднання всієї загальнобудинкової системи опалення (рис. 2); друга – незалежне приєднання окремих квартирних систем опалення (рис. 3).

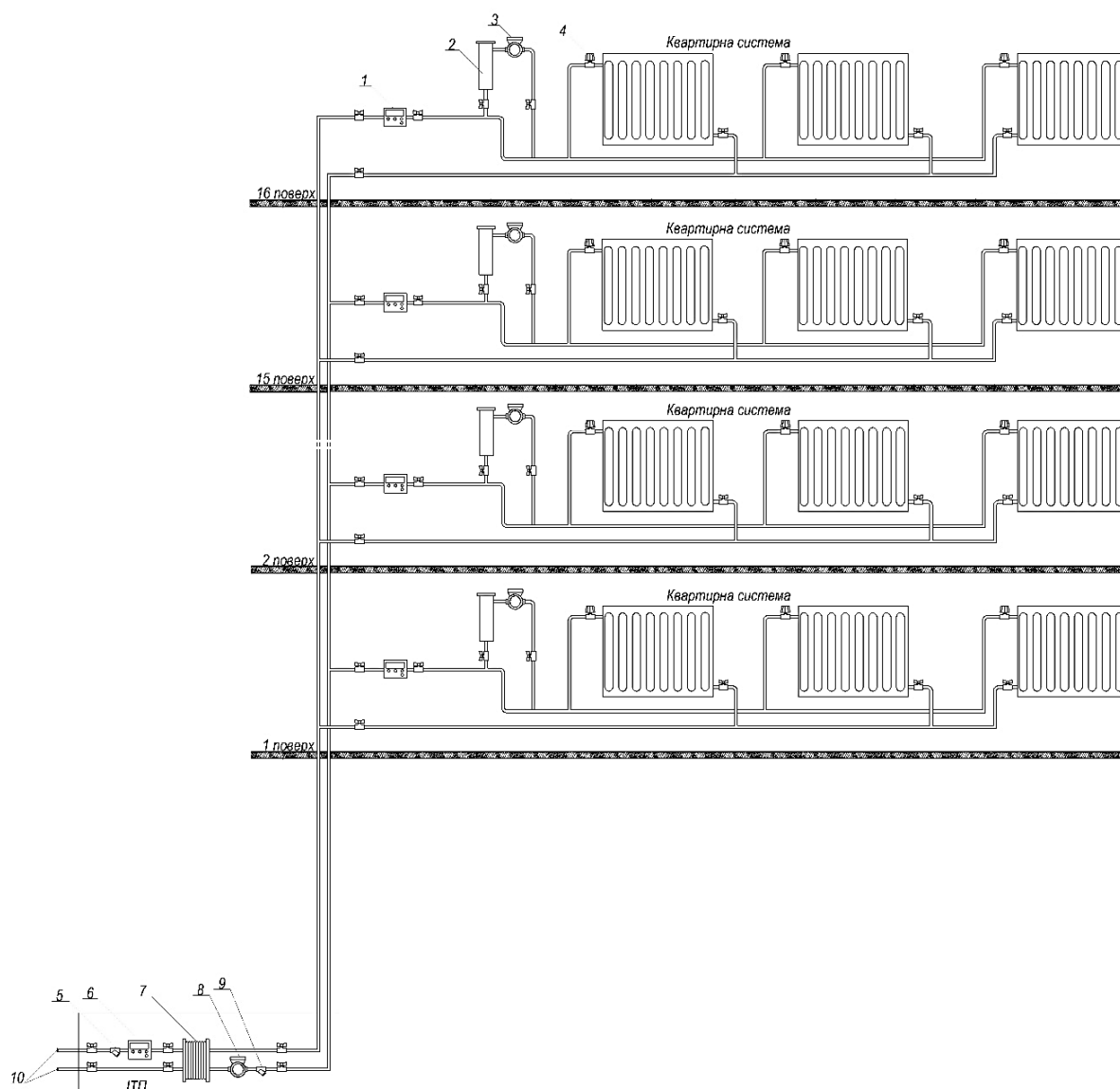


Рис. 2. Незалежна схема приєднання загальнобудинкової квартирної системи опалення:

1 – квартирний лічильник теплової енергії; 2 – електричний котел; 3 – насос;
4 – терморегулятор «Danfoss»; 5 – фільтр; 6 – загальнобудинковий лічильник теплової енергії; 7 – пластинчастий теплообмінник; 8 – насос; 9 – фільтр; 10 – ввід тепломережі

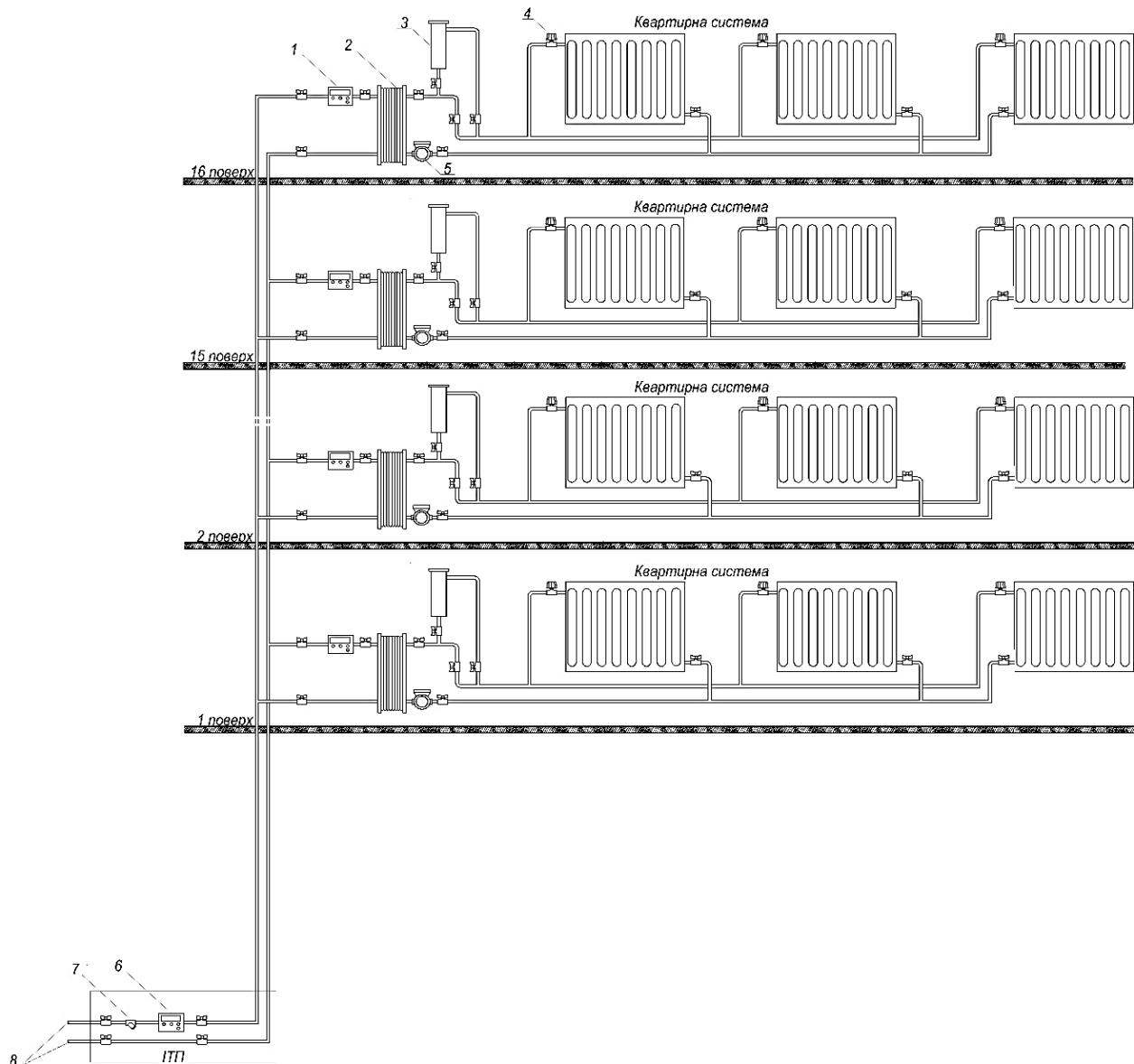


Рис. 3. Незалежна схема приєднання окремих квартирних систем опалення:
 1 – квартирний лічильник теплової енергії; 2 – пластинчастий теплообмінник;
 3 – електричний котел; 4 – терморегулятор «Danfoss»; 5 – насос; 6 – загально- будинковий лічильник теплової енергії; 7 – фільтр; 8 – ввід тепломережі

Аналізуючи можливості систем квартирної опалення, зображених на рис. 2 і 3, можна зробити висновок, що обидві системи забезпечують мешканцям кожної квартири повну свободу щодо вибору джерела теплопостачання, тобто кожен споживач має можливість самостійно вмикати будь-яке джерело відповідно до своїх потреб.

Водночас мешканці інших квартир можуть продовжувати експлуатацію з використанням того джерела теплопостачання, яке відповідає їхнім індивідуальним вподобанням.

Принципова відмінність між схемами, зображеними на рис. 2 і 3, полягає в тому, що нагрівальні прилади, запірно-

регулювальна арматура та насоси схеми (рис. 2) розміщені у вторинному контурі на нижніх поверхах багатоповерхових будівель і зазнають значно більшого статичного тиску порівняно з такими самими елементами зі схеми, зображеної на рис. 3.

Натомість у схемі, зображеній на рис. 3, другий контур формує квартирна система, і він практично не відчуває ніякого додаткового статичного тиску, працюючи за мінімально можливого тиску свого квартирної циркуляційного насоса. Така квартирна система може функціонувати у спрощеному режимі, а її заповнення теплоносієм можливе навіть шляхом ручного доливання. Це значно спрощує технічне обслуговування та знижує вимоги щодо надійності трубопроводів і арматури.

Для другого контуру квартирних систем опалення не обов'язкова вимога щодо підживлення хімічно очищеним деаерованим теплоносієм. З огляду на мінімальні втрати теплоносія в цьому контурі, підживлення може здійснюватися звичайною водопровідною водою.

Наявність у схемах, зображених на рис. 2 і 3, вторинних незалежних контурів створює можливість для виконання в них будь-яких ремонтних робіт або реконструкції в будь-який час незалежно від роботи першого контуру.

Додатковою перевагою схеми на рис. 3 є можливість застосування в ній нагрівальних приладів, арматури і насосів зі зниженими вимогами щодо характеристик міцності.

Встановлення у квартирних системах опалення циркуляційних насосів зі змінною швидкістю обертання забезпечує можливість регулювання теплового навантаження внаслідок зміни витрат теплоносія, що реалізовано зміною швидкості обертання теплоносія, тобто зміною кількості теплоносія, що циркулює в системі протягом часу.

Застосування таких незалежних схем сприяє зниженню витрат електроенергії на забезпечення циркуляції теплоносія.

Крім того, впровадження незалежних схем дає змогу зменшити загальні капітальні витрати на трубопроводи, запірно-регулювальну арматуру та нагрівальні прилади. Водночас слід урахувати, що загальні витрати на реалізацію такого технічного рішення, безумовно, зростуть через необхідність установа пластинчастого теплообмінника в кожній квартирі.

Найвагомішим аргументом, що диктує необхідність впровадження незалежних поквартирних схем опалення, є їхня істотно вища надійність порівняно із залежними схемами. Історичний досвід і сучасна практика у сфері теплопостачання свідчать, що надійність – це найважливіший критерій ефективності системи, особливо в багатоповерховій житловій забудові.

На рис. 4 зображено детальну принципову схему рекомендованої незалежної квартирної системи опалення, що передбачає можливість роботи з двома джерелами теплопостачання.

Установлення квартирної лічильника теплової енергії на ввіді в кожну квартиру в запропонованій схемі незалежної квартирної системи опалення дає змогу забезпечити стовідсотковий облік усієї кількості теплової енергії, що споживає квартира в цей момент, а також день, тиждень, місяць, квартал або рік [9].

Застосування двотрубного горизонтального розведення трубопроводів дає змогу технічно реалізувати індивідуальний тепловий пункт із мінімальними конструктивними та фінансовими витратами, оскільки сам процес регулювання теплопостачання здійснюється безпосередньо на рівні споживача – у межах окремої квартири.

В індивідуальному тепловому пункті всі регулювання зведені до підтримання необхідної середньої температури теплоносія на виході з нього, а також забезпечення сумарних витрат теплоносія, що утворено в результаті індивідуального регулювання його подавання кожним

споживачем на рівні своїх нагрівальних приладів із використанням терморегуляторів.

Крім того, до основних технічних переваг запропонованої схеми можна віднести таке:

1. Наявність пластинчастого теплообмінника створює технічну можливість організації альтернативного джерела тепlopостачання – електричного котла та дає можливість споживачу автономно запускати і завершувати опалювальний період відповідно до власних потреб, незалежно від графіка подавання теплової енергії централізованим джерелом.

2. Невеликі індивідуальні системи опалення можуть бути заповнені якісно

підготовленим теплоносієм один раз. Це рішення дасть змогу знизити потреби в підживленні систем хімічно очищеною деаерованою водою та мінімізувати подальші витрати на експлуатацію.

3. Зменшення загального споживання електроенергії завдяки значному зниженню напору циркуляційних насосів на централізованому джерелі тепlopостачання.

4. Повне гідравлічне розділення контурів теплоносія на зовнішній (центральне тепlopостачання) і внутрішній (квартирна система тепlopостачання) дає змогу забезпечити високу надійність, стабільність роботи системи та організувати індивідуальне незалежне регулювання теплоспоживання.

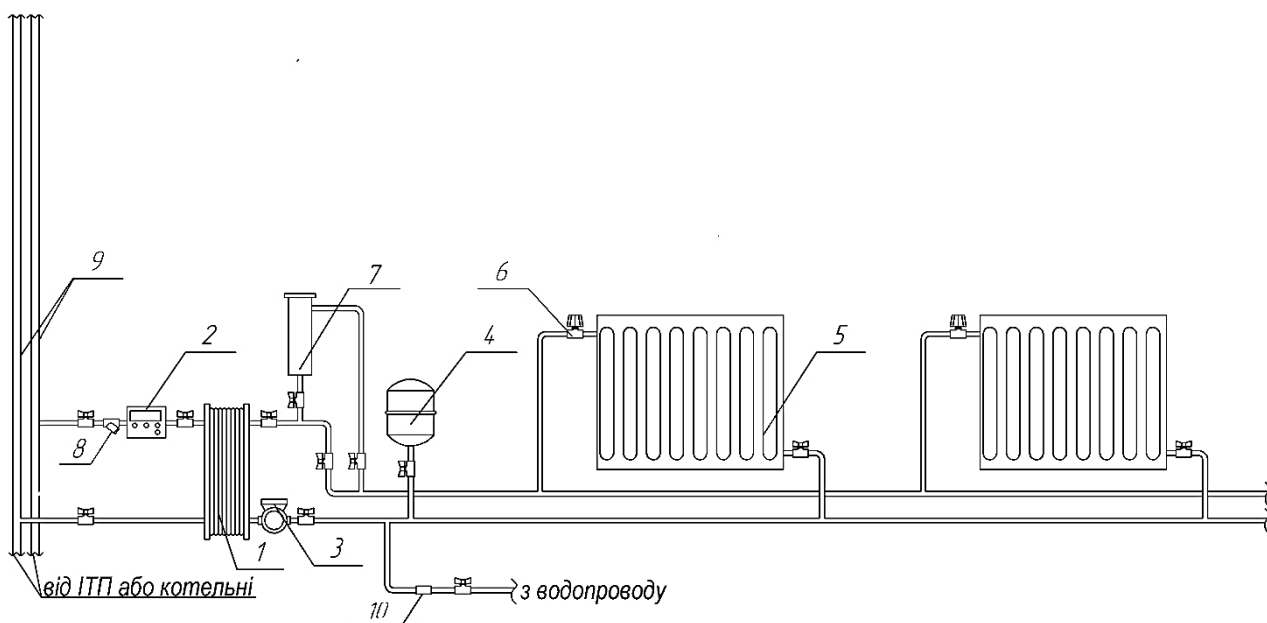


Рис. 4. Схема незалежної поквартирної системи опалення з двома джерелами тепlopостачання:

- 1 – пластинчастий теплообмінник; 2 – квартирний лічильник теплової енергії;
3 – циркуляційний насос; 4 – розширювальний бак; 5 – нагрівальний прилад;
6 – терморегулятор «Danfoss»; 7 – електричний котел; 8 – фільтр; 9 – головні стояки;
10 – зворотний клапан

У таблиці наведено техніко-економічний аналіз показників внутрішньобудинкових залежної та

незалежної поквартирних систем опалення з двома джерелами з повним спектром факторів, що забезпечують ефективне

функціонування систем з урахуванням виробництва, транспортування та споживання теплової енергії,

експлуатаційної надійності та можливості перетворення джерел теплопостачання за видами палива [10].

Таблиця

Техніко-економічний аналіз показників внутрішньобудинкових залежної та незалежної поквартирних систем опалення з двома джерелами теплопостачання

Номер	Показник	Залежна поквартирна система опалення з двома джерелами теплопостачання	Незалежна поквартирна система опалення з двома джерелами теплопостачання
1	2	3	4
1	Сукупне навантаження, Гкал/год	11,95	11,95
2	Навантаження на ГВП, Гкал/год	5,45	5,45
3	Навантаження на систему опалення, Гкал/год	6,5	6,5
4	Споживання теплової енергії за рік, Гкал	14301,4	14301,4
5	Споживання електроенергії електричними приладами, МВт·год	17286,2	4986,4
6	Споживання джерелами ЦТ, Гкал	0	10411,41
7	Споживання насосним обладнанням, МВт·год	39,6	0,8
8	Тариф на теплову енергію, ум. од./Гкал	25	25
9	Тариф на електроенергію, ум. од./кВт·год	0,592	1,479
10	Загальна вартість річного обсягу спожитої теплової енергії, ум. од.	0	260
11	Загальна вартість річного споживання електричної енергії, ум. од.	397	285
12	Загальні поточні витрати, ум. од.	397	545
13	Максимальні годинні навантаження, Гкал	6,5	6,5
14	Потужність джерел ЦТ, Гкал/год	0	4,55
15	Потужність електричних джерел теплопостачання	12,6	3,7
16	Плановий обсяг відпущеної теплової енергії за рік, Гкал	14301,4	14301,4
17	Капітальні інвестиції у проєкт, ум. од.	6175	7215
18	Поточні витрати на споживання теплової та електричної енергії, ум. од.	397	545
19	Собівартість 1 Гкал теплової енергії, що відпускає система теплопостачання, ум. од./Гкал	0,7167	0,9832
20	Приведені витрати, ум. од.	1940	2350

Продовження таблиці

1	2	3	4
21	Приведені витрати на відпускання 1 Гкал теплової енергії системою теплопостачання, ум. од./Гкал	135	165
22	Приведені витрати з розрахунку на 1 м ² опалюваної площі житлових приміщень, ум. од./м ²	43,1	53,2

Висновки

1. Для багатоповерхових житлових будинків серед усіх можливих схем внутрішньобудинкового опалення найбільш надійною і придатною в експлуатації є схема незалежної квартирної системи опалення з двома джерелами теплопостачання.

2. Сьогодні найбільш реальним другим джерелом у системах опалення з водяним теплоносієм для нового будівництва та реконструкції старих будівель є квартирні електричні котли.

3. Застосування незалежних поквартирних систем опалення дає змогу значно підвищити надійність теплопостачання та знизити експлуатаційні витрати.

4. Незалежні схеми забезпечують оперативне проведення будь-яких ремонтних і відновлювальних робіт в окремій квартирі або частині будівлі без необхідності припинення роботи системи теплопостачання в інших квартирах чи секціях будинку.

Список використаних джерел

1. Дяченко С. В. Реконструкція системи опалення як елемент термомодернізації старих багатоповерхових житлових будинків. *Технічні науки та технології*. 2025. № 2(40). С. 502–509. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-502-509](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-502-509).
2. Про теплопостачання: Закон України від 02.06.2005 р. *Відомості Верховної Ради*. 2005. № 28. Ст. 373. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15#Text> (дата звернення: 25.08.2025).
3. Клімов Р. О., Морозовська А. С. Енергетична ефективність комбінованих систем теплопостачання. *Збірник наукових праць ДДТУ*. 2021. № 2(39). С. 92-97. URL: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.39.2021.11>.
4. Ma X., Li J., Ren Y. and et al. Performance and Economic Analysis of the Multi Energy Complementary Heating System under Different Control Strategies in Cold Regions. *Energies*. 2022. № 15(21). Article 8140. URL: <https://doi.org/10.3390/en15218140> (last access: 25.08.2025).
5. Шеренковський Ю. В. (2015). Порівняльний аналіз енергетичної ефективності будівель з комбінованою водяною системою теплопостачання від газоспоживальних та електричних котлів. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2015. № 9 (25). С. 360-364. URL: <https://doi.org/10.15421/40250956>.
6. Martyr R., Moriarty J., Beck C. Optimal control of a commercial building's thermostatic load for off peak demand response. *Journal of Building Performance Simulation*. 2018. № 12. P. 580-594. URL: <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1535624> (last access: 26.08.2025).
7. Blum D., Zakula T., Norford L. Opportunity Cost Quantification for Ancillary Services Provided by Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2017. № 8 (3). P. 1264–1273. URL: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2582207> (last access: 26.08.2025).

8. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. Чинний від 2019–07–01. Київ: Мінрегіон України, 2019. 109 с. URL: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/04/DBN-V2520-18_Gas.pdf (дата звернення: 26.08.2025).

9. Тарадай О. М. Теплозабезпечення: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. 324 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/68781/>.

10. Taradai O., Bugai V., Gvozdetskii O., Burda Y., Diachenko S. Modern Heating Systems for Multi-Story Residential Buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Article 012046. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012046> (last access: 26.08.2025).

Тарадай Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

E-mail: alekst1704@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-4239-9895.

Дяченко Сергій Володимирович, аспірант кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. E-mail: dyachenkosv460@gmail.com. ORCID iD: 0000-0003-0187-0684.

Taradai Oleksandr, Dr. Sc. (Tech.), Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: +38(050)3233333. E-mail: alekst1704@gmail.com.

ORCID iD: 0000-0002-4239-9895.

Diachenko Serhii, postgraduate student, Department of Heat and Gas Supply, Ventilation, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: +38(066)9626112. E-mail: dyachenkosv460@gmail.com.

ORCID iD: 0000-0003-0187-0684.

Статтю прийнято 09.09.2025 р.