

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-50>

УДК 697.34

### ТАРАСЕНКО МИКОЛА

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<http://orcid.org/0000-0001-6080-4367>

e-mail: [tarasenko\\_mykola@ukr.net](mailto:tarasenko_mykola@ukr.net)

### КОЗАК КАТЕРИНА

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0001-7267-8492>

e-mail: [kozakateryna@gmail.com](mailto:kozakateryna@gmail.com)

### КОВАЛЬ ВАДИМ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-7427-6507>

e-mail: [kovalvp1982@gmail.com](mailto:kovalvp1982@gmail.com)

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ, ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЗАХОДИ

*У статті проаналізовано сучасний стан систем теплопостачання житлового сектору України та визначено ключові проблеми їх функціонування, зокрема фізичне зношення теплових мереж, технологічну застарілість обладнання, значні теплові втрати й низьку енергоефективність, зумовлені соціально-економічними чинниками, зростанням вартості енергоносіїв, посиленням екологічних вимог і наслідками збройної агресії. Обґрунтовано необхідність комплексної модернізації систем теплопостачання на основі термомодернізації мереж, впровадження автоматизованих систем управління та застосування енергоефективних і екологічно безпечних технологій. Узагальнення досвіду європейських країн підтверджує ефективність використання попередньо ізольованих трубопроводів і сучасних матеріалів для підвищення енергоефективності, надійності та довговічності систем теплопостачання.*

**Ключові слова:** трубопроводи, термомодернізація, температура, опалення, енергозбереження.

TARASENKO MYKOLA, KOZAK KATERYNA, KOVAL VADYM

Ternopil National Ivan Puluj Technical University

## MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEMS IN THE RESIDENTIAL SECTOR OF UKRAINE: CHALLENGES, TECHNICAL SOLUTIONS AND ENERGY-EFFICIENT MEASURES

*The article examines the current state of heat supply systems in the residential sector of Ukraine as one of the major consumers of energy resources. Emphasis is placed on the critical deterioration of heat networks, technological obsolescence of equipment, significant heat losses and low energy efficiency. The main factors aggravating the situation include socio-economic instability, rising energy prices, stricter environmental requirements and the consequences of armed aggression. The necessity of comprehensive modernization of heat supply systems is substantiated, particularly through thermal retrofitting of networks, implementation of automated control systems and the transition to more efficient and environmentally friendly technologies. Attention is drawn to the long-standing problem of centralized heating systems based on uninsulated pipelines, which historically led to substantial energy losses and reduced system efficiency. An analysis of the experience of developed European countries, including Germany, Sweden, Denmark, Finland and the Netherlands, demonstrates effective approaches to modern heat supply organization. Heat supply systems in these countries are designed with consideration of climatic conditions and relevant standards, such as DIN EN 12831. The use of pre-insulated underground pipelines and next-generation materials, including PE-RT polyethylene, ensures reduced heat losses, improved reliability, durability and overall energy efficiency. These solutions support sustainable development objectives, improve operational performance and contribute to long-term resilience of district heating infrastructure. The proposed approaches are applicable to urban and regional systems under current technical and regulatory constraints.*

**Keywords:** pipelines, thermal modernization, temperature, heating, energy savings.

Стаття надійшла до редакції / Received 06.01.2026

Прийнята до друку / Accepted 28.02.2026

Опубліковано / Published 26.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Яропуд Віталій, Колісник Микола, Штуць Андрій

### Постановка проблеми у загальному вигляді

Житловий сектор України є одним з найбільших споживачів енергії в державі але стан більшості тепломереж на, жаль, не відповідає сучасним вимогам ані з екологічної ані з економічної ані з безпекової точок зору. Система теплопостачання житлового сектору України перебуває на етапі глибокої трансформації, обумовленої як внутрішніми проблемами, так і глобальними викликами [4], [5]. Високий рівень зношеності інфраструктури, нерациональне використання енергії, значні теплові втрати, низький рівень автоматизації процесів та застаріле обладнання – все це формує критичну необхідність модернізації. Додатково ситуацію ускладнюють соціально-економічні фактори, зростання цін на енергоносії, впровадження нових екологічних норм, а також збройна агресія, яка завдала серйозної шкоди енергетичній інфраструктурі країни. У цьому контексті модернізація систем теплопостачання є не лише технічним завданням, але й стратегічним напрямом державної політики, спрямованим на підвищення енергоефективності, забезпечення енергетичної безпеки та адаптацію до кліматичних викликів. До недавнього часу опалювання і гаряче водопостачання багатопверхових будинків здійснювалося централізовано по неутеплених трубопроводах тому в зимовий період часу було легко визначити по розталому снігу місце розташування трубопроводів. З одного боку це було добре тому що легко

було визначити місце трасування трубопроводів що дозволяло швидко усувати аварійні ситуації у разі їх виникнення. З другого боку втрати тепла при транспортуванні були дуже великими і треба було щось робити щоб їх зменшити.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз стану справ тепlopостачання у розвинутих країнах світу (Німеччині, Швеції, Данії, Фінляндії, Нідерландах тощо) показав що усі ці країни проєктують тепломережі з урахуванням морозів до  $-20^{\circ}\text{C}$ , відповідно до національних стандартів про кліматичне навантаження (наприклад, DIN EN 12831) [1], [2], [7], [8]. Саме тому там теплові траси прокладаються виключно в прихованих попередньо утеплених трубопроводах, які за час експлуатації показали переваги в частині надійності, довговічності, ефективності та енергозбереження, за рахунок гнучкості і скорочення кількості відходів і з'єднань [1-3]. Гладка внутрішня поверхня забезпечує швидке пересування теплоносія і виключає можливість утворення будь яких відкладень. Матеріал поліетилен PE-RT стійкий до розтріскування, зберігає еластичність при дуже низьких температурах, відмінно поглинає звуки експлуатації гідравлічного режиму. У Скандинавії використовують двотрубні системи з ПУТ з поліетиленовою оболонкою, які мають мінімальні тепловтрати й дуже високу стійкість до впливу оточуючого середовища. Крім цього багато мереж проєктуються з моніторинговими системами контролю вологості в середині ізоляції щоб завчасно виявляти пошкодження. Проблеми тепlopостачання в житловому секторі це один із найбільш енерговитратних сегментів житлово комунального господарства, який потребує серйозної модернізації особливо в Україні де прокладені сталеві або бетонні трубопроводи, часто без додаткової заводської ізоляції, використовуючи для утеплення мінеральну або шлакову вату обмотану руберойдом або бітумною гідроізоляцією.

### Формулювання цілей статті

Метою статті є аналіз сучасного стану систем тепlopостачання житлового сектору України, виявлення ключових технічних, економічних, управлінських і соціальних проблем, а також обґрунтування ефективних напрямів модернізації тепломереж із використанням сучасних матеріалів, технологій та енергоефективних заходів. Досягнення поставленої мети зумовило необхідність системного аналізу сучасного стану тепlopостачання житлового сектору, що дозволило узагальнити наявні проблеми та класифікувати їх за характером і впливом на ефективність функціонування систем.

### Виклад основного матеріалу

Проведений аналіз свідчить, що наявні проблеми тепlopостачання доцільно класифікувати за п'ятьма основними групами: системні, технічні, економічні, управлінські та соціальні. До системних проблем належить значний фізичний знос тепломереж, 60–80% яких були збудовані ще в радянський період, що зумовлює втрати теплової енергії на шляху від котельні до споживача на рівні 30–40%, підвищені викиди  $\text{CO}_2$  та інших забруднювальних речовин, а також відсутність автоматизованого регулювання режимів роботи систем залежно від погодних умов і фактичного споживання [3], [4], [10]. *Технічні проблеми* пов'язані зі зношеністю трубопроводів, відсутністю або пошкодженням теплоізоляції теплотрас, а також значними відстанями між джерелами тепла та будівлями, що призводить до додаткових втрат теплової енергії. У опалювальний період спостерігається зростання кількості аварійних ситуацій і проривів у мережах, особливо за умов підвищеного тиску, основною причиною чого є експлуатація застарілих сталевих труб, встановлених 30–50 років тому без сучасних ізоляційних матеріалів. *Економічні проблеми* є ключовим бар'єром на шляху до забезпечення ефективного, доступного та якісного тепlopостачання і охоплюють питання тарифоутворення, дефіциту фінансування, заборгованості, інвестиційної привабливості та нераціонального управління ресурсами. *Управлінські проблеми* проявляються у системних недоліках планування, контролю та прийняття рішень, а також у недостатній комунікації з населенням, що навіть за наявності ресурсів призводить до низької якості послуг і соціальної напруги. *Соціальні проблеми* безпосередньо впливають на якість життя населення, рівень соціальної справедливості, доступність тепlopостачальних послуг і довіру до органів влади та постачальників тепла. Вони є похідними від технічних, економічних і управлінських недоліків, проте мають найбільший суспільний резонанс.

У багатьох містах України рівень зношеності тепломереж сягає до 70% унаслідок перевищення нормативного строку експлуатації, який становить 25–30 років. Такий стан інфраструктури зумовлює значні втрати теплової енергії, підвищену аварійність та зростання експлуатаційних витрат. Втрати тепла під час транспортування в середньому становлять 20–40%, а в окремих випадках можуть досягати 60%, що безпосередньо впливає на собівартість теплової енергії та рівень тарифів для споживачів [3-4]. Одним із перспективних напрямів зниження теплових втрат є використання попередньо утеплених трубопроводів (ПУТ) для прокладання теплових мереж. Їх застосування дозволяє скоротити кількість з'єднань і відходів завдяки гнучкості труб, а гладка внутрішня поверхня забезпечує стабільний гідравлічний режим і запобігає утворенню відкладень [1], [2], [6]. Матеріали нового покоління, зокрема поліетилен PE-RT, характеризуються високою стійкістю до розтріскування, збереженням еластичності за низьких температур і ефективним поглинанням шумів, що виникають під час експлуатації теплових мереж. У сучасних проєктах тепlopостачання дедалі частіше передбачаються системи моніторингу вологості в ізоляційному шарі, які дають змогу своєчасно виявляти пошкодження та запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Загалом проблеми тепlopостачання в житловому секторі є одними з найскладніших і найбільш енерговитратних у системі житлово-комунального господарства та потребують комплексного підходу до

модернізації. Системні проблеми зумовлені застарілістю теплотрас, значна частина яких була побудована ще в радянський період, що призводить до високих втрат тепла, підвищених викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднювальних речовин, а також до відсутності автоматизованого регулювання режимів роботи залежно від погодних умов і реального споживання. Недостатній рівень автоматизації та відсутність приладів обліку теплової енергії спричиняють неефективне використання ресурсів, несправедливе тарифоутворення та зниження мотивації споживачів до енергозбереження. Встановлення тепло лічильників це ключ до прозорих розрахунків, справедливої оплати та зменшення витрат. Неутеплені будівлі свідчать про неповною мірою використанні можливості підвищення енергоефективності систем опалення, зокрема за рахунок оптимального розміщення опалювальних приладів у приміщеннях та підвищення їх емісійної і конвекційної складових. Важливим чинником є також запобігання накопиченню оксидів і солей металів у централізованих системах тепlopостачання, оскільки це дозволяє уникнути додаткових експлуатаційних витрат, позапланових ремонтів і передчасного виходу обладнання з ладу.

Аналіз наведених факторів дає підстави стверджувати, що централізоване тепlopостачання у його сучасному вигляді є застарілою моделлю з низьким рівнем гнучкості, яка не забезпечує оперативного регулювання температурного режиму відповідно до зовнішніх кліматичних умов або індивідуальних потреб споживачів. Одночасний запуск опалення на рівні мікрорайонів часто залежить від централізованих адміністративних рішень, а не від фактичних теплових потреб окремих будівель. У більшості систем подається однакова температура теплоносія незалежно від того, чи становить температура зовнішнього повітря +5 °C або +10 °C, що призводить до перевитрат енергії. Вхідні тамбури та сходові клітки багатоповерхових будинків у більшості випадків не опалюються, що спричинило промерзання стін і перекриттів. У результаті ці зони перетворилися на так звані містки холоду, через які тепло з житлових приміщень інтенсивно відводиться назовні. Промерзання огорожувальних конструкцій погіршило мікроклімат у крайніх квартирах, особливо на перших поверхах, що зумовило зростання теплового навантаження на внутрішні радіатори, підвищення споживання енергії в кутових і нижніх квартирах, а також деформацію будівельних матеріалів у зонах значних температурних перепадів.

Холодні та вологі тамбури й сходові клітки з часом втратили здатність до ефективного природного провітрювання та висихання. Контакт теплого повітря з житлових приміщень із холодними поверхнями в зоні вхідних дверей призводить до інтенсивного утворення конденсату та підвищення вологості стін і огорожувальних конструкцій, що створює несприятливі санітарно-гігієнічні умови, особливо небезпечні для дітей, осіб із алергічними захворюваннями та порушеннями функцій органів дихання. Одночасно знижується рівень протипожежної безпеки будівель. У холодний період мешканці часто самовільно перекривають вентиляційні канали з метою зменшення тепловтрат у сходових клітках, що у разі пожежі призводить до обмеження припливу повітря та унеможливує ефективне видалення диму через вентиляційні стояки. Це спричиняє втрату критично важливих шляхів евакуації та створює додаткові ризики як для мешканців, так і для пожежно-рятувальних підрозділів через ускладнений доступ до пожежних люків і стояків. Низькі температури та підвищена вологість у тамбурах також негативно впливають на експлуатаційний стан будівельних елементів. Металеві вхідні двері й замки при температурах нижче нуля промерзають, у конструкціях накопичується волога, що призводить до корозії, деформації та виходу замкових механізмів з ладу, ускладнюючи можливість безпечного виходу з під'їзду. Часто пошкоджуються домофони, електричні кабелі та доводчики дверей, а поєднання холоду й вологи прискорює руйнування бетонних конструкцій, штукатурки, облицювальної плитки та лакофарбових покриттів. За відсутності опалення у міжсезонний період спостерігаються тріщини штукатурки, відшарування фарби та деградація стикових з'єднань. У сукупності ці фактори призводять до зростання витрат на утримання та ремонт будівель, які, як правило, не закладаються у фінансові плани експлуатаційних організацій, що погіршує загальний технічний стан житлового фонду та його зовнішній вигляд і формує відчуття занедбаності будинків. У типових радянських проектах вхідні тамбури виконували функцію теплового бар'єра, утворюючи повітряний прошарок, який суттєво знижував тепловтрати. Після ліквідації цих бар'єрів тепло з квартир фактично безперешкодно відводиться назовні через вхідні двері, і навіть якісні дверні конструкції не здатні забезпечити належне теплозбереження за відсутності опалюваного під'їзду. У цьому контексті відсутність опалювальних приладів у сходових клітках є одним із чинників зниження загальної енергоефективності будівель і потребує переосмислення в межах комплексної термомодернізації житлового фонду.

Однією з причин відмови від опалення тамбурів і сходових кліток у попередні десятиліття була орієнтація виключно на формальну економію витрат. Тепло в тамбурах розглядалося як додаткове фінансове навантаження, яке покладалося на баланс житлово-експлуатаційних організацій або підприємств теплокомуненерго, що зумовило системну недооцінку довгострокових наслідків таких рішень у 1990-х та на початку 2000-х років. У цей період питання енергоефективності практично не розглядалися, облік теплової енергії був відсутній, що унеможливило коректний і справедливий розподіл теплоносія між споживачами. Додатковим негативним чинником став поширений вандалізм, унаслідок якого в окремих районах опалювальні прилади в місцях загального користування демонтувалися або пошкоджувалися. Результати розрахунків тепловтрат через вхідні двері квартири площею близько 2 м<sup>2</sup> за опалювальний період тривалістю приблизно 180 діб з 15 жовтня по 15 квітня свідчать про суттєве зростання втрат тепла за відсутності опалюваного тамбура. Так, за температури тамбура близько 0 °C втрати тепла через вхідні двері зростають у два рази порівняно з умовами опалюваного під'їзду, тоді як за температури -5 °C вони збільшуються у 2,5 рази протягом

опалювального сезону. Це наочно підтверджує значущість теплового бар'єра у вхідній зоні будівлі для загального енергетичного балансу житла.

Досягнення відчутного ефекту енергозбереження потребує врахування всіх наявних, але не повною мірою реалізованих можливостей підвищення енергоефективності опалювальних приладів. До таких заходів належать оптимальне розміщення радіаторів у приміщеннях, а також підвищення їх емісійної та конвекційної складових тепловіддачі. Особливу увагу доцільно приділити впливу кольору опалювальних приладів на емісійну складову теплопередачі. Відповідно до закону Кірхгофа для теплового випромінювання, відношення спектральної випромінювальної здатності будь-якої поверхні до її спектральної поглинальної здатності є універсальною функцією частоти та температури і не залежить від матеріалу. Теплове випромінювання має місце на всіх поверхнях, температура яких відрізняється від температури навколишнього середовища, при цьому зі зростанням температури інтенсивність випромінювання збільшується. Темні поверхні, згідно з цим законом, характеризуються вищою емісійною здатністю порівняно зі світлими. Попри це, у масовій практиці опалювальні прилади найчастіше фарбують у світлі або білі кольори, аргументуючи це тим, що основна частина тепла від радіаторів у приміщенні передається за рахунок конвекції та теплопровідності. Це твердження є коректним, однак не враховує потенціал посилення тепловіддачі шляхом збільшення емісійної складової. Використання спеціальних покриттів з високою емісійною здатністю, зокрема чорних матових фарб на основі сажі або оксидів металів, таких як оксид заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  чи оксид марганцю  $\text{MnO}_2$ , дозволяє суттєво підвищити інтенсивність теплового випромінювання. Такі покриття можуть мати коефіцієнт емісії до 0,95, а спеціалізовані покриття типу Black Velvet Paint у довгохвильовому інфрачервоному діапазоні 8–14 мкм, характерному для побутових температур у межах 20–100 °C, забезпечують коефіцієнт емісії 0,95–0,98, що позитивно впливає на загальну енергоефективність опалення приміщень.

Додаткове зменшення тепловтрат досягається шляхом встановлення тепловідбивних екранів між радіатором і зовнішньою стіною. Такі екрани зазвичай виконуються з тонких шарів алюмінієвої фольги або металізованих матеріалів у поєднанні з утеплювачем, наприклад поліетиленом або спіненим ПВХ товщиною 3–5 мм. Оскільки радіатор нагріває не лише повітря приміщення, а й огорожувальну конструкцію за собою, особливо у разі зовнішніх холодних стін, до 10–30% теплової енергії може втрачатися в напрямку стіни. Тепловідбивний екран відбиває інфрачервоне випромінювання назад у приміщення, за умови його правильного монтажу без прямого контакту з радіатором. Ефективність такого заходу може становити від 5 до 15% залежно від характеристик стіни та конфігурації опалювального приладу. Для забезпечення належної теплової ефективності несучих стін важливе застосування ефективних теплоізоляційних матеріалів, зокрема керамічних пористих поризованих блоків або цегли. При цьому слід враховувати, що за однакової тепловіддачі немає потреби підвищувати температуру теплоносія. Наприклад, радіатор з підвищеною емісійною здатністю може працювати при температурі на 5–10 °C нижчій, забезпечуючи ту саму кількість тепла, що дозволяє зменшити споживання газу, мазуту або електричної енергії.

Підвищення енергоефективності опалювальних систем у квартирах доцільно реалізовувати комплексно. До таких заходів належать встановлення термостатичних клапанів на кожен радіатор для точного регулювання температури впродовж доби, регулярне промивання систем опалення для видалення накипу та забруднень, що знижують тепловіддачу, а також уникнення перекривання радіаторів меблями або шторами, які блокують конвекційні потоки. Додатковий ефект може забезпечувати підвищення шорсткості поверхні радіаторів. Закривання штор або жалюзі в нічний час сприяє зменшенню тепловтрат за рахунок утворення повітряного прошарку між вікном і шторою, який виконує функцію додаткової теплоізоляції. Практичні спостереження свідчать, що це може призводити до підвищення температури в приміщенні вранці на 1–2 °C порівняно з умовами, коли штори не використовуються. Встановлення датчиків присутності також позитивно впливає на енергоефективність будівель. У приміщеннях тривалого перебування людей, таких як офіси, вітальні або ванні кімнати, датчики присутності можуть забезпечити економію енергії на рівні 10–25% порівняно зі звичайними датчиками руху, тоді як у коридорах або на сходових клітках цей ефект є менш вираженим.

Окрему групу опалювальних приладів становлять інфрачервоні нагрівачі, принцип дії яких полягає у локальному нагріванні предметів і людей у межах прямої дії випромінювання. Вони генерують інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі 0,75–1000 мкм, яке поглинається твердими поверхнями та поступово передається повітрю. Характерною особливістю таких систем є висока ефективність у зоні обігріву та швидкий час нагріву, проте різкі перепади температури при виході з цієї зони можуть негативно впливати на тепловий комфорт і стан здоров'я. Аналіз побутових систем опалення показує, що коефіцієнт корисної дії інфрачервоних нагрівачів становить 95–98% при часі нагріву 0,5–3 хвилини, а реальна економія енергії може досягати 30–50%. Для конвекторів характерний ККД на рівні близько 90% з часом нагріву 5–10 хвилин і реальною економією до 20%. Масляні радіатори мають ККД близько 85% і час нагріву 15–30 хвилин з економією до 15%, тоді як тепловентилятори характеризуються ККД близько 80% при часі нагріву 1–3 хвилини та реальною економією до 10%.

Отже, наведений аналіз свідчить, що навіть за відсутності масштабної реконструкції теплових мереж існує значний потенціал підвищення енергоефективності систем опалення за рахунок локальних, відносно простих і економічно доступних заходів. Оптимізація теплового режиму вхідних зон будівель, підвищення ефективності опалювальних приладів, використання матеріалів із високою емісійною здатністю, впровадження тепловідбивних екранів, засобів автоматичного регулювання та обліку дозволяють суттєво знизити теплові втрати, покращити мікроклімат у приміщеннях і зменшити споживання енергоресурсів. Це підтверджує доцільність

комплексного підходу до модернізації систем теплопостачання, який має поєднувати інженерні рішення на рівні будівель із системними змінами в організації теплопостачання.

Таким чином, результати проведеного аналізу технічних, експлуатаційних і соціальних аспектів функціонування систем теплопостачання житлового сектору України дозволяють сформулювати узагальнені висновки щодо сучасного стану галузі, ключових проблем її розвитку та пріоритетних напрямів модернізації. З урахуванням отриманих результатів, а також аналізу національного та міжнародного досвіду, доцільно перейти до узагальнення основних висновків дослідження.

### Висновки

Стан систем теплопостачання в житловому секторі України перебуває на критичному рівні, що зумовлено значним фізичним зношенням інфраструктури, за яким понад 60–70% трубопроводів перевищили нормативний строк експлуатації, застарілістю обладнання, високими тепловими втратами, які в середньому сягають до 40%, руйнуваннями спричиненими військовою агресією Росії, а також недостатнім рівнем автоматизації процесів. Зазначені проблеми підтверджуються дослідженнями Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України й результатами енергоаудитів житлових будинків, виконаних у межах реалізації Національного плану дій з енергоефективності [1], [2]. Встановлено, що централізована модель теплопостачання, яка базується на експлуатації сталевих трубопроводів без належної заводської ізоляції, не відповідає сучасним вимогам енергоефективності та кліматичної адаптації. Це призводить до підвищених експлуатаційних витрат, зростання аварійності та втрат теплової енергії на рівні 30–60% [3], [4]. Аналіз досвіду країн Європейського Союзу, зокрема Швеції, Данії та Нідерландів, свідчить, що перехід на попередньо ізольовані трубопроводи, двотрубні системи з вологозахисним моніторингом, а також впровадження низькотемпературного централізованого теплопостачання (low-temperature district heating, LTDH) забезпечує суттєве зниження теплових втрат і підвищення довговічності теплових мереж [5], [6]. Доведено, що термомодернізація житлових будівель, яка включає утеплення огорожувальних конструкцій, оптимізацію розміщення опалювальних приладів, використання радіаторів із підвищеною емісійною здатністю та встановлення тепловідбивних екранів, є одним із найбільш ефективних і оперативно реалізовуваних заходів енергозбереження [7], [8]. Зокрема, застосування чорних матових покриттів із коефіцієнтом емісії  $\epsilon \approx 0,95$  дозволяє підвищити тепловіддачу радіаторів на 10–15% [9]. Встановлено, що інтелектуалізація систем теплопостачання шляхом впровадження автоматичних термостатів, погодозалежного регулювання, індивідуальних теплових пунктів та систем обліку споживання енергії є критично важливою умовою справедливого тарифоутворення та підвищення загальної ефективності теплопостачання. За даними Міжнародного енергетичного агентства, впровадження індивідуальних теплових пунктів дозволяє скоротити споживання енергії на 20–30% [10]. Показано, що соціальні наслідки низької якості теплопостачання, зокрема переохолодження тамбурів і сходових кліток, промерзання огорожувальних конструкцій, утворення вологи та цвілі, негативно впливають на здоров'я мешканців і потребують комплексного підходу до відновлення внутрішньобудинкових систем опалення з урахуванням санітарно-гігієнічних вимог і норм пожежної безпеки [10]. Обґрунтовано, що в умовах збройної агресії та цілеспрямованих енергетичних атак модернізація теплових мереж має розглядатися не лише як енергетичне, а й як завдання національної безпеки, що відповідає положенням Енергетичної стратегії України до 2035 року. Доведено доцільність впровадження державних програм підтримки модернізації теплопостачання, зокрема через механізми Фонду енергоефективності та державно-приватного партнерства, ефективність яких підтверджено результатами пілотних проєктів у житловому секторі.

### Перспективи подальших досліджень

Подальші наукові дослідження доцільно зосередити на розробленні та обґрунтуванні моделей поетапного переходу до низькотемпературних систем централізованого теплопостачання в умовах існуючої забудови України. Актуальними є дослідження інтеграції інтелектуальних систем управління тепловими мережами, цифрового моніторингу стану ізоляції трубопроводів, а також оцінки комплексного впливу термомодернізації будівель на енергетичну безпеку, економічну ефективність і соціальний комфорт населення. Окрему увагу доцільно приділити розробці методів оцінювання соціально-економічних і безпекових ефектів модернізації теплопостачання в умовах кліматичних змін та відновлення після воєнних руйнувань.

### Література

1. Савченко О.О., Юркевич Ю.С., Возняк О.Т. Оцінка можливості впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання / О.О. Савченко, Ю.С. Юркевич, О.Т. Возняк // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2024. – Вип. 1 (49). – С. 17–33. – DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.17-33>.
2. Bahadori R., Speich M., Ulli-Beer S. Modernizing district heating networks: A strategic decision-support framework for sustainable retrofitting / R. Bahadori, M. Speich, S. Ulli-Beer // *Energies*. – 2025. – Vol. 18, No. 14. – DOI: <https://doi.org/10.3390/en18143759>.
3. Джеджула В.В. Вплив особливостей прокладання та експлуатації трубопроводів на енергоефективність теплових мереж. // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2024, том 37, №2, С. 193–199. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-193-199>.

4. Нікітін Є.Є. Комплексний підхід щодо забезпечення стійкості та енергетичної ефективності систем централізованого теплопостачання. // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики, збірник праць, Київ, ІВЦ АЛКОН НАН України, 2023, С. 30–32.
5. Фіалко Н. М., Тимченко М. П., Шеренковський Ю. В. Тенденції розвитку систем централізованого теплопостачання України як інструмента енергетичного переходу. // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики, збірник праць, Київ, ІВЦ АЛКОН НАН України, 2023, С. 33–36.
6. Farkas T., Unguresan P.V., Ceclan A., Micu D.D. Stakeholder perspectives on district heating and cooling for climate-neutral and smart cities: Insights from Romania / T. Farkas, P.V. Unguresan, A. Ceclan, D.D. Micu // Energy Transition Research Report. – 2025. – P. 52–67.
7. Komorowska A. Comparative analysis of district heating markets: Price frameworks and regulatory contexts / A. Komorowska // European Physical Journal – Special Topics. – 2024. – Vol. 233, No. 7–8. – P. 1753–1766.
8. Koronaki I., Mavrogianni P. Smart thermal grids and digitalization strategies for future district heating systems / I. Koronaki, P. Mavrogianni // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 282. – P. 112263. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112263>.
9. Zhang, X. Optimization of district heating networks under uncertainty: Techno-economic-environmental analysis / X. Zhang, Y. Li, M.A. Rosen // Applied Energy. – 2025. – Vol. 345. – P. 131207. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.131207>.
10. Савчук В.М. Енергоефективність будівель: проблеми та шляхи їх вирішення / В.М. Савчук // Енергетика та електрифікація. – 2021. – № 3. – С. 69–74.

### References

1. Savchenko O.O., Yurkevych Yu.S., Vozniak O.T. Otsinka mozlyvosti vprovadzhenia nyzkotemperaturnykh system tsentralizovanoho teplopstachannia / O.O. Savchenko, Yu.S. Yurkevych, O.T. Vozniak // Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia. – 2024. – Vyp. 1 (49). – S. 17–33. – DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.17-33>.
2. Bahadori R., Speich M., Ulli-Beer S. Modernizing district heating networks: A strategic decision-support framework for sustainable retrofiting / R. Bahadori, M. Speich, S. Ulli-Beer // Energies. – 2025. – Vol. 18. – No. 14. – DOI: <https://doi.org/10.3390/en18143759>.
3. Dzhezhdzula V.V. Vplyv osoblyvostei prokladannia ta ekspluatatsii truboprovodiv na enerhoefektyvnist teplovykh mrezh. // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi, 2024, tom 37, №2, s. 193–199. – DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-2-193-199>.
4. Nikitin Ye.Ie. Kompleksnyi pidkhid shchodo zabezpechennia stiikosti ta enerhetychnoi efektyvnosti system tsentralizovanoho teplopstachannia. // Problemy ekolohii ta ekspluatatsii obiektiv enerhetyky, zbirnyk prats, Kyiv, IVTs ALKON NAN Ukrainy, 2023, S. 30–32.
5. Fialko N. M., Tymchenko M. P., Sherenkovskiy Yu. V. Tendentsii rozvytku system tsentralizovanoho teplopstachannia Ukrainy yak instrumenta enerhetychnoho perekhodu. // Problemy ekolohii ta ekspluatatsii obiektiv enerhetyky, zbirnyk prats, Kyiv, IVTs ALKON NAN Ukrainy, 2023, S. 33–36.
6. Farkas T., Unguresan P.V., Ceclan A., Micu D.D. Stakeholder perspectives on district heating and cooling for climate-neutral and smart cities: Insights from Romania / T. Farkas, P.V. Unguresan, A. Ceclan, D.D. Micu // Energy Transition Research Report. – 2025. – P. 52–67.
7. Komorowska A. Comparative analysis of district heating markets: Price frameworks and regulatory contexts / A. Komorowska // European Physical Journal: Special Topics. – 2024. – Vol. 233. – No. 7–8. – P. 1753–1766.
8. Koronaki I., Mavrogianni P. Smart thermal grids and digitalization strategies for future district heating systems / I. Koronaki, P. Mavrogianni // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 282. – P. 112263. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112263>.
9. Zhang X., Li Y., Rosen M.A. Optimization of district heating networks under uncertainty: Techno-economic-environmental analysis / X. Zhang, Y. Li, M.A. Rosen // Applied Energy. – 2025. – Vol. 345. – P. 131207. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.131207>.
10. Savchuk V.M. Enerhoefektyvnist budivel: problemy ta shliakhy yikh vyrishennia / V.M. Savchuk // Enerhetyka ta elektrifikatsiia. – 2021. – № 3. – S. 69–74.