

УДК 697.27

Olena Savchenko, PhD, Associate Professor of Department of Heat, Gas Supply and Ventilation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-380X> *e-mail*: o.savchenko@i.ua

Yuriy Yurkevych, PhD, Associate Professor of Department of Heat, Gas Supply and Ventilation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8869-7759> *e-mail*: jurjurkev@gmail.com

Orest Voznyak, Dr, Professor of Department of Heat, Gas Supply and Ventilation

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6431-088X> *e-mail*: orest.voznyak@i.ua

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

POSSIBILITY ASSESSMENT OF THE LOW-TEMPERATURE DISTRICT HEATING SYSTEMS IMPLEMENTATION IN UKRAINE

Abstract. *These researches concern the application of renewable energy sources in district heating systems. In Ukraine, district heating systems cover approximately 50% of the demand for thermal energy in the residential and communal sector. District heating systems 2G are most often used, which are characterized by high temperatures of the heat coolant, the lack of accounting for heat energy consumption during transportation of the heat coolant, and the use of fossil fuels. In the countries of the European Union, the introduction of district heating systems is considered one of the key directions for the transition to a decarbonized, environmentally safe and efficient energy system. The development of district heating systems technologies makes it possible to lower the temperature of the heat coolant in heat networks and increase the use of renewable energy sources. Ukraine will eventually become a full-fledged member of the European Union, and this determines the need to find ways to bring Ukraine's heat supply systems to the 4G level, in particular to low-temperature district heating systems with the most efficient use of renewable energy sources and waste heat. This article examines climatic, physical-geographical and social features, regulatory, technical and financial-economic opportunities and barriers to the implementation of low-temperature district heating systems in Ukraine. As a result of analytical studies, it was established that there are prerequisites for the introduction of low-temperature heat supply systems in Ukraine, however, a number of technical, regulatory, social and financial and economic measures need to be implemented to bring district heating systems up to 4G indicators. These studies allow establishing measures that require further research for the possibility of introducing low-temperature district heating systems in particular and environmental safety of heat supply systems in general.*

Keywords: *district heating system; renewable energy sources; low-temperature system; heat network; features; barriers.*

О.О. Савченко, Ю.С. Юркевич, О.Т. Возняк

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ

***Анотація.** Дані дослідження стосуються питань застосування відновлювальних джерел енергії у централізованих системах теплопостачання. В Україні системи централізованого теплопостачання покривають приблизно 50% попиту на теплову енергію в житлово-комунальному секторі. Найчастіше застосовуються системи централізованого теплопостачання 2G, які характеризуються високими температурами теплоносія, відсутністю обліку споживання теплової енергії при транспортуванні теплоносія та використанням викопних видів палива. У країнах Євросоюзу впровадження систем централізованого теплопостачання розглядається як один з ключових напрямків для переходу до декарбонізованої, екологічно безпечної та ефективної енергетичної системи. Розвиток технологій централізованого теплопостачання дозволяє знижувати температури теплоносія у теплових мережах та збільшувати використання відновлювальних джерел енергії. Україна в часом стане повноцінним членом Євросоюзу, а це обумовлює потребу шукати шляхи приведення систем теплопостачання України до рівня 4G, зокрема до низькотемпературних систем теплопостачання з максимально ефективним використанням відновлювальних джерел енергії та відпрацьованого тепла. У даній статті розглянуто кліматологічні, фізико-географічні та соціальні особливості, законодавчі, технічні та фінансово-економічні можливості та бар'єри впровадження низькотемпературних систем теплопостачання в Україні. В результаті аналітичних досліджень встановлено, що в Україні існують передумови для запровадження низькотемпературних систем теплопостачання, проте для приведення систем централізованого теплопостачання до показників 4G потрібно запровадити цілий ряд технічних, правових, соціальних та фінансово-економічних заходів. Наведені дослідження дозволяють встановити заходи, які потребують подальших досліджень для можливості впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання зокрема та екологічної безпеки систем теплопостачання в цілому.*

***Ключові слова:** система централізованого теплопостачання; відновлювальні джерела енергії; низькотемпературна система; тепла мережа; особливості; бар'єри.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.17-33>

Вступ

Міжнародне співтовариство протягом багатьох років здійснює численні заходи, пов'язані з покращенням навколишнього середовища. Крім того, російсько-українська війна 2022–2023 років показала негативний вплив російських викопних енергетичних ресурсів на енергетичну безпеку країн Євросоюзу. Щоб подолати забруднення навколишнього середовища та енергетичну незахищеність, світ перебуває на шляху переходу від викопного палива до відновлювальних джерел енергії. Вже тепер існують дослідження,

де оцінюється можливість використання 100% відновлювальної енергії для тих чи інших галузей промисловості [1, 2].

Централізоване теплопостачання є однією з галузей, енергетична модернізація якої дозволить не лише зменшити використання викопних видів палива та викиди парникових газів, але і спростити експлуатацію та технічне обслуговування будівель, зменшити витрати та забезпечити робочими місцями висококваліфікованих фахівців. У країнах Євросоюзу вже існують централізовані системи теплопостачання на альтернативних джерелах енергії або ж розглядаються можливі варіанти їх впровадження [3–6]. Для виконання Зеленої угоди та досягнення кліматичної нейтральності одним із потужних інструментів є впровадження систем централізованого теплопостачання 4 покоління (4GDH) та 5 покоління (5GDH), основними рисами яких є максимізація енергоефективності, мінімізація впливу на навколишнє середовище та оптимізація використання відновлювальних джерел енергії [7–9].

В Україні послугами централізованого теплопостачання користуються орієнтовно 50% населення. Загальна протяжність теплових мереж України у двотрубному обчисленні на 2018 рік становить 20,6 тис. км [10]. Переважна більшість українських теплових мереж та установок генерації теплоти споруджена у 70–80 роках ХХ сторіччя. Тому, більша частина систем централізованого теплопостачання України належить до систем 2 покоління (2GDH). Вони є високотемпературними, тобто температура теплоносія у подавальному трубопроводі знаходиться у діапазоні 95–150°C, у зворотному трубопроводі – 70°C, для генерації теплової енергії у 74% систем використовується природний газ, переважно відсутній облік теплової енергії, як на ланці виробництва тепла, так і у кінцевого споживача [10–12].

У 2022 році Україна отримала статус країни-кандидата на входження у Євросоюз. Це обумовлює потребу шукати шляхи приведення систем теплопостачання України до рівня 4 покоління (4GDH), які характеризуються низькими температурами теплоносіїв, використанням відновлювальних джерел енергії та відпрацьованого тепла, застосуванням акумуляторів теплоти. В Україні є багато досліджень щодо застосування відновлювальних джерел енергії для отримання теплової енергії, проте майже всі вони стосуються децентралізованих систем теплопостачання [13–15]. Публікації щодо централізованого теплопостачання переважно мають оглядовий характер, описують відмінності між різними системами теплопостачання України, описують шляхи їх розвитку або ж поодинокі випадки використання відновлювальних джерел енергії у централізованих системах теплопостачання [16–20]. Найвними також є публікації щодо сільськогосподарських відходів, які можуть бути використані для енергетичних потреб, як безпосередньо спалюванням, так і для виробництва біопалива [21–24]. Авторами статті було виконано спробу оцінити деякі технічні можливості переведення систем централізованого теплопостачання на низькотемпературний теплоносій [25], проте у літературі відсутня узагальнена інформація щодо можливостей та бар'єрів впровадження низькотемпературних систем теплопостачання 4GDH в Україні. Ось чому для впровадження низькотемпературних систем теплопостачання потрібно попередньо встановити кліматологічні та соціальні умови, законодавчі та технічні можливості та бар'єри таких систем в Україні.

Метою даної роботи є аналіз та обґрунтування можливості впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання для декарбонізації теплоенергетичної галузі України.

Матеріали і методи

На даний час багато уваги приділяється бар'ерам впровадження як в цілому низькотемпературних систем централізованого теплопостачання, так і окремо, наприклад, бар'єри по досягненню високого ступеня використання енергетичного потенціалу відновлювальними джерелами або ж бар'єри по використанню надлишкового тепла у системах централізованого теплопостачання [26–28]. Також існують дослідження можливостей та перешкод для декарбонізації цілісної енергетичної системи [29]. Для отримання інформації, що перешкоджає впровадженню тих чи інших технічних рішень, автори аналізують інформацію, яку надають зацікавлені сторони, та порівнюють її з існуючими даними з літературних джерел. Основними групами зацікавлених сторін є теплогенеруючі компанії, виробники (постачальники) енергоощадних технологій, дослідники, споживачі теплової енергії, інвестори, органи місцевої та державної влади. Кожна група має своє бачення розвитку систем теплопостачання, яке ґрунтується як на власних знаннях та наявному життєвому досвіді, так і на доступі до достовірної інформації щодо впровадження новітніх технологій. Для можливості впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання вони повинні відповідати вимогам кожної з груп зацікавлених осіб.

Так, теплогенеруючі компанії хотіли би при мінімальному вкладанні капітальних ресурсів отримувати максимально можливий прибуток. Виробники енергоощадного обладнання прагнуть збільшити свій прибуток шляхом збільшення продажів та розширити своє виробництво. Споживачі хочуть отримувати теплову енергію за мінімально можливою ціною. Інвестори не проти інвестувати кошти у системи централізованого теплопостачання, але їх рішення ґрунтуються лише на впевненості у прибутку. Органи місцевої та державної влади повинні дотримуватися існуючих законів щодо зменшення використання викопного палива та зменшення викидів парникових газів у довкілля. Інтереси кожної з перерахованих груп зацікавлених сторін часто не співпадають.

Так, у [26] наведені емпіричні дослідження щодо бар'єрів впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання, які базуються на широкому аналізі опитування представників 44 організацій, що представляють постачальників технологій, енергетичні компанії, промислові організації, політиків, місцеву владу та дослідників. Результати показують, що основними бар'єрами впровадження низькотемпературних систем теплопостачання є технічна незрілість технологій вироблення та накопичення теплової енергії, зокрема теплових насосів, ґрунтових теплообмінників, акумуляторів теплоти, небезпека прив'язки вироблення теплової енергії до біомаси, неготовність теплових мереж до переходу на низькотемпературні джерела енергії, зокрема не встановлені системи автоматизації та контролю як параметрів теплоносія (тиску і температури), так і окремого обладнання (насоси, теплообмінники), велика вартість електроенергії для рентабельного впровадження теплових насосів.

У [27] бар'єри впровадження низькотемпературних систем теплопостачання розглядаються для чотирьох груп зацікавлених осіб: інвесторів, споживачів теплової енергії, теплогенеруючих компаній та органів влади. Так, інвестори незадоволені рентабельністю інвестицій у низькотемпературні системи централізованого теплопостачання. Для споживачів визначальним є вартість теплової енергії, більшість з них не готові витратити власні кошти для впровадження енергоощадних технологій. Теплогенеруючі компанії хочуть зменшити капітальні затрати на монтаж та експлуатацію теплових мереж та теплогенеруючого обладнання. Органи місцевого самоврядування не мають достатніх знань щодо технологій низькотемпературних систем теплопостачання, їх переваг, вартості, наслідків використання для місцевої громади.

У [28] оцінюються можливості та бар'єри декарбонізації цілісної енергетичної системи, яка поєднує мережі централізованого опалення та охолодження з децентралізованими енергетичними підстанціями. В цій статті наведені результати систематичного огляду літератури та інтерв'ю, проведеного з 18 зацікавленими сторонами з провідних академічних і промислових установ. Можливості та бар'єри поділені за трьома темами: техніко-економічні показники, показники щодо синхронізації секторів енергетичної системи та показники можливості впровадження у ринок. Результати свідчать, що основними бар'єрами для впровадження таких систем є складність керування системою через використання декількох джерел енергії та, як наслідок, гідравлічна нестабільність системи, технічні складності обміну енергією між кількома зацікавленими сторонами, потреба у зберіганні тепла та холоду, більша встановлена потужність насосів, установок перетворення енергії, більші діаметри трубопроводів.

Аналізуючи літературні джерела, можна виокремити основні показники можливостей та бар'єрів впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання: кліматичні, фізико-географічні, правові, соціальні, технічні та фінансово-економічні. Проте у різних країнах вагомість наведених показників суттєво відрізняється. Тому, на даний час актуальним є також встановлення можливостей та бар'єрів впровадження низькотемпературних систем теплопостачання в Україні.

Результати дослідження

На момент написання статті бойові дії в Україні та бомбардування українських міст ще не припинилося, а значна територія залишається окупованою та вилученою з господарсько-економічної діяльності України. Складно спрогнозувати стан економіки України у повоєнний період, зокрема кількість населення, структуру промисловості, обсяг придатних сільськогосподарських угідь, обсяг споживання енергії тощо. Тому, в даній статті не враховується згубний вплив російсько-української війни на можливості та бар'єри впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання.

Кліматичні та фізико-географічні особливості та бар'єри

Україна розташована у Східній Європі та є найбільшою за площею країною Європи. Площа України становить 603 700 км². 95% від усієї площі займають

рівнини. На території України протікає 63 119 річок та струмків та близько 20 000 озер. Це дає можливість використовувати теплоту ґрунту та водою для забезпечення України низькопотенційною енергією.

Україна належить до провідних мінерально-сировинних держав світу. На початок XXI ст. Україна мала у своїх надрах 5% мінерально-сировинного потенціалу світу. Горючі корисні копалини, які можна видобувати в Україні, це вугілля, нафта, природний газ, метан вугільних родовищ, горючі сланці, торф. При впровадженні низькотемпературних систем теплопостачання та їх декарбонізації ці викопні палива доцільно використовувати для покриття пікового навантаження на енергетичну систему.

Територія України лежить переважно у помірному кліматичному поясі, лише південний берег Криму знаходиться у субтропічному кліматичному поясі. Оскільки з півночі на південь Україна має протяжність майже 900 км, середні температури повітря суттєво відрізняються у різних точках країни. Так, середня температура повітря у січні коливається від +2...+4°C на південному узбережжі Криму до -7...-8°C на північному сході. Надходження сонячної радіації на територію України також значно відрізняється залежно від географічного розташування місцевості та коливається в межах 1000–1500 кВт·год/м². Середні швидкості вітру на території України улітку варіюють в діапазоні від 3 до 6 м/с, у середньому на території країни – до 5 м/с. Узимку загалом вітри сильніші та сягають 5–8 м/с. Середня температура ґрунту на глибині 1,6 м взимку для м. Київ становить 2,7°C, а улітку 8,5°C, а для Одеси відповідно 5,5°C та 12,5°C [30]. Такі значення температур повітря, ґрунту, швидкості вітру та сонячного випромінювання дозволяють говорити про можливість застосування всіх альтернативних джерел енергії, зокрема теплових насосів, вітрогенераторів, сонячних панелей, сонячних колекторів на території України для забезпечення енергетичних потреб.

Однією з провідних галузей економіки України є сільське господарство. Сільськогосподарські угіддя займають 42 млн гектарів, або 70% загального фонду країни. Це дозволяє вирощувати рослини не лише для харчових потреб, а також і для забезпечення енергетичних потреб України. Енергетичні рослини, такі як ріпак, соняшник, соя, кукурудза та інші, можуть бути сировиною для створення біопалива, а енергетичні дерева, наприклад швидкоростучі верби і тополі, можуть безпосередньо використовуватися як паливо.

Одним із поширених відновлювальних джерел енергії є деревна біомаса. В Україні ліси займають близько 15,9% території держави. Загальна площа лісових ділянок становить 10,4 млн гектарів. Санітарні рубки, рубки догляду, лісовідновні рубки дозволяють заготувати деревну біомасу для енергетичних потреб.

Кліматологічні та фізико-географічні особливості сприяють впровадженню відновлювальних джерел енергії в енергетику України. На рис. 1 показано встановлену потужність об'єктів відновлювальної енергетики у період з 2014 року до I кварталу 2020 року. Як видно з рис. 1, найбільше в Україні використовується сонячна енергія, за представлений період встановлена потужність сонячних електростанцій зросла в 15 разів (з 411 МВт до 6194 МВт). На другому місці – використання енергії вітру, причому встановлена потужність вітрогенераторів збільшилася майже у 3 рази до 1207 МВт. Використання біогазу, біомаси та енергії річок України хоча і збільшується з кожним роком, проте їх частка у об'єктах генерації енергії ще досить мала.

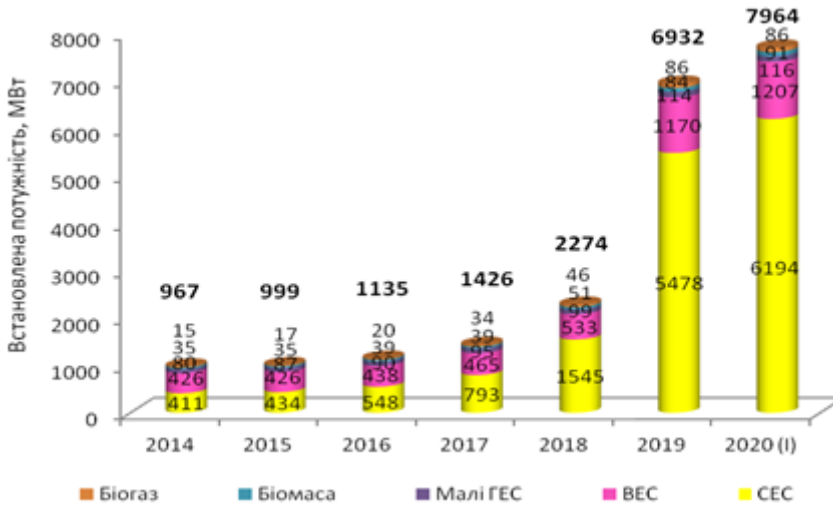


Рис. 1. Встановлена потужність об'єктів відновлювальної енергетики України

Частка відновлювальних джерел енергії у первинному споживанні енергії України ще досить мала. Так, за даними Енергетичного балансу, розробленого Держстатом України, загальна частка ВДЕ у 2019 році становила – 8,08%, а у 2020 році – 9,19%. Частка відновлювальних джерел енергії в системах тепlopостачання та охолодження у 2019 році становила – 9,03%, а у 2020 році – 9,28%. На це впливають зокрема і кліматологічні та фізико-географічні бар'єри.

Так, одним з основних бар'єрів по впровадженню низькотемпературних систем тепlopостачання є відсутність як кліматологічних статистичних даних, так і потенційної кількості біомаси різного походження. Ця інформація потрібна для перспективного планування систем централізованого тепlopостачання на 5–10 років вперед. Автори статті спробували оцінити наявність відновлювальних джерел енергії у Львівській області, проте через відсутність багатьох статистичних даних загальна картина їх наявності склалася досить наближено [31]. Так, наявність даних про температуру ґрунту та води у водоймах на різній глибині спростила би впровадження теплових насосів в якості джерела теплоти. Відсутня щорічна інформація щодо кількості відходів, які утворюються при вирощуванні та переробці сільськогосподарських культур, а також кількості енергетичних рослин, які можна використовувати при виробництві біопалива. Немає прогнозних даних щодо річної кількості деревної біомаси, яку можна отримати під час вирубування дерев у лісах. Також до фізико-географічних бар'єрів належить незаконна вирубка лісів. Станом на 2022 рік обсяг незаконної вирубки становив 54,3 тис. м³. Крім несанкціонованого вивезення промислової деревини, незаконна вирубка характеризується неефективним поводженням з деревними відходами. Деревна біомаса залишається безпосередньо в місцях вирубки та не використовується. У 2017 році затверджена Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року, проте в ній не передбачено обов'язкове встановлення кількості відходів та сортування їх за можливими сферами застосування. Не ведеться також статистика як по

відходах тваринництва, так і по кількості та якості стічних вод, які також можуть бути сировиною для виробництва біопалива. Доцільно вести таку статистику профільним підприємствам не лише за областями, а також за районами області. Оскільки у різних районах однієї області можуть бути різні доступні відновлювальні джерела енергії, деś деревна біомаса, а деś відходи тваринництва.

Правові можливості і бар'єри

В Україні існує 3 державних документи, які стосуються теплопостачання: Закон України «Про теплопостачання» 2005 р., Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання, 2017 р., Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року, 2021 р.

Закон України «Про теплопостачання» був прийнятий у 2005 році і з того часу періодично зазнавав змін та доповнень. Він визначає основні правові, економічні та організаційні засади діяльності на об'єктах сфери теплопостачання та регулює відносини, пов'язані з виробництвом, транспортуванням, постачанням та використанням теплової енергії з метою забезпечення енергетичної безпеки України, підвищення енергоефективності функціонування систем теплопостачання, створення і удосконалення ринку теплової енергії та захисту прав споживачів та працівників сфери теплопостачання. Державна політика у сфері теплопостачання відповідно до статті 6 Закону базується зокрема на принципах:

- забезпечення енергетичної безпеки держави;
- пріоритетного розвитку застосування технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (когенерації) та використання альтернативних джерел енергії, нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії;
- створення умов для впровадження енергозберігаючих технологій.

Відповідно до статті 7 Закону одними з основних напрямків розвитку систем теплопостачання є:

- планування теплопостачання, розроблення та реалізація схем теплопостачання міст та інших населених пунктів України, строк дії яких становить 10 років на основі оптимального поєднання централізованих та автономних систем теплопостачання;
- впровадження когенераційних установок, у тому числі на базі діючих опалювальних котельнь;
- використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії, у тому числі енергії сонця, вітру, біогазу, геотермальних вод, відходів виробництва;
- впровадження вискоелективного теплоенергетичного обладнання і матеріалів.

Єдиним стратегічним документом державного рівня щодо системи теплопостачання в Україні є Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання (2017 р.), яка розроблена для систем централізованого і автономного теплопостачання.

Крім того, кожне обласне місто має свою програму або стратегію впровадження відновлювальних джерел енергії, декарбонізації галузей народного господарства та їх кліматичної нейтральності. Наприклад, у Львові було затверджено «Програму щодо створення умов для трансформації

Львівської міської територіальної громади у сталу енергопозитивну та кліматично нейтральну громаду на 2019–2024 роки».

Незважаючи на наявні нормативні документи, в Україні існують лише поодинокі випадки впровадження відновлювальних джерел енергії у системах теплопостачання, наприклад ТЕЦ Смілянського електромеханічного заводу на деревній трісці у Черкаській області.

Основним правовим бар'єром є те, що вищенаведені документи мають лише декларативний характер, тобто відсутній детальний план щодо модернізації систем централізованого теплопостачання відповідно до вимог 4GDH, не передбачено детальних технічних заходів і фінансово-економічних інструментів для досягнення цієї мети. Крім того, до правових бар'єрів належать:

- Відсутність об'єктивних показників у нормативно-правових документах для прийняття рішень про доцільність відмови від ЦТ. У Концепції пропонується «оптимальне поєднання» автономного та централізованого теплопостачання, але при цьому не встановлено кількісних показників «оптимального поєднання».

- Установки генерації теплоти, її транспортування та розподілу перебувають у власності різних суб'єктів. Це призводить до того, що інтереси власників кожної з ділянок систем теплопостачання ризикують.

- Частина об'єктів теплоенергетичної інфраструктури перебуває у приватній власності, що перешкоджає впровадженню деяких державних правових документів.

- Монопольність теплогенеруючих компаній та теплових мереж. Існуюча практика планування схем теплопостачання не враховує можливість появи нових незалежних виробників тепла. Відбір на конкурсних засадах нових теплогенеруючих об'єктів передбачений в законі України «Про теплопостачання» лише у випадку збільшення обсягів теплоспоживання і лише з-поміж тих проєктів, що вже були призначені до будівництва згідно з існуючою схемою «на перспективу».

- Юридичні проблеми із бурінням свердловин та використання геотермальних вод для потреб ЦТ, оскільки відповідно до Конституції України її надра є власністю народу.

- Відсутність відкритої інформації щодо попиту (погодинного, денного) на тепло у теплогенеруючих підприємств.

- Міська влада має лише обмежений вплив на теплоенергетичні компанії (ТЕЦ або котельні потужних промислових підприємств). Лише у випадку, якщо теплопостачання забезпечують міські комунальні підприємства, вони можуть реалізувати плани місцевих органів влади щодо енергозбереження.

- Лобіювання інтересів енергетичних компаній представниками органів місцевої та державної влади.

Соціальні особливості та бар'єри

Кінцевим споживачем теплової енергії є люди, саме вони є замовниками та платниками послуг систем теплопостачання. Неврахування побажань кінцевого споживача, нехтування його інтересами в найгіршому випадку може призвести до відключення від послуг централізованого теплопостачання. Тому, дуже важливим є врахування інтересів споживачів теплової енергії,

а також надання детальної інформації щодо впровадження низькотемпературних систем тепlopостачання та їх декарбонізації для заохочення споживачів до змін та енергоощадності.

До соціальних бар'єрів впровадження низькотемпературних систем тепlopостачання належать:

– Розповсюдження інформації у засобах масової інформації понад 30 років незалежності України щодо неефективності систем централізованого тепlopостачання.

– Глибоке переконання звичайних містян, що децентралізовані системи є дешевшими та легше регульованими.

– Опір власників енергетичних компаній впровадженню низькотемпературних СЦТ через корисливі інтереси або «старе мислення», крім того, вони бояться ризиків, пов'язаних з новими технологіями.

– Державні службовці і міські планувальники не завжди є фахівцями енергетики, тому не знають про те, що для зменшення викидів парникових газів потрібне об'єднання секторів електроенергетики, тепlopостачання, промисловості та транспорту.

– Громадянам та політикам бракує відповідної інформації щодо реальних кроків для заощадження енергії та впровадження енергоощадних технологій, а, відповідно, стримуються внесення інвестицій в такі проекти.

– Існування думки у споживачів, що біоенергетика є нестабільним варіантом, використання якого слід обмежити.

Технічні можливості та бар'єри

Україна має розвинуті системи централізованого тепlopостачання, частка якого, правда, поступово зменшується через зношення генерувальних потужностей, виведення з експлуатації опалювальних котелень (рис. 2), відключення споживачів від СЦТ.



Рис. 2. Виведена з експлуатації українська котельня

У 2018 році рівень забезпеченості населення централізованим тепlopостачанням становив 51,3%. Станом на 2018 рік до СЦТ підключено 83 590 житлових будинків з 163 041 існуючих будинків. Послугами централізованого гарячого водопостачання користуються 34 464 будинків, що становить 41,2%.

Головним виробником теплової енергії є опалювальні котельні. Їх частка у тепловому балансі СЦТ становить 55–63%. ТЕЦ загального користування – 18–25%, ТЕЦ підприємств – 8–10%. Встановлена теплова потужність джерел теплогенерації у 2015 році – 143,57 ГВт. На 2018 рік як паливо здебільшого використовують природний газ – 75%, кам'яне вугілля – 13%, альтернативні джерела енергії (переважно біомаса) – 12%.

Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії в Україні здійснюють 12 ТЕС, 4 АЕС, 95 ТЕЦ загального користування, близько 400 локальних ТЕЦ і когенераційних установок. Зношеність основних фондів найбільших ТЕЦ України становить 70–80%, зношеність магістральних і розподільних мереж досягає 70% їх загальної протяжності, станом на 2019 рік 44,5% котлів знаходяться в експлуатації понад 30 років [32, 33].

Загальна протяжність теплових мереж СЦТ у двотрубному обчисленні у 2018 році – 20,6 тис. км. Чи не єдиним заходом в Україні з модернізації теплових мереж є заміна старих сталевих погано ізольованих трубопроводів на попередньо ізольовані трубопроводи. В країні діє цілий ряд сучасних потужних підприємств з виготовлення попередньо ізольованих трубопроводів. На жаль, заміні підлягають, як правило, аварійні ділянки теплових мереж. Станом на 2017 рік 69% теплових мереж потребують реконструкції [33, 34].

До технічних бар'єрів належать такі пункти:

- Відсутність статистичних даних щодо кількості наявних місцевих відновлювальних джерел енергії (в першу чергу, біомаси) та потенційної щорічної її кількості для можливості розраховувати найближчу та подальшу перспективу її впровадження.

- Відсутність інформації щодо джерел надлишкового тепла, а відповідно теплоти, яку можна використати для покриття потреб систем теплопостачання.

- Зношеність обладнання систем теплопостачання, зокрема котлів та теплових мереж.

- Неготовність існуючих теплових мереж до впровадження низькотемпературних теплоносіїв (малий діаметр, низькі потужності насосів, малі продуктивності теплообмінників тощо).

- Неготовність споживачів теплової енергії до впровадження низькотемпературних СЦТ (неутеплені будинки, значні інфільтраційні тепловтрати, відсутність поквартирного регулювання відпуску теплоти тощо).

- Існуючі теплові насоси не придатні для виробництва теплоносія з високою температурою.

- Відсутність промислового обладнання для накопичення тепла для роботи з переривчастими відновлювальними джерелами енергії в регіонах з помірним кліматом (денного та сезонного накопичення).

- Розвиток легіонели у низькотемпературних системах теплопостачання.

Фінансово-економічні можливості та бар'єри

В Україні з 2014 року була запроваджена Урядова програма «теплих кредитів» та кредитні програми від деяких банків. Програмами було передбачено придбання енергоефективного обладнання або матеріалів для фізичних осіб – власників приватних будинків або співвласників житлових будинків. Також за допомогою інвестицій Європейського банку реконструкції та розвитку було проведено модернізацію індивідуальних теплових пунктів.

3 липня 2021 року усі повноваження щодо регулювання інвестиційної діяльності у системах централізованого теплопостачання передані місцевим органам влади. Відповідно, саме місцеві органи влади повинні розробляти та реалізовувати інвестиційні програми для підвищення рівня надійності та забезпечення ефективної роботи систем централізованого теплопостачання.

Високий рівень зносу обладнання підприємств теплоенергетики, який наведений у технічних бар'єрах, потребує високої інвестиційної діяльності. Аналіз фінансової звітності за 2020 р. найбільших підприємств теплопостачання показав, що понад 75% найбільших виробників теплової енергії є збитковими [35]. Відсутність прибутку унеможливорює належне фінансування інвестиційної діяльності. Наслідком збитковості підприємств теплопостачання є також відсутність можливостей щодо залучення кредитних коштів. Ще однією проблемою підприємств теплоенергетики, які гальмують залучення інвестицій, є значні суми кредиторської та дебіторської заборгованості.

До фінансово-економічних бар'єрів належать:

- Відсутність показника, який визначає економічну доцільність використання централізованих систем теплопостачання у населених пунктах.
- Наявні кредитні програми в Україні не дозволили суттєво зменшити потужність теплогенерувальних підприємств.
- Збитковість підприємств теплоенергетики і значний рівень зносу обладнання не дозволяють сформувавши достатній інвестиційний ресурс.
- Недосконалість порядку планування інвестиційної діяльності підприємствами теплоенергетики.
- Ускладнені вимоги фінансування окремих заходів інвестиційних програм.
- Велика вартість електроенергії для теплогенерувальних підприємств для рентабельного впровадження теплових насосів.
- Відсутність на ринку готового обладнання промислових теплових насосних систем. При тендері відсутня конкуренція по виробниках, тому тендери не можна провести.
- Зростаючий попит на біомасу може зробити її дорожчою.
- Сезонне зберігання теплової енергії поки що не рентабельне.
- Недостатня розробленість питань оподаткування енергії, які сприяють впровадженню теплових насосів.

Оскільки існує досить багато бар'єрів для впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання, то доцільно провести поетапну модернізацію теплових мереж. На першому етапі доцільно запровадити такі системи у західних і центральних регіонах України для великих новозбудованих житлових комплексів, зовнішні огороження яких мають високі теплотехнічні характеристики. На другому етапі необхідно буде негайно орієнтуватися на сучасні рішення в галузі теплопостачання населених пунктів із застосуванням низькотемпературних систем при відновленні зруйнованих населених пунктів східних та південних регіонів України.

Висновки

Низькотемпературні системи централізованого теплопостачання мають ряд переваг: дозволяють зменшувати використання викопних видів палива та викиди парникових газів, впроваджувати відновлювальні та вторинні джерела енергії, спростити експлуатацію та технічне обслуговування будівель.

В даній статті встановлено, що в Україні існують передумови для запровадження низькотемпературних систем теплопостачання, зокрема кліматичні та фізико-географічні умови. Проте проведений аналіз показав, що в технічному та правовому відношенні Україна знаходиться на початковому етапі модернізації систем централізованого теплопостачання та існує ряд перешкод, які не дозволяють впроваджувати низькотемпературні системи в Україні.

Крім того, проведені аналітичні дослідження дозволили узагальнити можливості та бар'єри для впровадження низькотемпературних систем централізованого теплопостачання та встановити цілий ряд технічних, правових, соціальних та фінансово-економічних заходів, які перешкоджають їх впровадженню в Україні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Torabi R., Gomes Á., Morgado-Dias F. Electricity, Transportation, and Water provision on 100% Renewable Energy for Remote Areas. *Energies* 2023, vol. 16, P. 1–20.
2. Johannsen R. M., Mathiesen B. V., Kermeli K., Crijns-Graus W., Østergaard P. A. Exploring pathways to 100% renewable energy in European industry. *Energy* 2023, vol. 268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126687>
3. Jepsen B. K. H., Haut T. W., Jradi M. Design, Modelling and Performance Evaluation of a Positive Energy District in a Danish Island. *Future Cities and Environment* 2022, vol. 8, № 1, P. 1–15.
4. Kaķis R., Polikarpova I., Pakere I., Blumberga D. Is It Possible to Obtain More Energy from Solar DHField? Interpretation of Solar DH System Data. *Environmental and Climate Technologies* 2021, vol. 25, № 1, P. 1284–1292.
5. Ruseļjuk P., Dedov A., Hlebnikov A., Lepiksaar K., Volkova A. Comparison of District Heating Supply Options for Different CHP Configurations. *Energies* 2023, vol. 16. <https://doi.org/10.3390/en16020603>
6. Sovacool B. K., Martiskainen M. Hot transformations: Governing rapid and deep household heating transitions in China, Denmark, Finland and the United Kingdom. *Energy Policy* 2020, vol. 139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111330>
7. Gudmundsson O., Schmidt R.-R., Dyrelund A., Thorsen J. E. Economic comparison of 4GDH and 5GDH systems – Using a case study. *Energy* 2022, vol. 238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.1216133>
8. Schweiger G., Kuttin F., Posch A. District Heating Systems: An Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats of the 4GDH. *Energies* 2019, vol. 12. <https://doi.org/10.3390/en12244748>
9. Sorknæs P., Østergaard P. A., Thellufsen J. Z., Lund H., Nielsen S., Djørup S., Sperling K. The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system. *Energy* 2020, vol. 213. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119030>
10. Карп, І. М., Нікітін, Є. Є., П'яних, К. Є., Сігал, О. І, Дубовський, С. В., Гелетуха, Г. Г., та ін. Стан та шляхи розвитку системи централізованого теплопостачання в Україні. Книга 1. Київ: Наукова думка, 2021, 264 с.

11. Фіалко Н., Тимченко М. Особливості систем централізованого теплопостачання України. Scientific Journal “Internauka” 2023, №3. <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/16770687325286.pdf>
12. Redko I., Ujma A., Redko A., Pavlovskiy S., Redko O., Burda Y. Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of district heating systems. Energy and Buildings 2021, vol. 247. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110947>
13. Savchenko O., Savchenko Z. Estimation of solar water heating system operation for a residential building. Energy Engineering and Control Systems 2021, Vol. 7, № 1, P. 1–6.
14. Кузик М. П., Заяць М. Ф. Пасивна система сонячного теплопостачання. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 5. С. 111–114.
15. Savchenko O., Lis A. Estimation of efficiency of use of flat solar collectors in temperate climate regions. Proceedings of EcoComfort 2022, Lecture Notes in Civil Engineering 2023, vol. 290, P. 355–364.
16. Geletukha G., Zheliezna T., Bashtovyi A. Prospects for decarbonization of district heating in Ukraine. Thermophysics and Thermal Power Engineering 2021, vol. 43, № 3, P. 44–51.
17. Kyzym M., Kotliarov Y., Khaustova V. Analyzing the Centralized Heat Provision of Large Localities in Ukraine and Countries of the World. Business Inform 2021, vol. 9, № 524, P. 96–107.
18. Savchenko O., Zhelykh V., Yurkevych Y., Kozak K., Bahmet S. Alternative energy source for heating system of woodworking enterprise. Energy Engineering and Control Systems 2018, Vol. 4, № 1, P. 27–30.
19. Polivyanchuk A., Semenenko R., Kapustenko P., Klemeš J., Arsenyeva O. The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine. Energy 2022, vol. 263, №5. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125876>
20. Savchenko O., Yurkevych Y., Zhelykh V., Voznyak O. Review of schemes of geothermal district heating and recommendations for their use in Lviv region. Proceedings of EcoComfort 2022, Lecture Notes in Civil Engineering 2023, vol. 290, P. 344–354.
21. Awogbemi O., Kallon D.V. Valorization of agricultural wastes for biofuel applications. Heliyon 2022, vol. 8(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11117>
22. Janiszewska D., Ossowska L. The Role of Agricultural Biomass as a Renewable Energy Source in European Union Countries. Energies 2022, vol. 15. <https://doi.org/10.3390/en15186756>
23. Токарчук Д. М., Пришляк Н. В., Паламаренко Я. В. Стратегія поводження з відходами аграрних підприємств: раціональне поводження з відходами рослинництва, відходами тварин тваринним гноєм, агрохімічними відходами. Ефективна економіка 2021, №12, 15 с. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.104>
24. Wang L., Xie X. Review on the Application of Agricultural Waste Resources. Frontiers in Sustainable Development 2023, vol. 5, № 3, P. 51–54.
25. Savchenko O., Yurkevych Y., Voznyak O., Savchenko Z. Assessment of the possibility of transferring Ukrainian district heating systems to low-temperature coolants. Theory and Building Practice 2023, Vol. 5, № 1, P. 28–36.
26. Fritz M., Savin M., Aydemir A. Usage of excess heat for district heating – Analysis of enabling factors and barriers. Journal of Cleaner Production 2022, vol. 363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132370>
27. Reda F., Ruggiero S., Auvinen K., Temmes A. Towards low-carbon district heating: investigating the socio-technical challenges of the urban energy transition. Smart Energy 2021, vol. 4. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100054>
28. District heat networks in the UK potential, barriers and opportunities. Loughborough: Energy Technologies Institute, 2018, 17 p.
29. Angelidis O., Ioannou A., Friedrich D., Thomson A., Falcone G. District heating and cooling networks with decentralised energy substations: Opportunities and barriers for holistic energy system decarbonisation. Energy 2023, vol. 269. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126740>

30. Zhelykh V., Savchenko O., Pashkevych V., Matushevych V. The geothermal ventilation of passive house. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* 2015, Vol. 2, № 16, pp. 145–150.
31. Savchenko O., Yurkevych Y., Liubuska I. Spatial analysis of renewable energy sources in Lviv region. *Energy Engineering and Control Systems* 2023, Vol. 9, № 1, P. 22–30.
32. Демченко В. Г. Ефективні конструкції магістральних тепломереж, 2018, 4 с. https://www.researchgate.net/publication/325260129_EFEKTIVNI_KONSTRUKCII_MA_GISTRALNIH_TEPLOMEREZ.
33. Теплозабезпечення великих міст України: поточний стан і напрями модернізації : кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима, С. І. Котлярова, Харків: ФОП Лібуркіна Л. М., 2021, 340 с.
34. Сістані Е. М., Ковальчук І., Ушилайтите-Шульте Л., фон Краузе-Кон М., Кабакова М., Жук О., Шмельхер С., Бондарук В. Посібник для України. Трансформація системи теплопостачання. Частина А: Цілі та загальні умови. Переклад: Д-р Юрій Сильвестров, Вид-во: Німецьке енергетичне агентство ГмБХ Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2020, 48 с.
35. Пропозиція щодо вдосконалення державного регулювання інвестиційної діяльності в сфері теплоенергетики. Аналітична записка. Харків: Національна академія наук України, 2021. 21 с.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2023 і прийнята до друку після рецензування 17.11.2023

REFERENCES

1. Torabi, R., Gomes, Á., & Morgado-Dias, F. (2023). Electricity, Transportation, and Water provision on 100% Renewable Energy for Remote Areas. *Energies*, 16, 1–20.
2. Johannsen, R. M., Mathiesen, B. V., Kermeli, K., Crijns-Graus, W., & Østergaard P. A. (2023). Exploring pathways to 100% renewable energy in European industry. *Energy*, 268, 126687. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126687>
3. Jepsen, B. K. H., Haut, T. W., & Jradi, M. (2022). Design, Modelling and Performance Evaluation of a Positive Energy District in a Danish Island. *Future Cities and Environment*, 8(1), 1–15.
4. Kaşis, R., Polikarpova, I., Pakere, I., & Blumberga, D. (2021). Is It Possible to Obtain More Energy from Solar DHField? Interpretation of Solar DH System Data. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 1284–1292.
5. Ruseljuk, P., Dedov, A., Hlebnikov, A., Lepiksaar, K., & Volkova, A. (2023). Comparison of District Heating Supply Options for Different CHP Configurations. *Energies*, 16, 603. <https://doi.org/10.3390/en16020603>
6. Sovacool, B. K., & Martiskainen, M. (2020). Hot transformations: Governing rapid and deep household heating transitions in China, Denmark, Finland and the United Kingdom. *Energy Policy*, 139, 111330. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111330>
7. Gudmundsson, O., Schmidt, R.-R., Dyrelund, A., & Thorsen J. E. (2022). Economic comparison of 4GDH and 5GDH systems – Using a case study. *Energy*, 238, 1216133. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.1216133>
8. Schweiger, G., Kuttin, F., & Posch A. (2019). District Heating Systems: An Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats of the 4GDH. *Energies*, 12, 4748. <https://doi.org/10.3390/en12244748>
9. Sorknæs, P., Østergaard, P. A., Thellufsen, J. Z., Lund, H., Nielsen, S., Djørup, S., & Sperling, K. (2020). The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system. *Energy*, 213, 119030. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119030>
10. Karp, I. M., Nikitin, E. E., Pyanykh, K. E., Sigal, O. I., Dubovsky, S. V., Geletukha, G. G., & other (2021). Status and ways of development of the centralized heat supply system in Ukraine. Book 1. Kyiv: Naukova dumka, 264 p. [in Ukrainian].

11. Fialko, N., & Tymchenko, M. (2023). Features of district heating systems in Ukraine. *International Scientific Journal "Internauka"*, 3, 1–9 [in Ukrainian].
12. Redko, I., Ujma, A., Redko, A., Pavlovskiy, S., Redko, O., & Burda, Y. (2021). Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of district heating systems. *Energy and Buildings*, 247, 110947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110947>
13. Savchenko, O., & Savchenko, Z. (2021). Estimation of solar water heating system operation for a residential building. *Energy Engineering and Control Systems*, 7(1), 1–6.
14. Kuzyk, M. P., Zayats, M. F. (2019). The passive system of the solar heat supply. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(5), 111–114.
15. Savchenko, O., & Lis, A. (2023). Estimation of efficiency of use of flat solar collectors in temperate climate regions. *Proceedings of EcoComfort 2022, Lecture Notes in Civil Engineering*, 290, 355–364.
16. Geletukha, G., Zheliezna, T., & Bashtovyi, A. (2021). Prospects for decarbonization of district heating in Ukraine. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 43(3), 44–51.
17. Kyzym, M., Kotliarov, Y., & Khaustova, V. (2021). Analyzing the Centralized Heat Provision of Large Localities in Ukraine and Countries of the World. *Business Inform*, 9(524), 96–107.
18. Savchenko, O., Zhelykh, V., Yurkevych, Y., Kozak, K., & Bahmet, S. (2018). Alternative energy source for heating system of woodworking enterprise. *Energy Engineering and Control Systems*, 4(1), 27–30.
19. Polivyanchuk, A., Semenenko, R., Kapustenko, P., Klemeš, J., & Arsenyeva, O. (2022). The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine. *Energy*, 263(5), 125876. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125876>
20. Savchenko, O., Yurkevych, Y., Zhelykh, V., & Voznyak, O. (2023). Review of schemes of geothermal district heating and recommendations for their use in Lviv region. *Proceedings of EcoComfort 2022, Lecture Notes in Civil Engineering*, 290, 344–354.
21. Awogbemi, O., & Kallon, D.V. (2022). Valorization of agricultural wastes for biofuel applications. *Heliyon*, 8(2), e11117. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11117>
22. Janiszewska, D., & Ossowska, L. (2022). The role of agricultural biomass as a renewable energy source in European Union countries. *Energies*, 15, 6756. <https://doi.org/10.3390/en15186756>
23. Tokarchuk, D., Pryshliak, N., & Palamarenko, Y. (2021). Strategy of waste management of agrarian enterprises: rational management of plant waste, waste of animal tissue, animal manure, agrochemical waste. *Efficient economy*, 12, 15. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.104> [in Ukrainian].
24. Wang, L., & Xie, X. (2023). Review on the application of agricultural waste resources. *Frontiers in Sustainable Development*, 5(3), 51–54.
25. Savchenko, O., Yurkevych, Y., Voznyak, O., & Savchenko, Z. (2023). Assessment of the possibility of transferring Ukrainian district heating systems to low-temperature coolants. *Theory and Building Practice*, 5(1), 28–36.
26. Fritz, M., Savin, M., & Aydemir, A. (2022). Usage of excess heat for district heating – Analysis of enabling factors and barriers. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132370>
27. Reda, F., Ruggiero, S., Auvinen, K., & Temmes, A. (2021). Towards low-carbon district heating: investigating the socio-technical challenges of the urban energy transition. *Smart Energy*, 4, 100054. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100054>
28. District heat networks in the UK potential, barriers and opportunities. Loughborough: Energy Technologies Institute, 2018, 17 p.
29. Angelidis, O., Ioannou, A., Friedrich, D., Thomson, A., & Falcone, G. (2023). District heating and cooling networks with decentralised energy substations: Opportunities and barriers for holistic energy system decarbonisation. *Energy*, 269, 126740. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126740>

30. Zhelykh, V., Savchenko, O., Pashkevych, V., & Matuskevych, V. (2015). The geothermal ventilation of passive house. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2(16), 145–150.
31. Savchenko, O., Yurkevych, Y., & Liubuska, I. (2023). Spatial analysis of renewable energy sources in Lviv region. *Energy Engineering and Control Systems*, 9(1), 22–30.
32. Demchenko, V. (2018). Efficient designs of main heating networks. 4. https://www.researchgate.net/publication/325260129_EFEKTIVNI_KONSTRUKCII_MA_GISTRALNIH_TEPLOMEREZ. [in Ukrainian].
33. Kyzim, M. O., Kotlyarov, E. I. (Eds.). (2021). Heat supply of large cities of Ukraine: current state and directions of modernization. Kharkiv: FOP Liburkina L. M., 340 p. [in Ukrainian].
34. Sistani, E. M., Kovalchuk, I., Ushilaytite-Schulte, L., Krause-Kohn, M., Kabakova, M., Zhuk, O., Shmelher, S., & Bondaruk, V. (2020). Guide for Ukraine. Transformation of the heat supply system. Part A: Objectives and general conditions. Translation: Dr. Yuriy Sylvestrov, Publisher: Deutsche Energie-Agentur GmbH, 48 p. [in Ukrainian].
35. Proposal for improvement of state regulation of investment activities in the field of thermal energy. Analytical note. Kharkiv: National Academy of Sciences of Ukraine, 2021, 21 p. [in Ukrainian].

The article was received 01.09.2023 and was accepted after revision 17.11.2023

Савченко Олена Олексіївна

кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Національного університету “Львівська політехніка”

Адреса робоча: вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3767-380X> **e-mail:** o.savchenko@i.ua

Юркевич Юрій Степанович

кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Національного університету “Львівська політехніка”

Адреса робоча: вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8869-7759> **e-mail:** jurjurkev@gmail.com

Возняк Орест Тарасович

доктор технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Національного університету “Львівська політехніка”

Адреса робоча: вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6431-088X> **e-mail:** orest.voznyak@i.ua