

## Енергозберігаючі технології

УДК 551.582

DOI: 10.33070/etars.2.2023.02

**Басок Б.І.<sup>1,2</sup>**, докт. техн. наук, ORCID: 0000-0002-8935-4248,  
**Дубовський С.В.<sup>1</sup>**, докт. техн. наук, ORCID: 0000-0001-9418-2092,  
**Пастушенко Е.П.<sup>2,3</sup>**, **Нікітін Є.Є.<sup>4</sup>**, докт. техн. наук,  
ORCID: 0000-0002-0173-6461, **Базєєв Є.Т.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук,  
ORCID: 0000-0003-4292-1505

<sup>1</sup> **Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ**  
вул. Марії Капніст, 2а, 03057 Київ, Україна, e-mail: borys.basok@gmail.com

<sup>2</sup> **Національна асоціація України по тепловим насосам, Київ**  
вул. Марії Капніст, 2а, 03057 Київ, Україна, e-mail: pastushenko@vde.com.ua

<sup>3</sup> **ТОВ «Теплові насоси ВДЕ», Київ**  
вул. Регенераторна, 22, корп. 1, оф. 12, Київ, Україна, e-mail: pastushenko@vde.com.ua

<sup>4</sup> **Інститут газу Національної академії наук України, Київ**  
вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: nikitin\_ee@ukr.net

### Теплові насоси як тренд низьковуглецевого розвитку енергетики

Наведено огляд енергетичних та економічних проблем використання теплових насосів. Показано етапи розвитку світової та європейської енергетики з притаманними їм економічно-фінансовими кризами та їх впливом на обсяги застосування теплових насосів. Наведено основні нормативно-технічні законодавства країн Європи щодо теплових насосів та у суміжних галузях економіки. Розглянуто основні чинники використання теплонасосного обладнання, проаналізовано виклики та можливі тенденції розвитку. Оцінено заходи з енергоменеджменту та економіки, що сприяли зростанню впроваджень теплових насосів під час глобальної енергетичної кризи 2021–2022 рр. Наведено сучасний стан використання теплових насосів у світі, в Європі, зокрема в Німеччині та Польщі. Вказано причини та організаційні заходи, що зумовили активне зростання теплових насосів в окремих країнах Європи. Детально оцінено польський досвід останнього часу в сприятливій політиці активної підтримки теплонасосних технологій та електрифікації теплозабезпечення. Наведено приклад економічних показників для типової будівлі європейського стандарту енергоефективності при різних варіантах теплозабезпечення, включаючи теплонасосні технології, а також індивідуальну фотовольтаїку. Проаналізовано використання в Євро-

пі теплових насосів великої потужності (більше 100 кВт) у системах централізованого тепlopостачання та в різних галузях промисловості. Окреслено перспективи розвитку теплових насосів з точки зору електрифікації тепlopостачання, досягнення низьковуглецевої енергетики та запобігання пагубним змінам клімату. Рекомендовано використання позитивного досвіду Польщі в політиці підтримки теплових насосів при відновленні в Україні житлових будівель, що зруйновані війною. *Бібл. 37, рис. 9, табл. 5.*

**Ключові слова:** теплові насоси, енергоефективність, субсидії, теплота, відновлювані джерела енергії, енергія довкілля.

### Історія розвитку

Теплові насоси (ТН) широко визнані як ключова технологія чистої енергії в енергетичному переході до вуглецьнейтральної енергетики. ТН, які працюють від електроенергії з низьким рівнем викидів, є центральною технологією глобального переходу до безпечного та стійкого опалення. ТН, особливо так звані «зелені» ТН, — це установки та технології одержання теплоти з низьким вмістом вуглецю, що мають потенціал для значного скорочення парникових викидів при теплозабезпеченні промисловості та будівель. Вони, як правило, використовують електроенергію для трансформації низькопотенційної теплоти навколишнього повітря, води водоймищ та річок або ґрунту чи скидної техногенної теплоти для опалення будівлі та гарячого водопостачання (ГВП). Цей процес є енергоефективним, оскільки ТН постачають від 3 до 5 одиниць теплоти на кожен одиницю електроенергії, необхідної для їх роботи. ТН використовують переважно відновлювану теплоту, тому 70–80 % теплової енергії, що виробляє середній ТН, є теж відновлюваною. Якщо електроенергія, що використовується для приводу електричного компресора, виробляється з джерел з низьким вмістом вуглецю, то майже вся корисна теплота виробляється в ТН також з низьким або навіть нульовим вмістом вуглецю. Тому ТН вважаються ключовим, економічно ефективним рішенням для боротьби з викидами вуглекислого газу.

Проте впровадження ТН у багатьох країнах здійснюється доволі повільно. Європа лідирує в цьому відношенні з двозначними темпами зростання з 2015 р. Інші країни, включаючи Китай, останнім часом мають подібні тенденції зростання використання ТН. Відповідно до даних Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), до 2020 р. в усьому світі було встановлено 177 млн ТН [1]. Найбільше ТН було встановлено в Китаї (33 %), потім у Північній Америці (23 %) та в Європі (12 %). Зростанню використання ТН

в ЄС сприяла відповідна соціально та інвестиційно приваблива політика, основні організаційно-правові заходи якої наведені у табл. 1 [2]. Початковим моментом історії серійного впровадження ТН, особливо ґрунт-вода та вода-вода, можна вважати прийняття в Німеччині у 1977 р. першої програми енергетичних досліджень та технологій 1977–1980 рр. федерального уряду.

В Європі використання ТН ґрунт-вода активно розвивалося після першої нафтової кризи (1973 р.), досягнувши свого піку в часи після другої нафтової кризи, та впало до мінімального рівня на початку 1990-х рр. (рис. 1). Завдяки реалізації розроблених підходів та заходів (див. табл. 1) та відповідного сприятливого (хоча й кризового, і саме з цієї причини) фінансового стану світової енергетики наступний пік зростання ґрунтових ТН відбувся у 2008–2010 рр. (див. рис. 1). Динаміка продаж ТН у Німеччині чітко відслідковує прояви енергетичних світових криз: нафтових 1973 та 1979 рр. та газової 2021–2022 рр., а саме: при зростанні вартості викопних енергоносіїв обсяги впровадження ТН еквідистантно зростають завдяки економічно-інвестиційній привабливості та, навпаки, при падінні світових цін на нафту чи природний газ ТН стають менш економічно доцільними, та обсяги їх продаж уповільнюються.

Стан співвідношення кількості реалізованих ТН та показників клімату деяких країн світу ілюструє рис. 2 [1]. Найбільше використання ТН характерне для найхолодніших кліматичних умов незважаючи на наявну тезу, що ТН не ефективно працюють у холодному кліматі. У Європі є чотири країни з найбільшою часткою ТН: Норвегія (60 % домогосподарств), Швеція (43 %), Фінляндія (41 %) та Естонія (34 %). У цих країнах доволі холодна зима, про що свідчить кількість градус-днів періоду опалення, та тривалий період опалювального сезону, що визначається кількістю днів відносно базової температури довкілля, вище якої будівля не потребує опалення.

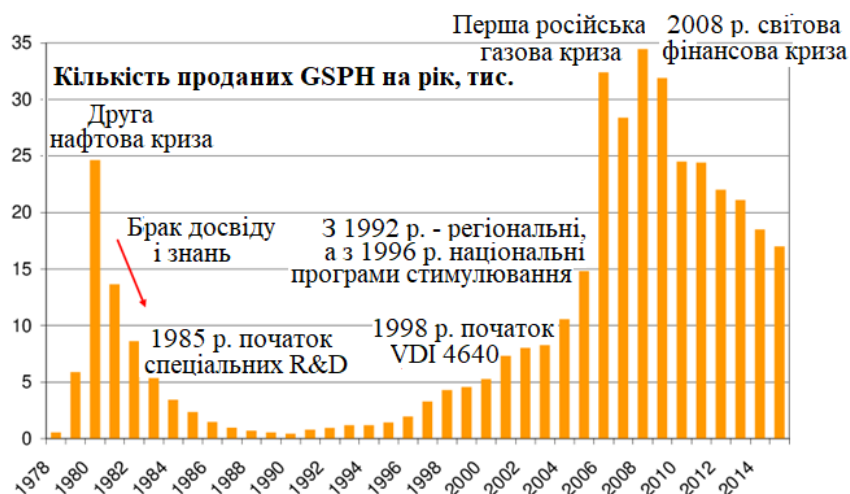


Рис. 1. Щорічні продажі GSHP у Німеччині в 1978–2015 рр. (GSHP — Ground Source Heat Pump — ґрунтові (геотермальні) теплові насоси, VDI — технічний стандарт) та світові події, що впливали на цю динаміку (дані BWP — Німецької асоціації теплових насосів) [1]. Нафтова криза 1979 р. (також відома як нафтовий шок 1979 р., або друга нафтова криза) була енергетичною кризою, спричиненою різким падінням видобутку нафти в Ірані після іранської революції; ціна на сиру нафту впродовж року підвищилася від 13,0 до 39,5 дол. США за барель. Перша російська газова криза — російсько-українські газові суперечки 2005–2009 рр. між «Нафтогазом» України та «Газпромом» РФ (щодо поставок природного газу, цін та боргів), які загрожували транзиту газу через ГТС України в європейські країни.

Figure 1. Annual sales of GSHP in Germany from 1978 to 2015 and world events affecting these dynamics (data from BWP - German Heat Pump Association) [1]. The 1979 oil crisis (also known as the oil shock of 1979 or the second oil crisis) was an energy crisis caused by a sharp drop in oil production in Iran following the Iranian Revolution. The price of crude oil increased from 13.0 to 39.5 USD per barrel during the year. Similar to the oil crisis of 1973 (GSHP — Ground Source Heat Pump — ground (geothermal) heat pumps, VDI — technical standard). The first Russian gas crisis — the Russian-Ukrainian gas disputes of 2005–2009 between Naftogaz of Ukraine and Gazprom of the Russian Federation (regarding natural gas supplies, prices and debts), which threatened the transit of gas through Ukraine's GTS to European countries.



Рис. 2. Використання у 2020 р. ТН та кількість градус-днів періоду опалення у 2021 р. в окремих країнах [1] при середньозваженій базовій температурі в приміщеннях 18 °C [3].

Figure 2. Use in 2020 of TP and the number of degree-days of the heating period in 2021 in individual countries [1] at a weighted average base temperature in rooms of 18 °C [3].

**Таблиця 1. Нормативно-технічне законодавство країн Європи у сфері ТН та суміжних до них областях інженерії****Table 1. Regulatory and technical legislation of European countries in the field of heat pumps and related areas of engineering**

| Держава             | Номер                   | Назва нормативного документа                                                                                                                                                                                                                                  | Рік            |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Європа              | EN 15450                | Системи опалення в будинках — Проектування теплонасосних систем опалення                                                                                                                                                                                      | 2007           |
| Австрія             | ÖWAV-Regelbl.207        | Тепловикористання ґрунтових і підземних вод — Опалення та охолодження                                                                                                                                                                                         | 2009           |
| Німеччина           | SN 546 384/6            | Системи охолодження та теплові насоси — Захист ґрунту, землі і поверхневих вод                                                                                                                                                                                | 2002           |
|                     | SN 546 384/7            | Тепловикористання підземних ресурсів — Основні положення, узгодження, екологічні аспекти (-1), Ґрунтові теплонасосні системи (-2), Підземне накопичення теплової енергії (-3), Пряме використання (-4), Тест на термічну реакцію (проект, -5)                 | 2001–<br>2015  |
| Швейцарія           | NF X10-960-1<br>(по -4) | Свердловинні теплообмінники                                                                                                                                                                                                                                   | 2010           |
| Франція             | NF X10-970              | Використання теплоти ґрунтових вод                                                                                                                                                                                                                            | 2015           |
|                     | NF X10-960-1<br>(по -4) | Свердловини для води та геотермальної енергії — Вертикальні свердловинні теплообмінники — Загальні проблеми (-1), петлі з поліетиленових труб 100 (PE 100) (-2), із зшитого поліетилену (PE-X) (-3) та з поліетилену з підвищеною термостійкістю (PE-RT) (-4) | 2013           |
|                     | NF X10-970              | Свердловини для води та геотермальної енергії — Вертикальні свердловинні теплообмінники — Монтаж, введення в експлуатацію, технічне обслуговування, ліквідація                                                                                                | 2011           |
| Італія              | UNI 11466               | Геотермальні системи з тепловим насосом — Вимоги до розмірів і конструкції                                                                                                                                                                                    | 2012           |
|                     | UNI 11467               | Геотермальні системи з тепловим насосом — Вимоги до встановлення                                                                                                                                                                                              | 2012           |
|                     | UNI 11468               | Геотермальні системи з тепловим насосом — Екологічні вимоги                                                                                                                                                                                                   | 2012           |
|                     | UNI/TS 11487            | Геотермальні системи з тепловим насосом — Вимоги до встановлення систем безпосереднього випаровування                                                                                                                                                         | 2013           |
|                     | UNI 11517               | Геотермальні системи з тепловим насосом — Вимоги до кваліфікації компаній, що встановлюють геотермальні теплообмінники                                                                                                                                        | 2013           |
| Іспанія             | UNE 100715-1            | Проектування, монтаж та обслуговування неглибоких геотермальних установок — закритих вертикальних систем                                                                                                                                                      | 2014           |
| Швеція              | SGU                     | Нормбрунн-07. Буріння свердловин для енергоносіїв та води                                                                                                                                                                                                     | 2008<br>(2016) |
| Велико-<br>британія | DECC MIS 3005           | Вимоги до підрядників, які здійснюють постачання, проектування, встановлення, введення в експлуатацію та передачу теплових насосних систем мікрогенерації (з таблицями розмірів MCS 022)                                                                      | 2011           |
|                     | GSHPA                   | Вертикальна свердловина із замкнутим контуром — Стандарти проектування, монтажу та матеріалів                                                                                                                                                                 | 2011           |
|                     | GSHPA                   | Термічна паля — Стандарти проектування, монтажу та матеріалів                                                                                                                                                                                                 | 2012           |
| Європа              | 2006/112/ЄС             | Європейська податкова директива                                                                                                                                                                                                                               | 2006           |
|                     | 2009/28/ЄС              | Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел                                                                                                                                                                                     | 2009           |
|                     | 2010/31/ЄС              | Про енергетичні характеристики будівель                                                                                                                                                                                                                       | 2010           |
|                     | 2012/27/ЄС              | Про енергоефективність                                                                                                                                                                                                                                        | 2012           |
|                     | 2013/114/ЄС             | Щодо розрахунку відновлюваної енергії від теплових насосів                                                                                                                                                                                                    | 2013           |
|                     | 2018/2001/EU            | Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел                                                                                                                                                                                                      | 2018           |
|                     | 2022/759/EU             | Методологія розрахунку кількості відновлюваної енергії, що використовується для охолодження і кондиціонування                                                                                                                                                 | 2022           |

### Стан світового ринку теплових насосів

Незважаючи на загальне стрімке використання ТН у світі в останній період у 2020 р. спостерігалось лише помірне зростання їх на ключових ринках світу. Дані [1, 4, 5] свідчать, що у 2020 р. світовий ринок ТН зріс лише на 3 %. Повільне зростання можна пояснити глобальною пандемією COVID-19 та пов'язаним із цим зниженням економічної активності та ціни на природний газ, а до цього ринок зростав приблизно на 10 % в рік. У 2021 р. світові продажі ТН зросли більш ніж на 13 %, що вдвічі перевищує середній показник останнього десятиріччя. Найбільш динамічними були ринки США (зростання на 15 %) та Китаю (зростання на 13 % для повітряних ТН). На повітряні ТН припадає більшість продажів у всьому світі з часткою ринку понад 60 % у 2021 р. [4]. У 2021 р. ТН задовольняли близько 9 % світових потреб у опаленні приміщень [6] (обладнання, що працює на викопному паливі, все ще становить 45 % внеску в опалення), а загальна потужність ТН становила більше 1060 ГВт (Європа — 197 ГВт, Північна Америка — 489 ГВт, Китай — 151 ГВт, Японія та Корея — 159 ГВт, решта світу — 66 ГВт), причому в 2021 р. потужність зросла на 96 ГВт.

Дані за 2021 р. (рис. 3) вказують на значне відновлення ринку ТН, зокрема Європейська асоціація теплових насосів (ЕНРА) відзначає, що зростання ринку ЄС у 2021 р. досягло 34 %, вперше перевищивши 2 млн проданих ТН за рік. Із 2,17 млн ТН, проданих в Європі, більша частина у кількості 1,93 млн призначалася для опалення, 0,24 млн — для постачання гарячої води. З них 94 % використовують повітря, а 6 % — ґрунт або воду як джерело первинної енергії. Найбільше зростання ТН зафіксоване у Нідерландах, Франції, Італії та Німеччині [1]. У Китаї, найбільшому у світі ринку повітряних ТН, загальні продажі зросли приблизно на 7 % та досягли 12,5 млн у 2021 р. У США, іншому великому ринку повітряних ТН, у 2020 р. продажі ТН мали послідовне щорічне зростання понад 5 % з 2015 р. Залежно від типу будівлі близько 40–50 % нових будівель встановлюють ТН як опалювальний пристрій. Зростання ТН у США частково обумовлено політикою податкових кредитів (від 20 до 30 % від вартості системи), які підтримують використання повітряних та геотермальних ТН.

У 2021 р. інвестиції в ТН зросли на рекордні

25 %. Інвестиції стимулювалися такою політикою, як у Німеччині, де було прийнято національну систему обмежень та торгівлі для ефективного введення податку на викиди вуглецю на паливо для опалення [4].

Наведені на рис. 3 дані в основному стосуються індивідуальних будинків. Загалом на сьогодні ТН все ще становлять невелику частину систем опалення у світовому фонді будівель, яка коливається від кількох відсотків до 10 % (за винятком Данії), хоча, за сценарієм МЕА, ця частка може зрости до 23 % у 2030 р. [7]. За винятком деяких країн, таких, як Австрія, Швейцарія та Франція, де існують значні відмінності між частками ТН у системах опалення багатоквартирних будинків (їх доля — від 1 до 7 %) та індивідуальних будинків (10–15 %), при розгляді існуючого фонду в цілому такі відмінності застосування ТН залежно від типів забудови не дуже значні, однак більш різняться для новобудов. У Австрії, Франції та Німеччині ТН є головною системою опалення в нових індивідуальних будинках, де їх частка становить 50 % та більше. Також частка ТН для опалення зростає у новозбудованих багатоквартирних будинках у всіх країнах, що наведені на рис. 4. У 2019 р. в багатоквартирних будинках Данії більше четверті систем опалення реалізуються на ТН, у Франції — 13 %, у Швейцарії — 10 %, лише у Німеччині та Великобританії — по декілька відсотків [8].

### Політика інвестицій в теплові насоси

Хоча подальше зростання використання ТН виглядає вірогідним, однак темпи впровадження сильно залежатимуть від політики урядів та тенденцій цін на енергоносії. Нещодавнє підвищення цін на газ в Європі та Азії збільшує привабливість ТН порівняно з газовими котлами. Постійна політична підтримка залишається життєво важливою для ТН, що в більшості випадків не є домінуючою технологією опалення. Досвід окремих країн із значним розгортанням ТН показує, що низка інвестиційних політичних практик є особливо ефективними. Урядові політичні заходи мають забезпечити наявність чіткого фінансового стимулу для власників будівель інвестувати в ТН. Вартість експлуатації ТН складається з двох елементів: капітальних витрат та поточних витрат. Загалом ТН мають вищі початкові витрати, ніж альтернативне устаткування, яке працює на викопному паливі, та додаткові

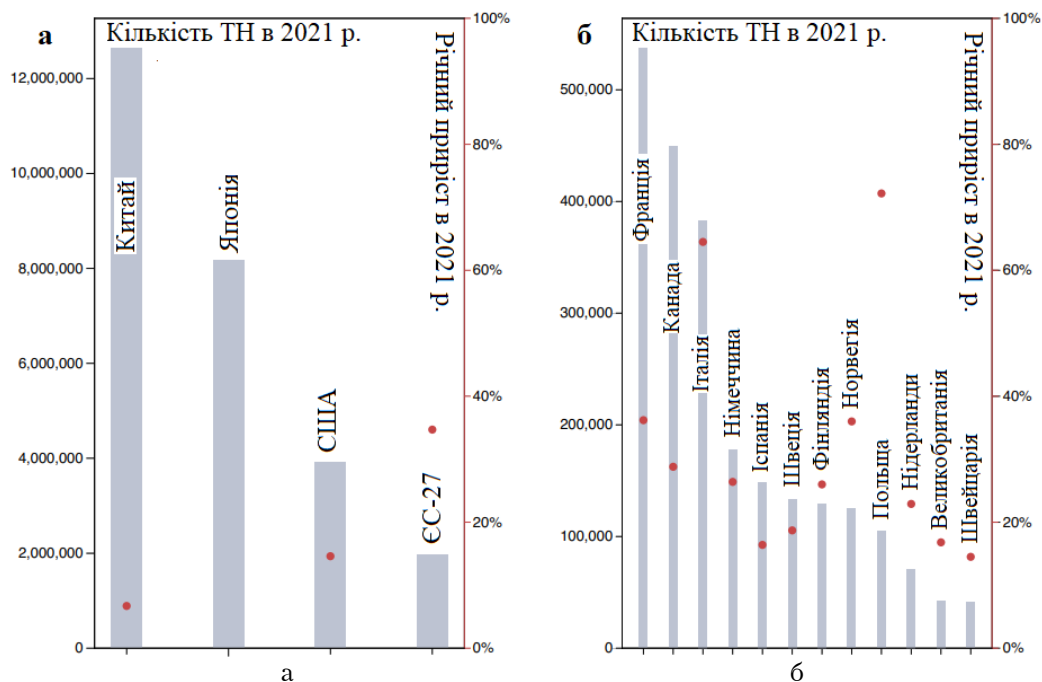


Рис. 3. Впровадження повітряних ТН та зростання ринку в ключових країнах у 2021 р.: а — на ринках країн з понад 1 млн ТН; б — на провідних ринках (Європи); • — зростання по відношенню до 2020 р., ринок Японії скоротився на 5 % у 2021 р. [3].

Figure 3. Introduction of aerial TP and market growth in key countries in 2021: a — on the markets of countries with more than 1 million tons, b — on the leading markets (Europe); • — growth in relation to 2020, the Japanese market decreased by 5 % in 2021 [3].

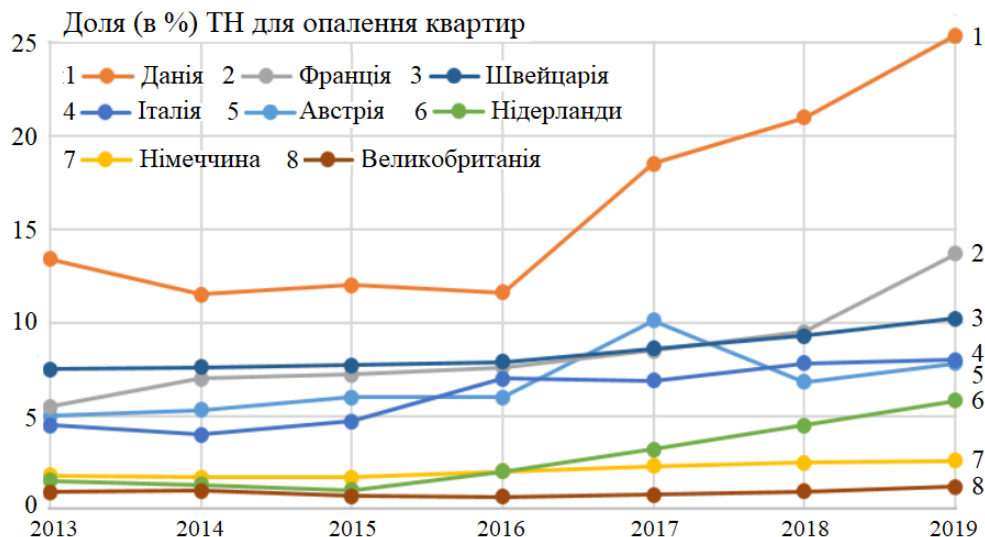


Рис. 4. Частка поквартирних ТН у системах теплозабезпечення багатоквартирних житлових будинків деяких країн Європи [8].

Figure 4. The share of TP in the heating systems of multi-apartment residential buildings in some European countries [8].



витрати на перехід до нових систем теплозабезпечення, що високі при першому переході від системи, яка працює на викопному паливі, до ТН. Надання власникам будинків субсидій, наприклад, через грантові програми, податкові знижки або банківські позики під низькі відсотки може допомогти зменшити їхні початкові витрати. Такі фінансові інструменти використовувалися, наприклад, у Китаї, Великобританії, Норвегії, Фінляндії, Швейцарії, Німеччині та в деяких штатах США [1].

Основні експлуатаційні витрати (пов'язані з електроенергією, що використовується ТН) визначатимуться вартістю електроенергії, ефективністю ТН та загальною потребою будівлі в теплоті. Підвищення податків на викопне паливо може зменшити різницю в поточних (експлуатаційних) витратах. Швеція, Норвегія та Фінляндія застосовували саме такий підхід. Скасування або зменшення податків та зборів з електроенергії може ще більше покращити економічні умови для ТН, як це зроблено, наприклад, у Данії, Нідерландах та нещодавно у Німеччині. Окрім оптимального ціноутворення та субсидій, важливими елементами політичного плану для ТН є «регуляторні» заходи: нові будівельні стандарти, стандарти ремонту, стандарти продуктивності устаткування та заборона котлів, що працюють на викопному паливі. Елементи усього цього вже існують у таких країнах, як США, Великобританія, Німеччина, Нідерланди, Бельгія, Швеція, Норвегія, Фінляндія, Данія. У теперішній час ТН суттєво субсидуються у США, наприклад, за Законом про зниження інфляції. Нарешті, зміцнення довіри та впевненості споживачів ТН має важливе значення на менш зрілих ринках. Про це яскраво свідчить, наприклад, досвід Швеції. Він показує, що розширення ринків ТН історично відбувалося у контексті підтримуючої стратегії, яка поєднувала економічні стимули, регулювання, дослідження та розробки, навчання та інформаційні кампанії, а не як один єдиний політичний інструмент, що стимулював поглинання ринку. Ефективна політика зазвичай поєднує фінансові інструменти (фінансова підтримка у формі грантів, податкових знижок та позик, податків на викиди вуглецю та політики ціноутворення на енергоносії) із заходами для підтримки довіри споживачів, включаючи міжгалузеві асоціації теплових насосів та рекламні кампанії, технічні стандарти та навички, а крім того, будівельні норми та стандарти устаткування, спрямовані на посту-

пову відмову від опалення на викопному паливі та/або запровадження обов'язкових екологічних технологій теплозабезпечення, як пропонується, зокрема в [1].

Для збільшення впровадження ТН потрібно подолати ряд перешкод. Головними з них є такі: вищі початкові витрати на придбання та встановлення ТН порівняно з іншими варіантами опалення; інші невитратні фактори, що стримують споживачів; виробничі обмеження; потенційна нестача кваліфікованих монтажників. Потрібні узгоджені дії урядів у партнерстві з виробниками ТН, щоб подолати ці перешкоди. Незважаючи на довгострокову економію високі початкові витрати можуть відлякувати споживачів. Вартість придбання та встановлення побутового ТН типу повітря-повітря зазвичай становить від 3000 до 6000 дол. США. Однак навіть найдешевші моделі ТН повітря-вода, включаючи модифікації існуючих систем опалення, залишаються у 2–4 рази дорожчими, ніж газові котли на більшості основних ринків опалення (рис. 5).

Наразі фінансові стимули доступні у понад 30 країнах світу та покривають більш 70 % сьогоденішнього попиту на опалення. Субсидії у цих країнах роблять найдешевші варіанти ТН порівнянними з вартістю нового газового котла для споживачів. Додаткові стимули можуть бути спрямовані на домогосподарства з низьким рівнем доходу (як у Польщі) та/або високоефективні моделі (як у Канаді). При цьому економія рахунків за електроенергію в домогосподарствах з низьким рівнем доходу коливається від 2 до 6 % після відмови від газового котла [6].

Ступінь високої кореляції між ефективними заходами політики з підтримки впровадження ТН та сподіванням населення, зокрема у Німеччині, характеризують дані, що наведені на рис. 6 [9].

У 2022 р. в Німеччині ціни на газ та електроенергію зросли, однак відносне співвідношення між джерелами енергії змінилося на користь електроенергії. Розрахунки при цінах 13–20 євроцент/кВт·год природного газу порівняно з 27–35 євроцент/кВт·год електроенергії впродовж 15 років експлуатації устаткування показують, що ТН дають економію 2–3 євроцент/кВт·год порівняно з газовим котлом. Тому до середини 2022 р. кількість звернень показує, що населення дуже охоче інвестує в ТН, якщо це субсидується державою. Однак кількість заявок також демонструє надзвичайну чутливість до змін умов фінансування. Після того, як наприкінці липня було

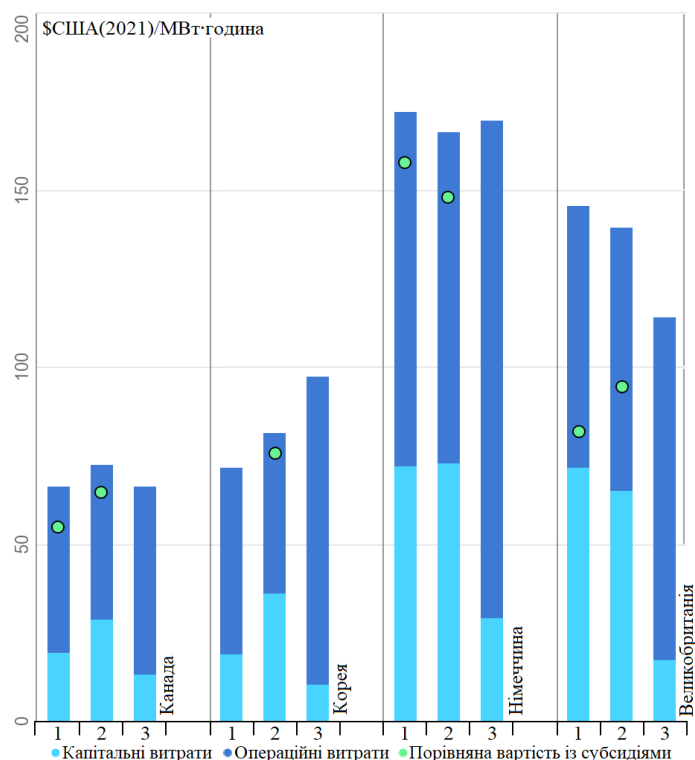


Рис. 5. Вартість опалення в окремих країнах (для міст Торонто, Сеул, Берлін та Единбург) [6]: 1 — ТН повітря-повітря (нормативний термін експлуатації 15 років); 2 — ТН повітря-вода (18 років); 3 — газовий конденсаційний котел (17 років).

Figure 5. The comparative cost of heating in individual countries [6]: 1 — TP air-air (normative service life — 15 years); 2 — TP air-water (18 years); 3 — gas condensing boiler (17 years old). For cities: Toronto, Seoul, Berlin and Edinburgh.

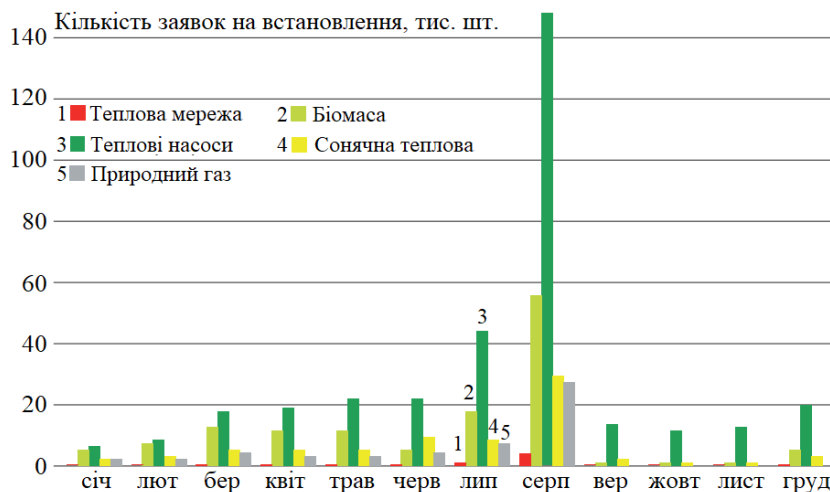


Рис. 6. Залежність кількості замовлень на встановлення устаткування для кінцевого теплозабезпечення від виду первинного енергоджерела у Німеччині у 2022 р. [9].

Figure 6. Dependence of the number of orders for the installation of equipment for final heat supply by type of primary energy source, Germany, 2022 [9].



оголошено про зниження розміру субсидій з 15 серпня, на короткий час відбулося дуже різке зростання заявок на субсидії на старих привабливих умовах, а з вересня — їхнє зниження через погіршення умов субсидування [9].

У цілому незважаючи на те, що глобальний ринок теплових насосів розширився більш ніж удвічі в деяких країнах за один 2022 р., для зміцнення довіри до технології та досягнення кліматичних цілей буде потрібна розширена політична підтримка. Перелік основних перешкод для прискорення впровадження ТН та пропозиції прийняття відповідних політичних рішень наведені у табл. 2 [10].

Деякі заходи, що впливають із табл. 2 [11]:

— посилення фінансової підтримки домогосподарств для встановлення ТН. Надання споживачам засобів для подолання відносно високих початкових витрат на придбання та встановлення ТН. Як приклад, у США програма стимулювання ТН, згідно прийнятого Закону про знижен-

ня інфляції, пропонує знижки до 8000 дол. на його придбання. Загалом розмір субсидії залежить від доходу домогосподарства [12];

— зміна податкової політики, яка стримує широку електрифікацію. Коригування структури оподаткування енергії та тарифів на електроенергію, де вони ставлять ТН у несправедливо невідгідне становище;

— розширення діапазону потужностей ТН. Розширення програм навчання для персоналу ТН, особливо для монтажників;

— розширення підтримки промислової електрифікації. Широке впровадження ТН у промисловості.

Основи політики мають бути спрямовані як на нові, так і на існуючі будівлі. Вони можуть сформулювати правила (наприклад, будівельні норми, заборони на нові котли на викопному паливі), стимули та заходи перерозподілу для домогосподарств з низькими фінансовими ресурсами, щоб досягти швидкої відмови від опалення на ви-

**Таблиця 2. Організаційні заходи політики сприяння розвитку ТН**

**Table 2. Organizational measures of the policy of promoting the development of TP**

| Перешкоди                                             | Політичні рішення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                       | Сторога попиту на ТН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Витратні бар'єри                                      | Попередні витрати: Гранти; Позики під низькі відсотки; Податкові знижки; Зелена іпотека; Альтернативні бізнес-моделі; Схеми зменшення ризиків для середніх та великих проектів<br>Експлуатаційні витрати: Перебалансування податків на електроенергію та викопне паливо, податку на CO <sub>2</sub> з компенсацією; Реформи тарифів на електроенергію; Підтримка термоізоляції будівель та модернізації системи розподілу тепла; Контроль якості та параметрів після встановлення ТН; Навчання користувачів                                                                          |
| Нефінансові перешкоди для прийняття споживачами       | Платформи єдиного вікна для споживачів та інструменти для порівняння; Сприяння та підтримка альтернативних бізнес-моделей для опалення для вирішення проблеми розділених стимулів; Зміни нормативних актів щодо освітлення, шуму та дозволів на будівництво; Перегляд правил прийняття рішень у багатоквартирних будинках; Мінімальні вимоги до енергоефективності для орендованого майна або в торгових точках; Етикетки характеристик теплових технологій; Інформаційні кампанії для споживачів; Незалежні та безкоштовні аудити для прийняття рішень щодо заміни системи опалення |
|                                                       | Сторога постачання ТН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Виробничі обмеження та вразливість ланцюга постачання | Довгострокова впевненість у підтримці політики та нормативних актах, а також уявлення про майбутні зміни в нормативних актах, включаючи галузеві консультації; Національні цілі та дорожні карти впровадження ТН; Промислова політика, включаючи фінансову підтримку виробників ТН; Захист ланцюгів постачання компонентів ТН                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Нестача кваліфікованих монтажників                    | Інтеграція ТН у вже існуючі сертифікати для опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC), будівництва та електрозабезпечення; Стимули для залучення спеціалістів з HVAC для одержання додаткових сертифікатів; Посилення навчання виробника та спрощення процесу встановлення ТН; Міжнародно стандартизовані схеми сертифікації з широкими навчальними програмами; Національні цілі щодо розгортання ТН і дорожні карти для зміцнення довіри та надання професіоналам довгострокових перспектив працевлаштування                                                           |

копному паливі та широкомасштабного впровадження ТН відповідно до сценарію чистого нуля NZE (Net Zero Emissions), одночасно захищаючи соціальну справедливість. Фіскальні та фінансові заходи, включаючи гранти та спеціальні позики, також відіграють ключову роль у подоланні початкових витрат. Інформаційні кампанії також будуть ключовими для підвищення обізнаності споживачів про енергетичну безпеку, кліматичні проблеми та потенційні переваги ТН [4].

Прогнозування вимог до ланцюга постачання та потреб у навичках та робочій силі від виробництва до монтажу матиме ключове значення, щоб уникнути вузьких місць та досягти рівнів розгортання відповідно до траєкторії сценарію. Підвищення кваліфікації, обмін знаннями, дослідження та розробки можуть зіграти важливу роль у довгостроковій перспективі для підвищення ефективності ТН, зокрема у країнах з холодним кліматом.

У міру зростання продаж ТН найближчим часом зросте кількість установок, термін служби яких закінчується. Політики та виробники мають підготуватися до управління потоками ТН, що вийшли з експлуатації, з точки зору циклічної

економіки. Це вимагає створення чіткої нормативно-правової бази для визначення обов'язків та моделей фінансування ремонту ТН, а також належної переробки їх матеріалів та холодоагентів, зокрема для пом'якшення їх впливу на клімат [4].

У доповнення до табл. 2 та як приклад взаємодії вхідних матеріалів, енергії, устаткування, процесів та технологій на рис. 7 наведена схема виробництва ТН для теплохолодозабезпечення будівель [13]. Композиція такої схеми визначається фундаментальними підходами та співвідношеннями енергетичної інженерії.

Реалізувати такий ланцюг виробництва, наприклад, ТН безпечним, гнучким та стійким можна лише за допомогою комплексного та скоординованого підходу. Це означає своєчасне вживання заходів для розвитку поставок: які можуть задовольнити потреби шляху до чистого нуля викидів парникових газів; які можуть пристосовуватися та відновлюватися після короткострокових потрясінь; які можуть адаптуватися до довгострокових змін у постачанні, включаючи періодичну нестачу матеріалів, вплив зміни клімату та стихійні лиха, екстремальні стани, а також інші потенційні збої на ринку.

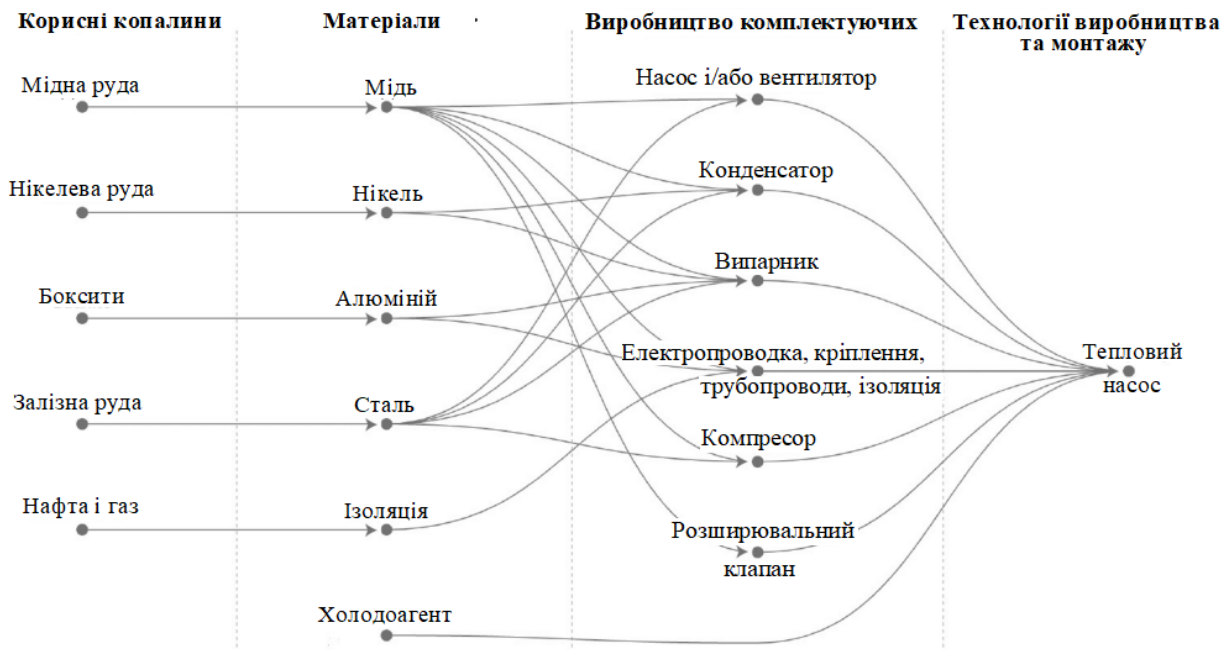


Рис. 7. Ключові елементи для кожного кроку в інженерних ланцюгах постачання матеріалів, енергії та технологій виробництва ТН [13].

Figure 7. Key elements for each step in the engineering supply chains of materials, energy and technologies for the production of TP [13].

### Теплові насоси в Європі

Європейський ринок ТН зростав з 2011 по 2020 р. постійними темпами, з річним темпом зростання 10 %, що спричинило очікуване встановлення 1 млн ТН на рік у 2021 р. та вказує на зростання ринку на 39 % з 2020 р. [14]. В Європі на ТН припадало 25 % продаж на ринку опалення в 2021 р. За даними ЕНРА [15], в 2022 р. у збільшенні продаж ТН для опалення будівель порівняно з 2021 р. з великим відривом лідирує Польща — з трохи більше +100 % порівняно з продажами у 2021 р., за нею йдуть Чехія (+99 %), Нідерланди (+80 %), Бельгія (+66 %), Швеція (+60 %), Австрія (+59 %), Німеччина (+53 %) та Фінляндія (+52 %). У 2023 р. очікується, що ТН дадуть можливість заощадити близько 1 млрд м<sup>3</sup> газу в ЄС, а додаткові дії можуть заощадити ще 2 млрд м<sup>3</sup>. Щоб досягти цього, галузь потребує усунення ряду обмежень, які спричиняють тривалий час інсталяції ТН, зокрема збільшення витрат на встановлення ТН та усунення дефіциту монтажників устаткування. Розширення впровадження ТН у 2023 р. призведе до додаткового попиту на електроенергію на 5 ТВт·год. Тим не менш, економія газу значно збільшує використання газу в енергосистемах [11]. Стимули знижують авансові витрати споживачів на новий ТН більше, ніж на новий газовий котел, як це відбувається у Данії, Франції, Італії, Польщі та Швеції. Багато схем пропонують додаткову підтримку для домогосподарств з низьким доходом, як у Франції та Польщі, або для високо-ефективних моделей ТН, наприклад, у Німеччині та Данії. Гранти є найбільш часто використовуваним інструментом політики, однак є інші моделі, наприклад, оренда обладнання або моделі опалення як послуги, які можуть подібним чином подолати початкові перешкоди щодо витрат. Регулюючі органи також повинні усунути інші бар'єри, такі, як плата за відключення газової мережі. Деякі країни, зокрема Франція та Великобританія, зменшили або повністю скасували ПДВ на альтернативи газовим котлам. Бажано змінити податкові заходи, які шкодять електрифікації опалення на основі ТН. У деяких країнах коригують структуру оподаткування енергії та тарифів на електроенергію, якщо вони залишають ТН у несправедливо не вигідному становищі. Зміни у цій сфері важливі для того, щоб ціни на електроенергію для ТН відповідали ці-

лям енергетичного переходу та енергетичної безпеки, як це було зроблено у Фінляндії [16]. Принагідно зазначимо, що деякі країни, зокрема Франція та Великобританія, зменшили або повністю скасували ПДВ на альтернативи газовим котлам.

Загалом Європа прагне встановити 50 млн теплових насосів до 2030 р., що відповідає щорічному зростанню на 16 %, досягнувши третини від загальної кількості 150 млн опалюваних котлів, що використовуються [11]. Це амбітні цілі, тому політика та заходи щодо їх досягнення мають бути вкрай виваженими та не обтяженими ризиками. Певна небезпека полягає у підході «одного розміру для всіх». У різних країнах різні кліматичні умови та різні проблеми з опаленням. Наприклад, висока вартість встановлення ТН в існуючих будівлях порівняно з використанням у новобудовах може означати, що останнім слід надавати пріоритет по економічним чинникам, якщо важлива економічна ефективність [17]. Фінансова спроможність власників будинків, суспільна думка, пікове теплове навантаження, відсутність навичок поводження з ТН, фторвмісні речовини (робочі тіла ТН), останні директиви ЄС (включаючи пропозиції їх посилення) — усе це має бути ретельно вивчено та використано у політиці та технологіях стосовно електрифікації та декарбонізації опалення в Європі.

Майже всі країни Європи субсидують ТН при реновації існуючого фонду будівель, для нових будівель субсидіювання ТН існує лише у Норвегії, Данії, Литві, Польщі, Словаччині, Австрії, Швейцарії, Іспанії, Великобританії [18].

**Німеччина.** У Німеччині (рис. 8), наприклад, у 2022 р. ринок ТН зріс на 53 %, було продано близько 236 тис. ТН для опалення будівель. Наразі подано майже 350 тис. заявок на встановлення ТН. Уряд Німеччини припустив, що у 2024 р. продажі ТН досягнуть понад 500 тис. шт. (зростання більш ніж у 3 рази за 3 роки). З 1 січня 2024 р. усі знов встановлені системи опалення мають працювати на мінімум 65 % ВДЕ. Очікується, що це призведе до ще більшого збільшення кількості установок ТН у наступні роки. Згідно з планами уряду, до 2030 р. у Німеччині планується встановити до 5–6 млн електричних ТН [19].

Преференції для ТН у Німеччині та у Польщі наведені у табл. 3.

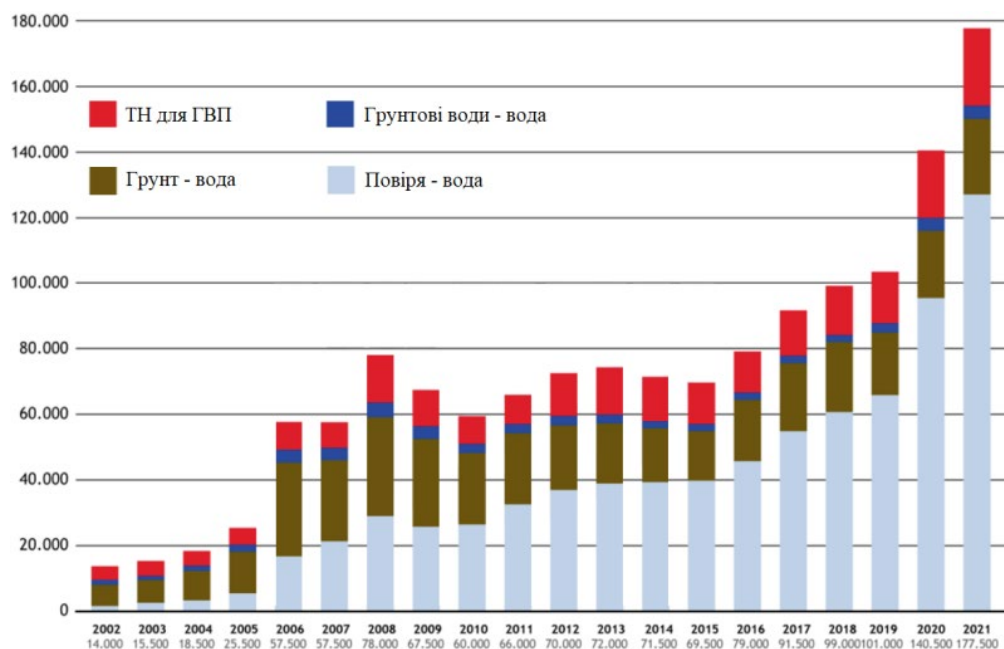


Рис. 8. Загальний обсяг продаж ТН у Німеччині в 2002–2021 рр., тис. шт. [18]. Позначення зверху донизу ТН: для ГВП, ґрунтові води-вода, ґрунт-вода, повітря-вода.

Figure 8. Total volume of sales of TN in Germany in 2002–2021, thousand pcs. [18].

**Польща.** Це країна, яка ментально, кліматично, територіально та економічно близька до України, з майже однаковою кількістю населення (37,7 млн у 2021 р.), через що польський досвід із впровадження ТН дуже важливий. У Польщі ринок ТН розвивається доволі динамічно. За оцінкою PORT PC (Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła — Польська організація з розвитку технології теплових насосів), за 2021 р. весь польський ринок ТН збільшився на 66 %, а ТН для опалення будівель — на більш 80 %. Продажі ТН на душу населення в Польщі були вищими, ніж у Німеччині чи Великобританії, тобто на двох ключових ринках ТН в Європі [20]. За даними PORT PC [21], загальний ринок ТН у Польщі в 2022 р. зріс на 120 %, а ТН для опалення будівель — на 130 %. У 2022 р. майже кожна третя одиниця із загальної кількості проданих у Польщі опалювальних приладів була ТН. У 2022 р. кількість ТН повітря-вода, проданих у Польщі, зросла на 137 % порівняно з 2021 р. та досягла 188.200 шт. Це означає більш ніж 100-кратне зростання ринку ТН повітря-вода в Польщі за останні 10 років. Кількість проданих ґрунтових ТН, що використовують природну теплоту ґрунту [22, 23] за допомогою так званих ґрунтових теплообмінників, також зросла на

28 % та склала 7,2 тис. шт. У грудні 2022 р. частка заявок на заміну джерел тепла на ТН у польській програмі «Чисте повітря» досягла 63 %. Вторгнення Росії в Україну прискорило енергетичний перехід Європи, що планує відійти від природного газу в опаленні будівель [21]. За останні 10 років ринок ТН повітря-вода в Польщі виріс більш ніж у 100 разів. Вже п'ятий рік поспіль цей ринок ТН повітря-вода мав динаміку продажів близько 100 % у річному обчисленні, та за останні 2 роки це була найвища динаміка продажів ТН в Європі. Також істотно зросли продажі ґрунтових ТН — на 28 % для агрегатів типу розсіл/вода. Зростання продаж ТН повітря-вода для приготування гарячої води зафіксовано лише на 2 %. З точки зору статистики, дані такі: у 2022 р. було продано понад 200.000 ТН, у тому числі 188.200 ТН для пристроїв повітря-вода та близько 7.200 ґрунтових ТН і 7.900 ТН для ГВП. Це означає, що частка ТН у загальній кількості опалювальних установок, проданих на польському ринку в 2022 р. (враховуючи його загальне зниження на 10 % порівняно з 2021 р.), може становити близько 30 %, а з урахуванням проданих кондиціонерів з функцією опалення це був уже майже кожен другий проданий опалювальний прилад.

**Таблиця 3. Заходи із сприятливої політики для впровадження ТН у Німеччині та Польщі**  
**Table 3. Favorable policy measures for the introduction of TP in Germany and Poland**

| Назва субсидії та додаткова інформація | Тип субсидії     | Односімейні будинки | Тип ТН*                          | Дотація, євро               | Додаткова інформація щодо надання субсидії (в євро)                                                                                         | Інші заходи або схеми**, що опосередковано підтримують впровадження ТН | Дати початку та закінчення субсидії                         |
|----------------------------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Німеччина                              |                  |                     |                                  |                             |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
| Попереднє фінансування від BAFA***     | Гранти           | Реновація           | П-П                              | 15.000                      | До 25 % для ТН                                                                                                                              | Схема субсидій на енергоефективність                                   | 2023–2030 рр.                                               |
|                                        |                  |                     | П-В                              | 15.000                      | 5 % бонус за ГТН                                                                                                                            | Ціна викидів вуглецю                                                   |                                                             |
|                                        |                  |                     | ГТН                              | 18.000                      | 10 % на заміну котла на викопному паливі                                                                                                    | Існуюча заборона на опалення на викопному паливі                       |                                                             |
| Польща                                 |                  |                     |                                  |                             |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
| Програма «Чисте повітря»               | Гранти           | Реновація           | П-П                              | A+: 930 / 1.650 / 2.300     | Гранти розрізняються залежно від доходу на 3 рівні                                                                                          | Схема субсидії на енергоефективність. Будівельні норми та стандарти    | 2018–2029 рр. Кінцевий термін підписання договору — 2027 р. |
|                                        |                  |                     | П-В                              | A++: 4.100 / 5.950 7.450    |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
|                                        |                  |                     | ГТН                              | A++: 5.930 / 8.600 / 10.750 |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
| Програма «Моя електроенергія»          | Гранти           | Новий будинок       | П-В                              | 1.060                       | Гранти на фотоелектричну систему з накопичувачем енергії: ТН П-В з баком для гарячої води; ТН для ГВП з вбудованим резервуаром гарячої води | Схема субсидії на енергоефективність. Будівельні норми та стандарти    | 2021–2023 рр. Кінцевий термін підписання договору — 2023 р. |
|                                        |                  | Реновація           | ТН для ГВП                       | 1.060                       |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
|                                        |                  |                     | П-В                              | 1.060                       |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
| Програма «Моє тепло»                   | Гранти           | Новий будинок       | П-П                              | 1.500                       | —                                                                                                                                           | Схема субсидії на енергоефективність. Будівельні норми та стандарти    | 2022–2027 рр. Кінцевий термін підписання договору — 2026 р. |
|                                        |                  |                     | П-В                              | 1.500                       |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
|                                        |                  |                     | ГТН                              | 1.500                       |                                                                                                                                             |                                                                        |                                                             |
| Податкова пільга на модернізацію       | Податкова знижка | Реновація           | П-П, П-В, ГТН, ГіБТН, ТН для ГВП | —                           | Відповідно до податкової шкали (12 або 32 %), максимальний рівень — від 1.350 до 3.600                                                      | Схема субсидії на енергоефективність. Будівельні норми та стандарти    | 1 січня 2019 р.                                             |

\* Типи аббревіатур теплового насоса: П-П — повітря-повітря; П-В — повітря-вода; ГТН — ґрунтові ТН; ГіБТН — гібридні ТН. \*\* Інші регуляторні та інструменти або схеми підтримки. \*\*\* Федеральне відомство з економіки та експортного контролю



У 2022 р. помітному зростанню інтересу до ТН, безсумнівно, сприяло значне зростання цін на енергоносії та паливо, яке сягало понад 100 % (у річному обчисленні). Станом на грудень 2022 р. частка ТН у польській програмі «Чисте повітря» становила 63 % від загальної кількості заявок на заміну джерел тепла, а у січні 2022 р. — лише 28 %. Також варто відзначити підвищений інтерес до виробництва електроенергії для власних потреб як частини загальної електроенергетики, що стрімко розвивається, особливо через встановлення фотоелектричних систем на дахах житлових будинків. Це підтримується польськими програмами «Чисте повітря» та «Моя електроенергія», що сприяє розробці фотоелектричних установок для споживачів на основі нової системи білінгу під назвою net-billing. За даними PORT PC, вона менш вигідна, ніж попередня система чистого обліку, але все ще забезпечує більшу економічну ефективність, ніж пряме придбання електроенергії з мережі.

Важливою програмою субсидування ТН у нових одноквартирних будинках із підвищеними енергостандартами є програма «Моє тепло», започаткована у квітні 2022 р. Національним фондом охорони довкілля та водного господарства. На додаток до субсидування ТН на рівні до 30 % це опосередковано дає можливість одержати більш вигідні умови кредитування для усієї будівлі завдяки дотриманню таксономії сталого фінансування (станом на 2023 р. вимога щодо субсидій за програмою «Моє тепло» спрямована на досягнення індексу первинної невідновлюваної енергії  $EP < 55 \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік})$ ). Згідно з поточною інформацією, з моменту упровадження цієї програми з кінця квітня 2022 р. до кінця січня 2023 р. було подано понад 15 тис. заявок на одержання субсидій на встановлення ТН у нових одноквартирних будинках у стандарті «зеленої» енергетики.

Економічні переваги використання ТН для теплозабезпечення будівель у Польщі наглядно відображає рис. 9. Дані одержані за допомогою розрахункової програми POBE [24, 25] для економічної ситуації у Польщі в 2023 р. Розрахунки виконано для опалення енергоефективної новобудови площею  $150 \text{ м}^2$  разом із витратами на ГВП для сім'ї з 4 осіб. Дані включають витрати на електроенергію по нових тарифах з I кварталу 2023 р. Державна підтримка здійснюється за програмою «Моє тепло» з паливно-енергетичною субсидією 2022/2023 рр. (крім ТН з власними

фотоелектричними панелями), включаючи пільговий середній тариф G12w на електроенергію для ТН. Нормативно будинок має споживати на опалення  $40 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  в рік, тобто бути облаштованим необхідною фасадною термоізоляцією [26] та сучасними енергоефективними вікнами [27]. Розрахунки провадилися для 3-ї польської кліматичної зони (зокрема для Варшави), ПДВ = 23 %, а COP кожного ТН встановлювався за стандартом EN-14825. Додатково розглядалися варіанти встановлення власної дахової фотовольтаїки штатною електричною потужністю 3 кВт (рис. 9, поз. 15–18).

З варіантом використання ТН у поєднанні з PV-панелями та підлоговим опаленням можуть конкурувати лише сучасні вугільні котли за рахунок доволі низької вартості польського вугілля власного видобутку. Тому діаграма рис. 9 вказує на високу економічну ефективність застосування ТН в умовах економіки Польщі.

Загалом, за прогнозом PORT PC, у 2023 р. слід очікувати подальшого значного зростання продажів ТН повітря-вода у Польщі. В оптимістичному варіанті це може становити близько 40–50 % порівняно з 2022 р. (у річному обчисленні), зокрема приблизно 30–40 % для ґрунтових ТН [21].

### Теплові насоси великої потужності в Європі

ТН вважаються великими, якщо їхня теплова потужність перевищує 100 кВт. ТН можуть досягати діапазону від одного до декількох мегават, причому найбільші агрегати забезпечують 50 МВт, а потужність теплонасосної станції біля Стокгольма становить декілька сотень мегават [28, 29]. Згідно [30, 31], у системах централізованого тепlopостачання 11 країн Європи у 2016 р. працювало 149 великих ТН з тепловою потужністю понад  $1 \text{ МВт}_{\text{теп}}$  кожен.

У табл. 4 наведені дані щодо загальної потужності великих ТН для 7 країн Європи із загальною встановленою потужністю більш  $20 \text{ МВт}_{\text{теп}}$ , а також загалом по всій Європі. Швеція лідує в цій таблиці, більшість її ТН (із середньою одиничною потужністю  $19 \text{ МВт}_{\text{теп}}$ ) була побудована у 1980-х рр., коли ще не було заборони на більшість фреонів (як робочих тіл ТН) та спостерігався високий рівень надлишкового виробництва електроенергії на атомних електростанціях. Нині шведські великі ТН потужністю приблизно  $1000 \text{ МВт}_{\text{теп}}$  все ще працюють [31]. Один із ха-



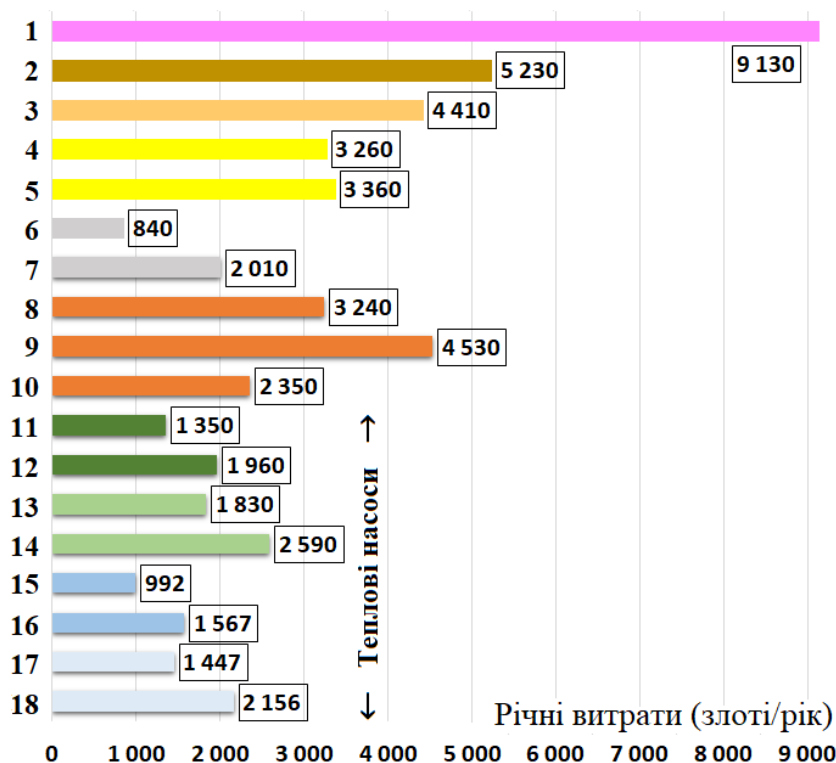


Рис. 9. Річні витрати на можливі варіанти теплозабезпечення сучасного пасивного будинку стандарту ЄС-40 в Польщі [25]. Позначення: 1 — використання електрокотла з опалювальними приладами (ОП) — радіаторами при температурі 55 °C (середній ККД = 95 %, тільки у нічний час тариф G12w); 2 — котел на дизпаливі, ОП — 55 °C (ККД = 89 %); 3 — газовий конденсаційний котел на пропані, ОП — 55 °C (ККД = 90 %); 4 — газовий конденсаційний котел на метані, ОП — підігрів підлоги — 35 °C (ККД = 93 %); 5 — газовий конденсаційний котел на метані, ОП — 55 °C (ККД = 90 %); 6 — сучасний вугільний котел, ОП — 55 °C (ККД = 83 %); 7 — вугільний котел (старий), ОП — 55 °C (ККД = 64 %); 8 — сучасний котел на дровах, ОП — 55 °C (ККД = 83 %); 9 — котел (старий) на дровах, ОП — 55 °C (ККД = 64 %); 10 — котел на пелетах, ОП — 55 °C (ККД = 83 %); 11 — ТН розсіл-вода, ОП — 35 °C (COP = 4,12, тариф G12w); 12 — ТН розсіл-вода, ОП — 55 °C (COP = 3,39, G12w); 13 — ТН повітря-вода, ОП — 35 °C (COP = 3,52, G12w); 14 — ТН повітря-вода, ОП — 55 °C (COP = 2,87, G12w); 15 — аналогічно 11, але з використанням PV-панелей у 3 кВт, але без субсидій на опалення; 16 — аналогічно 12 з PV; 17 — аналогічно 13 з PV; 18 — аналогічно 14 з PV.

Figure 9. Annual costs for possible heat supply options for a modern EU-40 passive house in Poland [25]. Designation: 1 — use of an electric boiler with heating devices (HD) — radiators at a temperature of 55 °C (average efficiency = 95 %, only at night G12w tariff); 2 — diesel fuel boiler, HD — 55 °C (efficiency = 89 %); 3 — propane gas condensing boiler, HD — 55 °C (efficiency = 90 %); 4 — methane gas condensing boiler, HD — floor heating — 35 °C (efficiency = 93 %); 5 — methane gas condensing boiler, HD — 55 °C (efficiency = 90 %); 6 — a modern coal-fired boiler, HD — 55 °C (efficiency = 83 %); 7 — coal boiler (old), HD — 55 °C (efficiency = 64 %); 8 — a modern wood-fired boiler, HD — 55 °C (efficiency = 83 %); 9 — boiler (old) on wood, HD — 55 °C (efficiency = 64 %); 10 — pellet boiler, HD — 55 °C (efficiency = 83 %); 11 — HP brine-water, HD — 35 °C (COP = 4.12, tariff G12w); 12 — HP brine-water, HD — 55 °C (COP = 3.39, G12w); 13 — HP air-water, HD — 35 °C (COP = 3.52, G12w); 14 — HP air-water, HD — 55 °C (COP = 2.87, G12w); 15 — similar to 11, but with the use of 3 kW of PV panels, but without subsidies for heating; 16 — similar to 12 with PV; 17 — similar to 13 with PV; 18 — similar to 14 with PV.

**Таблиця 4. Потужність великих ТН в Європі за 5 років по деяких країнах та загалом, встановлена з 1981 по 2016 рік [32]****Table 4. Data on the capacity of large TPs in Europe for 5 years by some countries and in general, established from 1981 to 2016 [32]**

| Показник                    | Швеція      | Швейцарія   | Норвегія    | Італія      | Фінляндія   | Франція     | Данія       |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Встановлена потужність, МВт | 1215        | 34          | 85          | 37          | 155         | 23          | 20          |
| Загалом по Європі           |             |             |             |             |             |             |             |
| Потужність, МВт             | 490         | 533         | 35          | 157         | 59          | 173         | 121         |
| Кількість ТН                | 37          | 28          | 3           | 10          | 8           | 20          | 37          |
| Роки                        | 1981 – 1985 | 1986 – 1990 | 1991 – 1995 | 1996 – 2000 | 2001 – 2005 | 2006 – 2010 | 2011 – 2016 |

рактерних прикладів використання великих ТН у Швеції — це сміттєспалювальна ТЕЦ поблизу м. Мальме, що експлуатується на твердих побутових відходах, продуктивністю 25 т/годину по сміттю [32]. Потужні ТН (2 шт., кожен тепловую потужністю 9,5 МВт, споживана електропотужність 1,75 МВт, COP = 5,43) типу Unitop 28C, що створені компанією FrioTherm та встановлені в контурі мокрого скрубера системи охолодження відхідних димових газів, підігрівають зворотну воду системи централізованого теплопостачання на 9,3 °C. ТН експлуатується 8.200 годин на рік.

Загалом за 1981–2016 рр. в Європі було реалізовано 143 великих ТН загальною потужністю 1568 МВт (середня потужність — 11 МВт). У системах централізованого теплопостачання великомасштабні ТН використовуються на повну потужність більшу частину часу, що означає, що їх доцільно встановлювати, якщо: а) існує постійний надлишок виробництва електроенергії в системі; б) ціна електроенергії робить використання ТН можливим; в) соціальні та екологічні вигоди достатньо високі, щоб компенсувати додаткові витрати.

Короткий огляд промислових (індустріальних) ТН наведено у табл. 5 [33].

Оцінка [34] показує, що практично досяжний потенціал промислових ТН для ЄС у температурному діапазоні до 100 °C становить 68 ТВт год на рік, головним чином, у хімічній, паперовій, харчовій, тютюновій та деревообробній індустрії. Загалом ТН можуть забезпечити 174 ТВт год, або 8,7 % усіх річних потреб промисловості Європи в теплоті.

### Перспективи розвитку ТН

На сьогодні ТН визначені як ключове рішення декарбонізації для опалення будівель в основних стратегіях «Європейської зеленої угоди», а саме: стратегії інтеграції енергетичного сектору ЄС (липень 2020 р.) та стратегії будівельного сектору, так званої хвилі реновацій (оновлення) [35]. Обидві стратегії послідовно описують модель енергетичного переходу в ЄС. Він складається з виробництва електроенергії переважно з ВДЕ та поєднання енергетичних секторів за принципом «енергоефективність перш за все», тобто насамперед ефективної електрифікації: транспорту, індивідуального опалення та централізованого опалення [21].

Загальна кількість підключених ТН опалення та ГВП в Європі наразі становить близько 20 млн. Вони забезпечують опалення близько 16 % житлових та комерційних будівель в Європі. Кількість ТН, проданих у 2022 р., замінює приблизно 4 млрд м<sup>3</sup> природного газу, що дає можливість уникнути викидів CO<sub>2</sub> приблизно 8 млн т [36].

«ТН є невід'ємною частиною будь-якого плану скорочення викидів та використання природного газу, а також невідкладним пріоритетом у Європейському Союзі сьогодні, — зазначив виконавчий директор МЕА Фатіх Біроль. — Ця технологія перевірена навіть у найхолоднішому кліматі. Політики повинні докласти усіх зусиль за цю технологію, яка на даний момент має безпрецедентний імпульс. Теплові насоси будуть центральною частиною зусиль, щоб гарантувати кожному можливість опалювати свої будинки, захистити вразливі домогосподарства та підприємс-

Таблиця 5. Приклади діючих та перспективних промислових ТН в Європі

Table 5. Examples of active and prospective industrial TPs in Europe

| Країна, компанія                                               | Джерело теплоти                                                                                                      | Теплова потужність, МВт | COP                            | Робоче тіло               | Вихідна температура, °C |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Фінляндія, Kiilto Oy                                           | Відпрацьована теплота полімеризації при виробництві клеїв                                                            | 0,65                    | 3,2–4,5                        | R134a                     | Вода — 55–75            |
| Бельгія, Colruyt Group                                         | Відпрацьована теплота промислового холодильного машинного відділення потужністю декілька мегават                     | 1,0                     | 4,5                            | Аміак                     | Вода — 78               |
| Італія, м. Мілан, ТЕЦ                                          | Теплота ґрунтових вод                                                                                                | 2 × 0,85                | 4,6<br>(W15/<br>W50)           | R134a                     | Вода — 55–75            |
| Компанія Fertigungstechnik NORD, Gadebusch Nord Drivesystems   | Технологічна теплота, що виділяється при обробці та литті металу                                                     | 2 × 0,35                | 4,3<br>(B0/<br>W35)            | R134a                     | Вода — максимум 65      |
| Компанія MSK Plast Oy                                          | Відпрацьоване тепло з фарбувальних камер та печей                                                                    | 0,6                     | 4,3                            | R134a                     | Вода — 65               |
| Фінляндія, м. Каухаві, компанія MSK Plast Oy                   | Відпрацьоване тепло з цеху фарбування                                                                                | 2 × 4,51                | 4,7                            | Аміак                     | Вода — 83               |
| Данія, м. Лілль-Скенсвед, компанія CP Kelco                    | Відпрацьоване тепло харчових виробництв                                                                              | 7~4<br>(зима-літо)      | 10                             | Аміак                     | Вода — 85               |
| Данія, Копенгаген, аеропорт                                    | Тепло конденсації відхідних димових газів котла (2 МВт)                                                              | 0,62                    | 4,0                            | R1234ze                   | Вода — 75               |
| Угорщина, Будапешт, район Уйпешта                              | Теплота стічних вод: Нагрівання / охолодження                                                                        | 1,690 / 1,748           | 3,9/<br>5,8                    | R134a                     | Вода — 60/70            |
| Фінляндія, Піетарсаарі, компанія Snellman Meat Refinement      | Відпрацьоване тепло харчових виробництв, у тому числі «сірих» стічних вод                                            | 1,09                    | 3,5                            | R1234ze                   | Вода — 95               |
| Агротеплиці та компанія ResEvo                                 | Геотермальна теплота, свердловина глибиною 1,5 км                                                                    | 2,0                     | 5,31                           | R134a                     | Вода — 50–80            |
| Електротеплове накопичення енергії (ETES), компанії MAN та ABB | Теплота ВДЕ, електроенергія нічного провалу, тригенерація, енергоакмулювання, балансування: Нагрівання / охолодження | 50/40                   | 3,3/<br>2,7<br>комбіноване 6,0 | CO <sub>2</sub><br>(R744) | 150                     |
| Австрія, Horizon 2020, No. 695945, компанія Agrana Stdrke GmbH | Відпрацьована теплота при сушінні харчової продукції                                                                 | 0,4                     | —                              | OpteonMZ                  | 110–160                 |

тва від високих цін та досягти кліматичних цілей.» [37].

### Висновки

Світовий досвід застосування ТН показує, що, як правило, обсяги їх впровадження зростали під час світових енергетичних чи фінансових криз через нестачу викопного палива чи підвищення його вартості. Очевидно, що вказані особливості ТН будуть проявлятися і в майбутньому при тренді розвитку світової енергетики по низьковуглецевій траєкторії, адже такий тип теплоенергетичного устаткування можна віднести до інженерії відновлюваної енергетики, особливо так звані «зелені» ТН, що використовують енергію доквілля. Іншою особливістю галузі ТН на нинішньому етапі розвитку світової економіки є потреба у дещо більших початкових капітальних витратах у порівнянні з традиційним енергетичним устаткуванням, що експлуатується на викопному паливі. Тому ТН потребують відповідної підтримки, виваженої інвестиційної політики та відповідного енергоменеджменту.

Стосовно активізації розвитку ТН в Україні можна ретельно вивчити та запозичити кращий і успішний європейський досвід, наприклад, досвід Польщі в області ВДЕ, електрифікації, теплозабезпечення та активного використання теплонасосних технологій, особливо враховуючи добрі відносини в останній військовий час та польську допомогу українському народу.

### Список літератури

1. Rosenow J., Gibb D., Nowak T., Lowes R. Heating up the global heat pump market. *Nature Energy*. 2022. Vol. 7. pp. 901–904. DOI: 10.1038/s41560-022-01104-8.
2. Sanner B.B. Ground Source Heat Pumps — history, development, current status, and future prospects. *12th IEA Heat Pump Conference*, K.2.9.1, 2017. 14 p. — <http://ubeg.de/Lit/2017%20Sanner%20iea-hpc%20-%20GSHP%20history.pdf>
3. Weather for Energy Tracker. Data product. January 2023, IA. — <https://vvv.ia.org/data-and-statistics/data-producent/weather-for-energy-tratsker#highlights/>
4. IEA (2022). Heat Pumps, IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>
5. IEA (2022). Installed heat pump stock by region and global Net Zero Scenario deployment, 2010–2030. IEA, Paris. — [https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/installed-heat-pump-stock-by-region-and-](https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/installed-heat-pump-stock-by-region-and-global-net-zero-scenario-deployment-2010-2030)
6. IEA (2022). The future of heat pumps. Executive Summary, IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/executive-summary>
7. IEA (2022). Share of households purchasing heat pumps for heating and hot water production in selected regions the Sustainable Development Scenario, 2010–2030. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-households-purchasing-heat-pumps-for-heating-and-hot-water-production-in-selected-regions-the-sustainable-development-scenario-2010-2030>
8. Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and Domestic Hot Water. Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies. November, 2022. Final Report no. HPT-AN50-1. 45 p.
9. Branchenstudie 2023: Marktentwicklung — Prognose — Handlungsempfehlungen. Berlin, 2023. 36 p.
10. IEA (2022). The Future of Heat Pumps. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
11. How to Avoid Gas Shortages in the European Union in 2023. December, 2022. 38 p. — <https://iea.blob.core.windows.net/assets/96ce64c5-1061-4e0c-998d-fd679990653b/HowtoAvoidGasShortagesintheEuropeanUnionin2023.pdf>
12. Fitzgerald J. What Could Chill Heat Pumps. The obstacles to installing a transformative technology. 2023. — <https://prospect.org/environment/2023-01-31-what-could-chill-heat-pumps/>
13. IEA (2023), Energy Technology Perspectives. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
14. Why the heat pump market grows throughout Europe. — [https://www.daikin.eu/en\\_us/daikin-blog/why-the-heat-pump-market-grows-throughout-europe.html](https://www.daikin.eu/en_us/daikin-blog/why-the-heat-pump-market-grows-throughout-europe.html)
15. Heat pump record: 3 million units sold in 2022, contributing to REPowerEU targets. — [https://www.ehpa.org/press\\_releases/heat-pump-record-3-million-units-sold-in-2022-contributing-to-repowereu-targets/](https://www.ehpa.org/press_releases/heat-pump-record-3-million-units-sold-in-2022-contributing-to-repowereu-targets/)
16. Subsidies for residential heat pumps in Europe. 2023. — [https://www.ehpa.org/publications/subsidies-for-residential-heat-pumps-in-europe/?fbclid=IwAR2c4Ybb07sjr4LNYHXi0pb\\_Nvp8NY0YFvAUUpVbx1hAsD\\_c0yfsySPHyi1M](https://www.ehpa.org/publications/subsidies-for-residential-heat-pumps-in-europe/?fbclid=IwAR2c4Ybb07sjr4LNYHXi0pb_Nvp8NY0YFvAUUpVbx1hAsD_c0yfsySPHyi1M)
17. Farrell H. EU Heat Pumps: warnings against “one size fits all” policies. 2022. — <https://energypost.eu/eu-heat-pumps-warnings-against-one-size-fits-all-policies/>
18. Weidner T., Guillren-Gosalbez G. Planetary boundaries assessment of deep decarbonisation options

- for building heating in the European Union. *Energy Conversion and Management*. 2023. 278. 116602. — <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000599236>
19. Rainer M.J. Germany: Heat Pump Market Report. *HPT MAGAZINE*. 2022. Vol. 40, № 2. зр. 43–46. — <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/germany-heat-pump-market-report/>
20. Fakty i mity na temat pomp ciepła. — <https://flienergy.pl/blog-1330-fakty-i-mity-na-temat-pomp-ciepła>
21. PORT PC: 2022 was the Year of Heat Pumps in Poland. — [https://www.ehpa.org/2023/02/08/ehpa\\_news/port-pc-2022-was-the-year-of-heat-pumps-in-poland](https://www.ehpa.org/2023/02/08/ehpa_news/port-pc-2022-was-the-year-of-heat-pumps-in-poland)
22. Basok B., Davydenko B., Koshlak H., Novikov V. Free Convection and Heat Transfer in Porous Ground Massif during Ground Heat Exchanger Operation. *Materials*. 2022. Vol. 15. 4843. DOI: 10.3390/ma15144843.
23. Карп І.М., Нікітін Є.Є., Басок Б.І., Дубовський С.В., Гелетуха Г.Г., Сігал О.І., Дудка О.В., Комков І.С., Тарновський М.В., Силакін О.Е., Бабін М.Є., Железна Т.А., Пастух А.В., Падерно Д.Ю., Плашихін С.В., Ніжнік Н.А. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні. Київ : Наукова думка, 2022. Т. 2. 200 с. ISBN 978-966-00-1828-8.
24. Kalkulator kosztów ogrzewania budynków POBE — I kwartał 2023 r. — <https://nowa-energia.com.pl/2023/01/24/kalkulator-kosztow-ogrzewania-budynkow-pobe-i-kwartal-2023-r/>
25. Artykuły POBE. — <http://pobe.pl/kalkulator-pobe-kosztow-ogrzewania-w-typowych-budynkach/>
26. Basok B., Davydenko B., Pavlenko A.M. Numerical network modeling of heat and moisture transfer through capillary-porous building materials. *Materials*. 2021. Vol. 14. P. 1819–1840. — <https://doi.org/10.3390/ma14081819>
27. Basok B., Davydenko B., Novikov V., Pavlenko A., Novitska M., Sadko K., Goncharuk S. Evaluation of heat transfer rates through transparent dividing structures. *Energies*. 2022. №15, 4910. — <https://doi.org/10.3390/en15134910>
28. Карп І.М., Нікітін Є.Є., П'яних К.Є. Відновлювані джерела в системах енергопостачання міст України. *Технічна електродинаміка*. 2021. № 1. DOI: 10.15407/techned2021.01.040.
29. Долінський А.А., Базеев Е.Т., Чайка А.И. Тепловые насосы в теплоснабжении. *Промышленная теплотехника*. 2006. Т. 28, № 2, С. 99–105. — <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/61396/14-Dolinsky.pdf?sequence=1>
30. Neves J., Vad Mathiesen B. Heat Roadmap Europe: Potentials for Large-Scale Heat Pumps in District Heating. 2018. 35 p. ISBN: 978-87-91404-96-2. — <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/heat-roadmap-europe.pdf>
31. Bach B., Werling J., Ommen T.S., Münster M., Morales González J.M., & Elmegaard B. Integration of large-scale heat pumps in the district heating systems of Greater Copenhagen. *Energy*. 2016. Vol. 107. pp. 321–334. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.029.
32. Waste-to-Energy Plant Sysav Malmö, enhancing the overall Energy Efficiency with 2 Unitop® 28C heat pump units. — [https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sysave006\\_uk.pdf](https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sysave006_uk.pdf)
33. Large scale heat pumps in Europe. 2020. Vol. 2. — [https://www.ehpa.org/wp-content/uploads/2022/11/Large-heat-pumps-in-Europe-and-industrial-uses\\_2020.pdf](https://www.ehpa.org/wp-content/uploads/2022/11/Large-heat-pumps-in-Europe-and-industrial-uses_2020.pdf)
34. Wolf S., Blesl M. Model-based quantification of the contribution of industrial heat pumps to the European climate change mitigation strategy. *Proceedings of the ECEEE Industrial Efficiency Conference 2016*. Berlin, 12–14.09.2016. Stockholm, 2016. 4-06-16\_Wolf.pdf
35. A Renovation Wave for Europe — greening our buildings, creating jobs, improving lives. COM (2020) 662 final. [Ur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0638aa1d-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0638aa1d-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF)
36. Market data. EHPA. — <https://www.ehpa.org/market-data/>
37. The Future of Heat Pumps, 2022. — <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>

Надійшла до редакції 09.05.2023

**Basok B.I.**<sup>1,2</sup>, Doctor of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-8935-4248,  
**Dubovskyi S.V.**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, ORCID: 0000-0001-9418-2092,  
**Pastushenko E.P.**<sup>2,3</sup>, **Nikitin E.E.**<sup>4</sup>, Doctor of Technical Sciences,  
 ORCID: 0000-0002-0173-6461, **Bazeev E.T.**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,  
 ORCID: 0000-0003-4292-1505

<sup>1</sup> *Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

2a, Marii Kapnist Str., 03057 Kyiv, Ukraine, e-mail: borys.basok@gmail.com

<sup>2</sup> *National Association of Heat Pumps of Ukraine, Kyiv*

2a, Marii Kapnist Str., 03057 Kyiv, Ukraine, e-mail:

<sup>3</sup> *LLC "Heat Pump VDE", Kyiv*

22, building 1, office 12, Regeneratorna Str., Kyiv, Ukraine, e-mail: pastushenko@vde.com.ua

<sup>4</sup> *The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

39, Degtyarivska Str., 03113 Kyiv, Ukraine, e-mail: nikitin\_ee@ukr.net

## Heat pumps as a trend of low-carbon energy development

An overview of the energy and economic problems of using heat pumps is given. The stages of the development of the world and European energy industry with their inherent economic and financial crises and their influence on the application volume of heat pumps are shown. The main regulatory and technical legislation of European countries in the scope of heat pumps and related sectors of the economy is presented. The main factors of the use of heat pump equipment are considered, the challenges and possible development trends are analyzed. Energy management and economic measures that contributed to the growth of heat pump implementations during the global energy crisis of 2021–2022 are assessed. The current state of heat pump use in the world, in Europe, in particular in Germany and Poland, is given. The reasons and organizational measures that led to the active growth of heat pumps in some European countries are indicated. The recent Polish experience in the favorable policy of active support of heat pump technologies and electrification of heat supply is evaluated in detail. An example of economic indicators for a typical building of the European energy efficiency standard with various options for heat supply, including heat pump technologies, as well as individual photovoltaics, is given. The use of high-power heat pumps (more than 100 kW) in centralized heat supply systems and various industries in Europe is analyzed. The prospects for the development of heat pumps from the point of view of the electrification of heat supply, the achievement of low-carbon energy and the prevention of harmful climate changes are outlined. It is recommended to use the positive experience of Poland in the policy of supporting heat pumps in the reconstruction of residential buildings destroyed by the war in Ukraine. *Bibl. 37, Fig. 9, Tab. 5.*

**Keywords:** heat pumps, energy efficiency, subsidies, heat, renewable energy sources, environmental energy.

### References

1. Rosenow J., Gibb D., Nowak T., Lowes R. Heating up the global heat pump market. *Nature Energy*. 2022. Vol. 7. pp. 901–904. doi: 10.1038/s41560-022-01104-8.
2. Sanner B.B. Ground Source Heat Pumps — history, development, current status, and future prospects. *12th IEA Heat Pump Conference*, K.2.9.1, 2017. 14 p. — <http://ubeg.de/Lit/2017%20Sanner%20iea-hpc%20-%20GSHP%20history.pdf>
3. Weather for Energy Tracker. Data product. January 2023, IA. — <https://vvv.ia.org/data-and-statistics/data-producent/weather-for-energy-tratsker#highlights/>



4. IEA (2022). Heat Pumps, IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>
5. IEA (2022). Installed heat pump stock by region and global Net Zero Scenario deployment, 2010–2030. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/installed-heat-pump-stock-by-region-and-global-net-zero-scenario-deployment-2010-2030>
6. IEA (2022). The future of heat pumps. Executive Summary. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/executive-summary>
7. IEA (2022). Share of households purchasing heat pumps for heating and hot water production in selected regions the Sustainable Development Scenario, 2010–2030. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-households-purchasing-heat-pumps-for-heating-and-hot-water-production-in-selected-regions-the-sustainable-development-scenario-2010-2030>
8. Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and Domestic Hot Water. Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies. November, 2022. Final Report no. HPT-AN50-1. 45 p.
9. Branchenstudie 2023: Marktentwicklung — Prognose — Handlungsempfehlungen. Berlin, 2023. 36 p.
10. IEA (2022). The Future of Heat Pumps. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
11. How to Avoid Gas Shortages in the European Union in 2023. December, 2022. 38 p. — <https://iea.blob.core.windows.net/assets/96ce64c5-1061-4e0c-998d-fd679990653b/HowtoAvoidGasShortagesintheEuropeanUnionin2023.pdf>
12. Fitzgerald J. What Could Chill Heat Pumps. The obstacles to installing a transformative technology. 2023. — <https://prospect.org/environment/2023-01-31-what-could-chill-heat-pumps/>
13. IEA (2023). Energy Technology Perspectives. IEA, Paris. — <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
14. Why the heat pump market grows throughout Europe. — [https://www.daikin.eu/en\\_us/daikin-blog/why-the-heat-pump-market-grows-throughout-europe.html](https://www.daikin.eu/en_us/daikin-blog/why-the-heat-pump-market-grows-throughout-europe.html)
15. Heat pump record: 3 million units sold in 2022, contributing to REPowerEU targets. — [https://www.ehpa.org/press\\_releases/heat-pump-record-3-million-units-sold-in-2022-contributing-to-repowereu-targets/](https://www.ehpa.org/press_releases/heat-pump-record-3-million-units-sold-in-2022-contributing-to-repowereu-targets/)
16. Subsidies for residential heat pumps in Europe. 2023. — [https://www.ehpa.org/publications/subsidies-for-residential-heat-pumps-in-europe/?fbclid=IwAR2c4Ybb07sjr4LNYHXi0pb\\_Nvp8NY0YFvAUpVbx1hAsD\\_c0yfsySPHyi1M](https://www.ehpa.org/publications/subsidies-for-residential-heat-pumps-in-europe/?fbclid=IwAR2c4Ybb07sjr4LNYHXi0pb_Nvp8NY0YFvAUpVbx1hAsD_c0yfsySPHyi1M)
17. Farrell H. EU Heat Pumps: warnings against “one size fits all” policies. 2022. — <https://energypost.eu/eu-heat-pumps-warnings-against-one-size-fits-all-policies/>
18. Weidner T., Guillren-Gosalbez G. Planetary boundaries assessment of deep decarbonisation options for building heating in the European Union. *Energy Conversion and Management*. 2023. 278. 116602. — <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000599236>
19. Rainer M.J. Germany: Heat Pump Market Report. *HPT MAGAZINE*. 2022. Vol. 40, № 2. 3p. 43–46. — <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/germany-heat-pump-market-report/>
20. Fakty i mity na temat pomp ciepła. — <https://flixenergy.pl/blog-1330-fakty-i-mity-na-temat-pomp-ciepla>
21. PORT PC: 2022 was the Year of Heat Pumps in Poland. — [https://www.ehpa.org/2023/02/08/ehpa\\_news/port-pc-2022-was-the-year-of-heat-pumps-in-poland](https://www.ehpa.org/2023/02/08/ehpa_news/port-pc-2022-was-the-year-of-heat-pumps-in-poland)
22. Basok B., Davydenko B., Koshlak H., Novikov V. Free Convection and Heat Transfer in Porous Ground Massif during Ground Heat Exchanger Operation. *Materials*. 2022. Vol. 15. 4843. DOI: 10.3390/ma15144843.
23. Karp I.M., Nikitin E.E., Basok B.I., Dubovsky S.V., Geletukha H.G., Segal O.I., Dudka O.V., Komkov I.S., Tarnovskyi M.V., Silakin O.E., Babin M.E., Zhelezna T.A., Pastukh A.V., Paderno D.Yu., Plashikhin S.V., Nizhnyk N.A. [State and ways of development of centralized heat supply systems in Ukraine]. Kyiv : Naukova dumka, 2022. Vol. 2, 200 p. ISBN 978-966-00-1828-8. (Ukr.)
24. Kalkulator kosztów ogrzewania budynków POBE — I kwartał 2023 r. — <https://nowa-energia.com.pl/2023/01/24/kalkulator-kosztow-ogrzewania-budynkow-pobe-i-ktwartal-2023-r/> (PL)
25. Artykuły POBE. — <http://pobe.pl/kalkulator-pobe-koszty-ogrzewania-w-typowych-budynkach/>
26. Basok B., Davydenko B., Pavlenko A.M. Numerical network modeling of heat and moisture transfer through capillary-porous building materials. *Materials*. 2021. Vol. 14. P. 1819–1840. — <https://doi.org/10.3390/ma14081819>
27. Basok B., Davydenko B., Novikov V., Pavlenko A., Novitska M., Sadko K., Goncharuk S. Evaluation of heat transfer rates through transparent dividing structures. *Energies*. 2022. №.15, 4910. — <https://doi.org/10.3390/en15134910>
28. Karp I.M., Nikitin E.E., Pyanikh K.E. [Renewable sources in energy supply systems of Ukrainian cities]. *Technichna electrodynamica*. 2021. No. 1. DOI: 10.15407/techned2021.01.040. (Ukr.)
29. Dolinsky A.A., Bazeev E.T., Chaika O.I. Heat pumps in heat supply. *Promyshlennaya teplotekhnika*. 2006. 28 (2). pp. 99–105. — <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/61396/14-Dolinsky.pdf?sequence=1> (Rus.)
30. Neves J., Vad Mathiesen B. Heat Roadmap Europe: Potentials for Large-Scale Heat Pumps in District Heating. 2018. 35 p. ISBN: 978-87-91404-96-2. —

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/07/heat-roadmap-europe.pdf>

31. Bach B., Werling J., Ommen T.S., Münster M., Morales González, J.M., & Elmegaard B. Integration of large-scale heat pumps in the district heating systems of Greater Copenhagen. *Energy*. 2016. Vol. 107. pp. 321–334. DOI: 10.1016/j.energy.2016.04.029.

32. Waste-to-Energy Plant Sysav Malmö, enhancing the overall Energy Efficiency with 2 Unitop® 28C heat pump units. — [https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sysave006\\_uk.pdf](https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sysave006_uk.pdf)

33. Large scale heat pumps in Europe. 2020. Vol. 2. — [https://www.ehpa.org/wp-content/uploads/2022/11/Large-heat-pumps-in-Europe-and-industrial-uses\\_2020.pdf](https://www.ehpa.org/wp-content/uploads/2022/11/Large-heat-pumps-in-Europe-and-industrial-uses_2020.pdf)

34. Wolf S., Blesl M. Model-based quantification of the contribution of industrial heat pumps to the European climate change mitigation strategy. *Proceedings of the ECEEE Industrial Efficiency Conference 2016*. Berlin, 12–14.09.2016. Stockholm, 2016. 4-061-16\_Wolf.pdf

35. A Renovation Wave for Europe — greening our buildings, creating jobs, improving lives. COM (2020) 662 final. [ur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0638aa1d-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0638aa1d-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF)

36. Market data. EHPA. — <https://www.ehpa.org/market-data/>

37. The Future of Heat Pumps, 2022. — <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>

Received May 9, 2023

UDC 620.92

DOI: 10.33070/etars.3.2023.03

**Derii V.O.**, *Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-5689-4897,*  
**Teslenko O.I.**, *Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-3772-5991,*  
**Sokolovska I.S.**, *Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0003-1959-9837*  
*General Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*  
*172, Antonovycha Str., 03150 Kyiv, Ukraine, e-mail: info@ienergy.kiev.ua*

## Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems

The results of the estimation of the annual potential for thermal energy production using heat pumps (HPs) in district heating systems (DHS) for the regions of Ukraine and the country as a whole are given. This study is relevant due to the high level of DHS development in Ukraine, which reaches 52 %. Today, the outdated equipment of DHSs in Ukraine needs significant technological modernization. Also, in the near future, it will be necessary to restore DHSs destroyed as a result of the total destruction of the civil infrastructure by the Russian aggressor. The post-war reconstruction of Ukrainian cities has a unique chance to radically update DHSs using renewable energy sources and innovative technologies, including HPs. The authors propose a new methodical approach for the regional determination of the forecast implementation scope of HPs in DHSs. Using this approach, the economically available energy potential of thermal energy production by HPs in DHSs from various low-potential heat sources (LPHS) was determined, both for the regions of Ukraine and for the country as a whole. As of 2020, this energy potential for DHSs of Ukraine is 62.601 million Gcal/year (262.1 PJ/year): 22.2 % is provided by natural LPHS (heat of air (2.2 %), river water (16.9 %), ground and groundwater (3.1 %)) and 77.8 % is provided by anthropogenic LPHS (heat of ventilation emissions of buildings connected to the DHS (43.0%), sewage