

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.

Ефективна економіка. 2022. № 12.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2022.12.46>

УДК 338.1

С. В. Поліщук,

к. е. н, доцент, доцент кафедри економіки та підприємництва, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0648-5849>

М. О. Фалько,

студент кафедри економіки та підприємництва, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0240-4020>

Н. В. Захаров,

студент кафедри економіки та підприємництва, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0771-6998>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДУМОВ ВИКОРИСТАННЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ НА ЕНЕРГІЇ СТИЧНИХ ВОД ЗА ДОПОМОГОЮ СТИЧНИХ КОЛЕКТОРІВ В УКРАЇНІ

S. Polischuk,

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

M. Falko,

Student of the Department of Economics and Entrepreneurship, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

N. Zaharov,

Student of the Department of Economics and Entrepreneurship, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

RESEARCH OF PREREQUISITES FOR THE USE AND EFFICIENCY OF HEAT PUMPS BASED ON WASTEWATER ENERGY USING WASTEWATER COLLECTORS IN UKRAINE

Велике значення для функціонування та розвитку сучасної економіки відіграють енергетичні ресурси. Україна залежить від їх імпорту, що вказує на незадовільний стан її енергетичного сектору. Слід зазначити, що криза енергоресурсів у світі спричиняє зростання цін на них, що також негативно впливає на стан національного господарства України. Через цю сукупність проблем постає питання генерації теплової енергії за допомогою використання природних та техногенних низькопотенційних джерел теплоти (НПДТ). У цій статті розглянуто перспективи впровадження теплових насосів, що використовуватимуть енергію стічних вод за допомогою стічного колектору для вирішення проблеми дефіциту енергетичних ресурсів енергетичного сектору України. У процесі дослідження було виявлено проблеми енергетичного сектору України. Значна увага була приділена аналізу тези про можливість використання альтернативних джерел енергії для забезпечення потреб національного господарства України, а саме: було досліджено принцип роботи теплового насоса, енергетичний потенціал стічних вод, проведене порівняння екологічної та економічної ефективності використання теплових насосів із стандартними системами опалення та проведено соціологічне дослідження. Аналіз показав, що стічні води України мають значний енергетичний потенціал. Також було виявлено, що теплові насоси є більш економічними при використанні у порівнянні із стандартними джерелами теплової енергії. У свою чергу, опитування показало, що населення України потенційно зацікавлене у використанні теплових насосів, як джерела теплової енергії, але не усвідомлює проблем з та опаленням в країні.

For the effective functioning and development of the modern world economy, energy resources, such as natural gas, oil, coal, etc., are of great importance. Ukraine is largely dependent on the import of energy resources, which indicates the unsatisfactory state of its energy sector. It should be noted that the crisis of energy resources in the world leads to an increase in prices for them, which also has a negative impact on the state of the national economy of our country. Because of this complex of problems that arise in connection with the intensification of the energy crisis, the issue of generating energy (including heat) through the use of natural and

man-made low-potential heat sources (NPDT) becomes more relevant. This article discusses the prospects for introducing heat pumps that will use wastewater energy using a wastewater collector to solve the problem of energy shortage in the energy sector of Ukraine. During the study, the causes and consequences of the crisis in the energy sector of Ukraine were identified. Considerable attention was paid to the analysis of the thesis about the possibility of using alternative energy sources to meet the needs of the national economy of Ukraine, namely: the principle of operation of the heat pump, the energy potential of wastewater was studied, the environmental and economic efficiency of using heat pumps with Standard Heating Systems was compared, and a sociological study was conducted, that is, the level of consumer awareness about heat pumps, as well as their attitude to alternative sources of heat energy was determined. The analysis showed that Ukraine's wastewater has a significant energy potential, which indicates the prospects for using this low-potential energy source. It was also found that heat pumps are more economical to use compared to standard heat sources, namely gas, electric and solid fuel boilers. In turn, the survey showed that the population of Ukraine is potentially interested in using alternative heating systems, but the following problems were identified: first, it does not have a clear idea of the heat pump, and, secondly, it does not realize the problems with heating in the country.

Ключові слова: *тепловий насос; енергетичний сектор; тепла енергія; енергія, енергетичні ресурси; низькопотенційні джерела теплоти; енергія стічного колектору.*

Keywords: *heat pump; energy sector; heat energy; energy; energy resources, low-potential heat sources; waste collector energy.*

Постановка проблеми. Функціонування національного господарства будь-якої країни залежить від наявності достатньої кількості енергетичних ресурсів. Наша країна є залежною від їх імпорту, що вказує на незадовільний стан енергетичного сектору України. У свою чергу, дефіцит енергетичних ресурсів у світі спричиняє збільшення цін на них, що також негативно впливає

на стан національного господарства України. У зв'язку із цими факторами виникає питання з приводу генерації енергії за допомогою використання альтернативних джерел.

Аналіз останніх досліджень. У вільному доступі наразі знаходиться багато наукових робіт як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників. Серед них можна виділити наступних: Єфремова О.О. [1], Сірко З. С. [2], Коренда В. А. [2], Вишняков І. Ю. [2], Протасов О. С. [2], Охріменко С. М. [2], Цірень Н. Л. [2], Шубенко В.О. [3], Кухарець С.М. [3], Титко Р. [4], Калініченко А.В. [4], Калініченко В.М. [4], Опелт Д. [5], Баня М. [5], Анашкін С.В [5]. Науковці приділяли особливу увагу технічним особливостям та специфіці застосування теплових насосів. У свою чергу, не приділялась увага дослідженням комплексному аналізу передумов застосування та економічної ефективності теплових насосів у порівнянні зі стандартними системами опалення в Україні, відповідно, тема дослідження є актуальною.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою цієї статті є дослідження теплових насосів, розкриття сутності їх функціонування, виявлення енергетичного потенціалу стічних вод, порівняння їх із стандартними джерелами теплової енергії та аналіз їх ефективності.

Виклад основного матеріалу. За пірамідою Маслоу для переходу до піднесених потреб людині необхідно задовольнити перш за все фізіологічні [6]. Однією із найбільш важливих є потреба у теплі [6]. Однак, в умовах сучасного етапу розвитку людської думки, суспільство починає усвідомлювати, що має місце проблема дефіциту природних енергоресурсів масштаби якого постійно зростають. Впровадження енергозберігаючих технологій генерації теплоти і використання нетрадиційних і відновлюваних енергетичних джерел стає не стільки популярним, скільки життєво необхідним рішенням, що напряму пов'язано із загрозою не тільки світового екологічного колапсу, а й деградації потреб людини.

Одним із засобів, що може генерувати тепло за допомогою нетрадиційних джерел енергії є тепловий насос, який і буде проаналізовано у цій статті. Розпочнемо із його визначення. Тепловий насос – це пристрій для перенесення теплової енергії від джерела до споживача [7]. Для того, щоб забезпечити функціонування теплового насосу необхідне зовнішнє джерело енергії. Найбільш поширена конструкція теплового насосу складається із компресора, теплового розширювального клапана, випарника і конденсатора. Теплоносій, що циркулює всередині цих компонентів, називається холодоагентом [7].

Серед найбільш розповсюджених приладів, що для роботи використовують такий же фізичний принцип роботи – цикл Карно – можна виділити наступні: холодильник, кондиціонер. Ці пристрої можуть виконувати функції як охолодження, так і нагрівання.

Принцип роботи теплового насосу (цикл Карно) наведено на рис. 1.

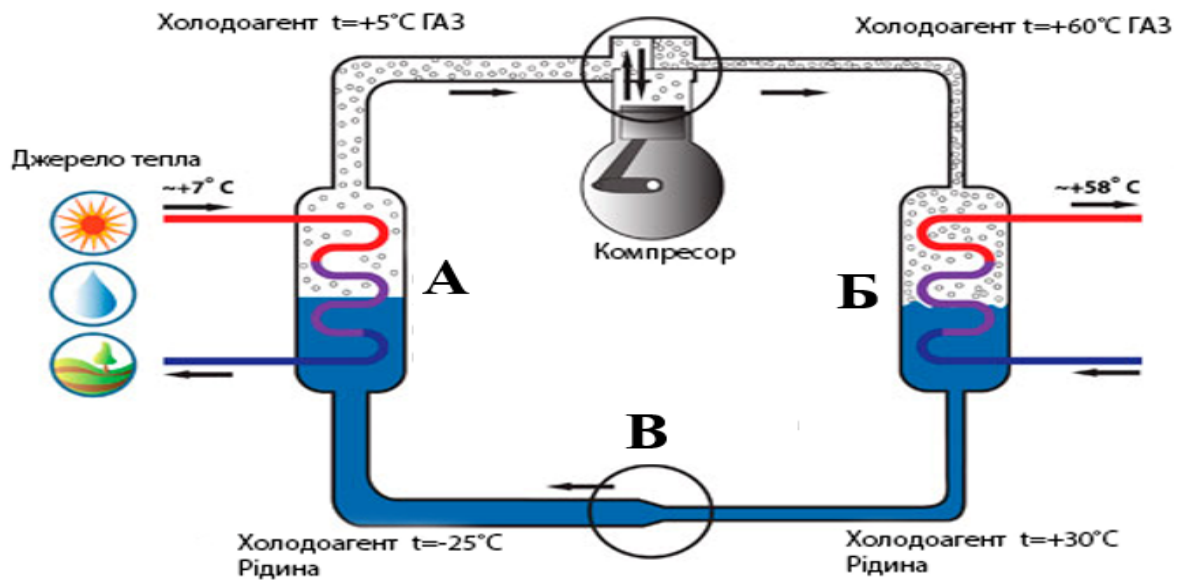


Рис. 1. Принцип роботи теплового насосу

Джерело: [7]

Схему роботи теплового насосу можна описати наступним чином [7]:

1. У зовнішньому теплообміннику теплова енергія з навколишнього середовища за межами будівлі або з іншого доступного джерела тепла передається робочому тілу ТНУ – холодоагенту, що циркулює по внутрішньому контуру (А);
2. Холодоагент нагрівається, випаровується і направляється до компресора. Компресор стискає фреон, при цьому температура фреону зростає;
3. Стиснутий холодоагент проходить через конденсатор (Б), де конденсується і віддає тепло в систему споживача;
4. Холодоагент проходить через розширювальний клапан (В), що знижує тиск, що супроводжується зниженням температури. Цикл повторюється.

Після надання визначення та теоретичної інформації щодо особливостей внутрішньої побудови та функціонування теплового насосу, перейдемо до аналізу перспектив впровадження цієї технології для вирішення проблеми із генерації теплової енергії, яка використовуватиметься для опалення приміщень. Розпочнемо із дослідження досвіду в інших країнах.

Проблема недостатньої кількості енергетичних ресурсів не є новою для світової економіки. Одним із найбільш відомих прикладів є Нафтова криза 1973 року, яка також відома, як «нафтове ембарго». Тоді країни Західної Європи, США, Канада, Австралія та Нова Зеландія зіткнулись із проблемою дефіциту нафти. Для того, щоб ліквідувати загрозу виникнення подібної ситуації у майбутньому в багатьох країнах збільшують обсяги використання альтернативних джерел енергії, а саме: сонячного випромінювання, енергії вітру, води річок та океанів, гейзерів тощо. У цьому розрізі тепловий насос можна охарактеризувати, як установку, що призначена для перетворення теплоти відновлюваних та вторинних джерел в енергію [8].

Розробкою та реалізацією теплових насосів займаються підприємства таких країн, як: Японія, США, Канада, Китай, а також країни ЄС. Серед таких

компаній можна виділити наступні: Daikin, Atlantic, De Dietrich, Frisquet, Johnson Controls-Hitachi Air Conditioning, Mitsubishi Electric та Toshiba Carrier [8]. Загалом можна сказати, що кількість встановлених та проданих теплових насосів у Європі зростає. Про це свідчить статистична інформація European Heat Pump Association (ЕНРА). За період 2005-2021 рр. кількість встановлених теплових насосів зросла з 1,2 млн. од. до 17 млн. од. (або у 14,8 разів), а кількість проданих – з 0,45 млн. од. до 2,18 млн. од. (або у 4,9 рази). Це можна побачити на рис. 2

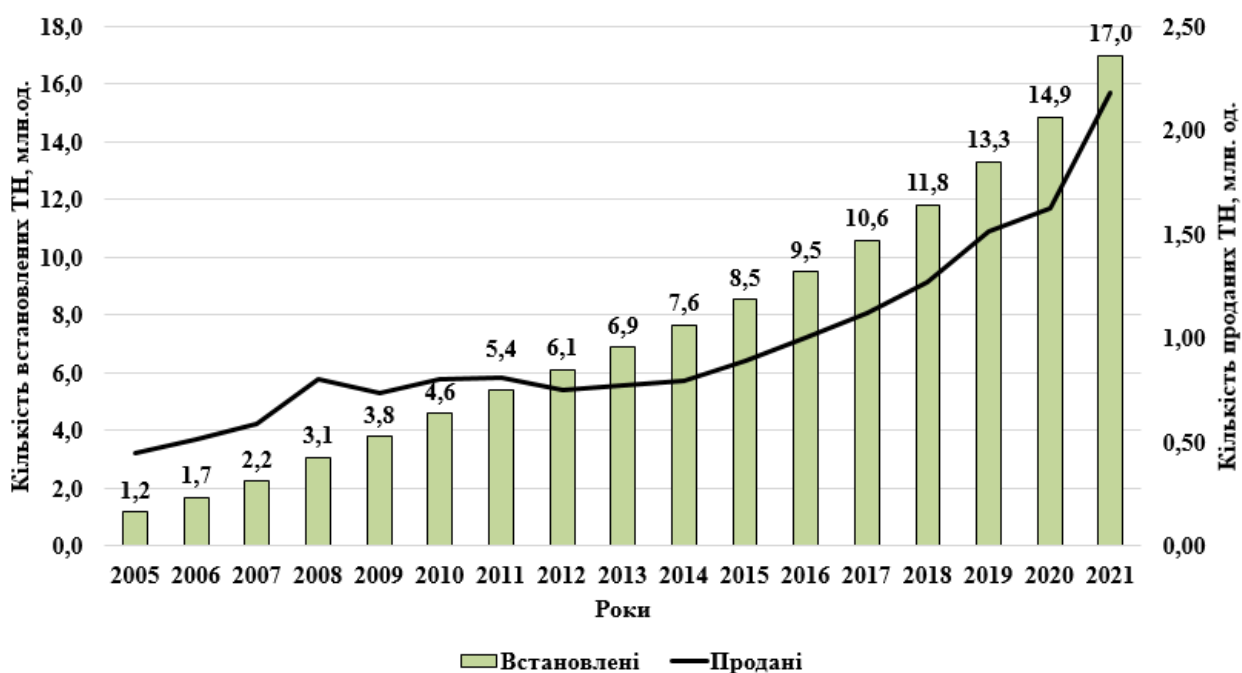


Рис. 2. Кількість встановлених та проданих теплових насосів в Європі за 2005-2021 рр.

Джерело: сформовано на основі [9].

Вважаємо також за доцільне провести більш детальний аналіз, а саме дослідити приклади впровадження теплових насосів на основі статистичних даних деяких країн Європи, які на нашу думку, є найбільш показовими та наближеними до України. До таких можна віднести Францію та Фінляндію. Це можна пояснити тим, що вони, як і Україна, знаходяться в Європі і мають

подібні кліматичні умови на відміну від США або Японії. Розпочнемо із Франції, де у 2018 році було зафіксовано збільшення обсягів реалізації теплових насосів типу «повітря-вода» до 96576 систем, тобто обсяги продажів зросли на 16% у порівнянні із 2017, що вказує на збільшення попиту на продукцію цього типу. У свою чергу, у Фінляндії обсяги продажів теплових насосів склали 76000 штук у 2018 році, що на 21,7% більше у порівнянні із показником 2017 року [8]. Приклад Франції та Фінляндії демонструє те, що теплові насоси є перспективним джерелом теплової енергії, які активно використовують у розвинених країнах.

Наступним етапом стане аналіз основних передумов використання теплових насосів в Україні. Як зазначалось раніше, енергетичний сектор України залежить від постачання ресурсів з-за кордону. Найбільш важливим серед них є природний газ. Слід зазначити, що за останні 3 роки ціни на нього значно збільшились не тільки в Україні. Це можна побачити на рисунку 3.

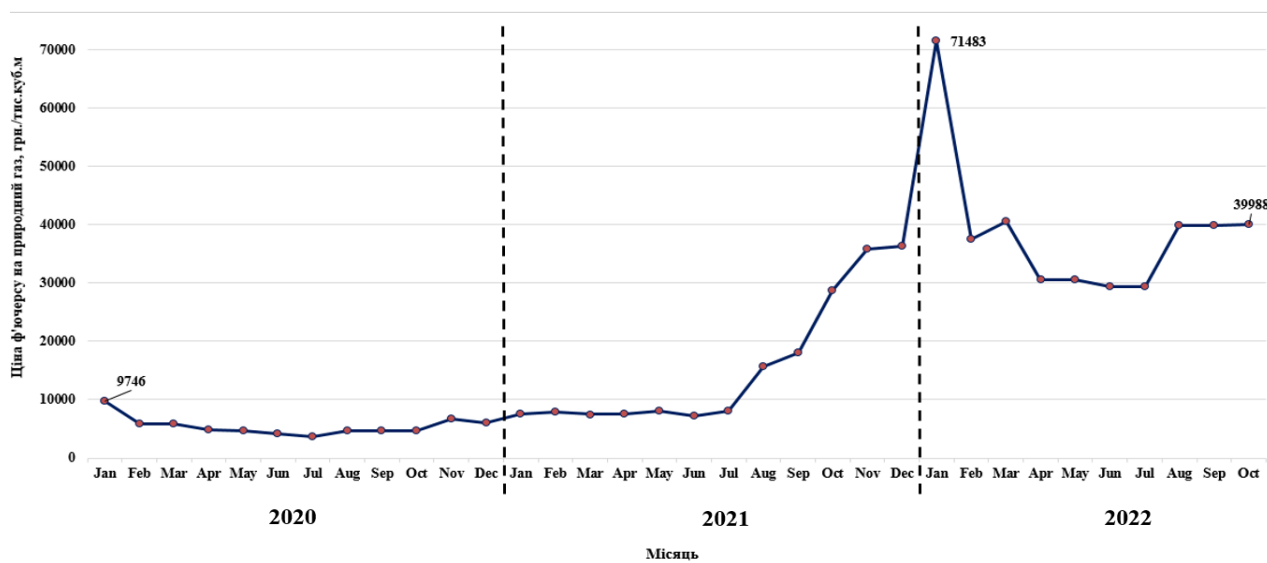


Рис. 3. Динаміка ціни на ф'ючерси на природний газ в Україні

з січня 2020 р. по жовтень 2022 р.

Джерело: сформовано на основі [10].

За період із січня 2020 р. по жовтень 2022 р. на Українській енергетичній біржі середня ціна ф'ючерсу на природний газ за місяць зросла з

9746 грн./тис. м³ до 39988 грн./тис. м³ (або у 4,1 рази), у свою чергу, максимальна ціна була зафіксована у січні 2022 р. та становила 71483 грн./тис. м³, що у 7,3 рази більше у порівнянні із ціною на початку аналізованого періоду. Необхідно також зазначити, що за період із січня 2020 року по липень 2021 року ціна на природний газ не перевищувала 10000 грн./тис. м³, але з серпня 2021 почалось різке зростання. Цей процес можна пояснити тим, що у Європі відбулось значне зростання цін на енергетичні ресурси, відповідно, це вказує на необхідність проведення аналізу ситуації у цьому.

За період з січня 2020 р. по жовтень 2022 р. середня ціна ф'ючерсу на кінець на природний газ на газовому хабі TTF (Нідерланди) зросла із 102,35 євро./тис. м³ до 1177,67 євро./тис. м³ (або у 11,5 разів). Розмір максимальної ціни склав 2517,10 євро./тис. м³, а зафіксована вона була у серпні 2022 р. Необхідно зазначити, що у Європі негативна тенденція до зростання почалась із травня 2020 р. Отже, отримані показники вказують на те, що між цінами на європейському та українському ринках існують: по-перше, тісний зв'язок і, по-друге, часовий лаг, оскільки в Європі зміни відбулись раніше. Зростання цін на газовому хабі TTF відбулось у чотири етапи, а саме [11,12]:

1. Паніка через розповсюдження COVID-19 та введення обмежень (травень 2020 – січень 2021);
2. Дефіцит природного газу в сховищах через холодну зиму 2020-2021 рр. та безвітряна погода в Північному морі (лютий – липень 2021);
3. Результати аукціону з бронювання додаткових потужностей із транзиту газу через Україну – «Газпром» викупив 15 млн. м³ на добу тільки 0,65 млн. м³ на добу та викупив лише третину від запропонованої транзитної потужності польської ділянки газопроводу Ямал-Європа (серпень 2021 - січень 2022);
4. Початок активних бойових дій на всій території України (лютий – жовтень 2022).

Зміну цін на газ у Європі можна побачити на рис.4.

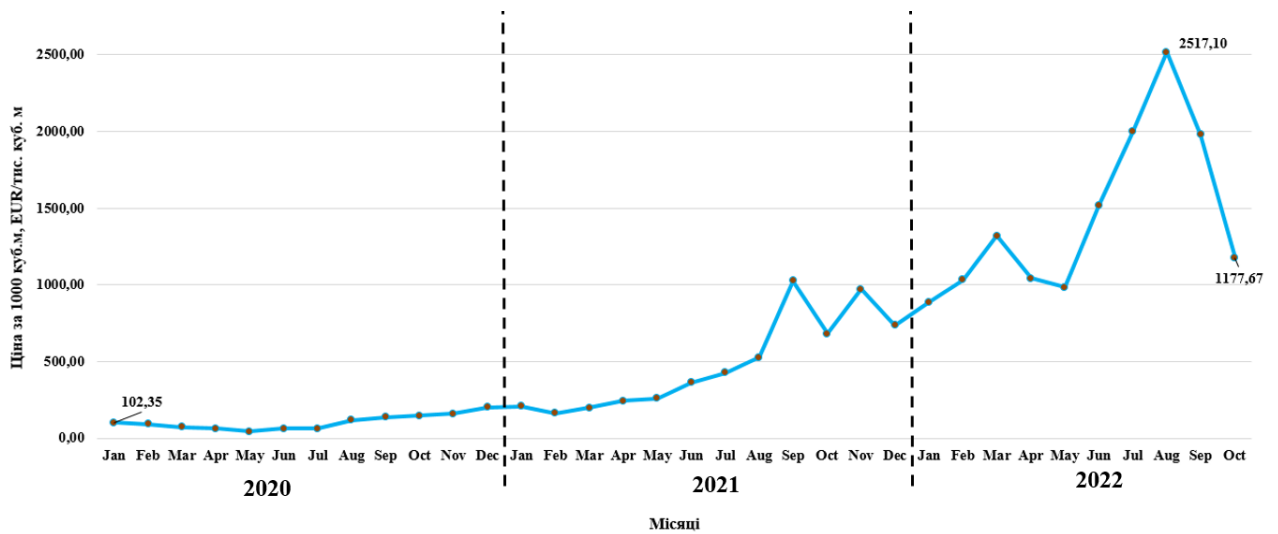


Рис. 4. Динаміка ціни на ф'ючерси на природний газ в Європі (хаб TTF) з січня 2020 р. по жовтень 2022 р.

Джерело: сформовано на основі [13].

Після аналізу природного газу, як енергетичного ресурсу та ринкової ситуації, що з ним пов'язана, необхідно провести дослідження такого показового прикладу природного ресурсу, як вугілля. Вугільна промисловість України була достатньо розвинена, однак через застарілість обладнання та відсутність модернізації було виявлено низку проблем, що виникають при переробці та видобуванні цього виду палива. Серед них можна виділити наступні: забруднення повітря, зміна геологічного, гідрологічного та гідрохімічного режимів територій на яких розташовані вугледобувні підприємства, осідання ґрунту в місцях видобутку, велика смертність працівників [2]. Це, у свою чергу, спричинило до зменшення обсягів видобутку вугілля. Негативний вплив на обсяги видобутку вугілля також стали події 2014 року та втрата великої частини Донецького вугільного басейну. Підтвердженням є статистична інформація, яка наведена на рис.5.

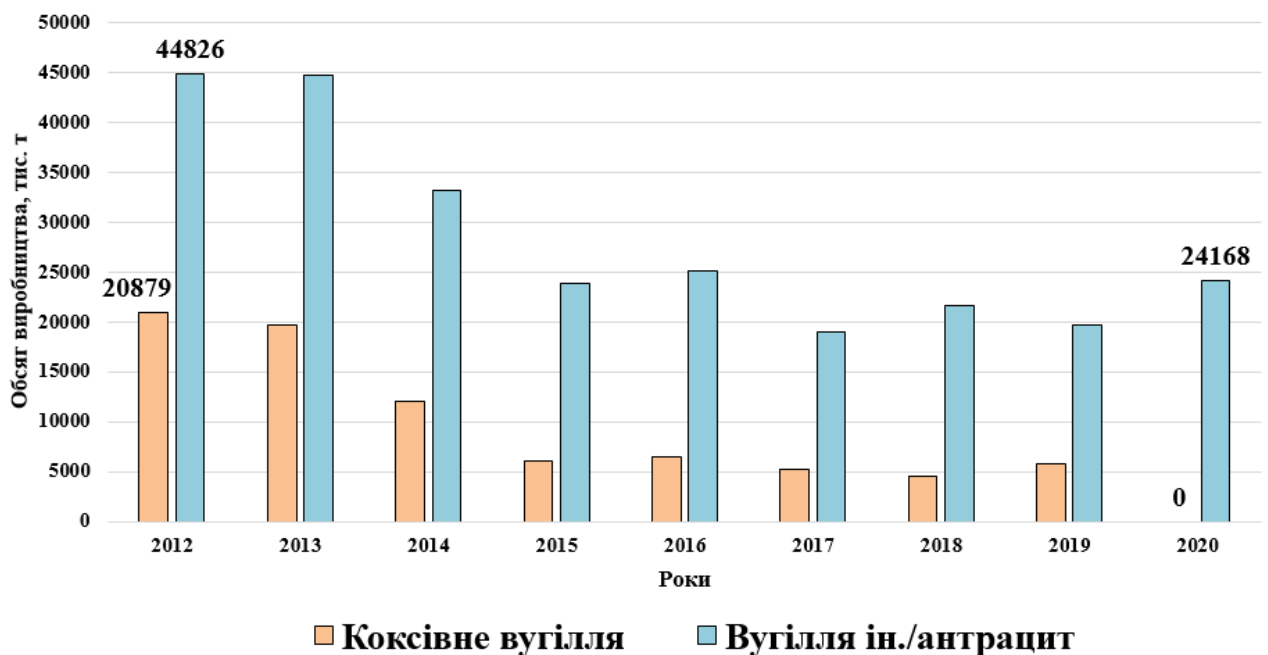


Рис. 5. Динаміка видобутку вугілля в Україні за 2012-2020 рр.

Джерело: сформовано на основі [14].

За період із 2012 р. по 2020 р. обсяги виробництва коксівного вугілля зменшились з 20879 тис. т. до 0 тис. т, а іншого вугілля/антрациту – у 1,5 рази (із 44826 тис. т до 24168 тис. т). Ці показники вказують на те, що вітчизняні ТЕС та інші підприємства, що потребують вугілля для провадження господарської діяльності потрапляють в залежність від імпорту або скорочують виробництво.

Слід зазначити, що зараз в Україні набуває поширення використання котлів, які потребують спалення твердого палива (часто використовують брикети із пресованих відходів виробництва лісового господарства). Ця частина енергетичного сектору активно зростає через розвиток українського аграрного комплексу [8]. Проте зі зміною клімату в світі та Україні на 2020 рік спостерігається велика кількість аномальних пожеж, які знищують великі площі лісних масивів [8]. У свою чергу, масова вирубка лісів, що пов'язана із експортом деревини, діяльністю целюлозно-паперової галузі національного

господарства та забезпеченням паливними ресурсами, призводить до появи значних екологічних проблем та аномалій [8]. Найбільшою з них є зменшення площ лісів та втрата значної частини лісового фонду. За період з 2012 по 2020 рр. в середньому вирубали по 409 га лісу на рік, а відтворенню підлягало в середньому приблизно по 59 га на рік. Також слід звернути увагу на те, що за аналізований період було відновлено у 6,96 разів менше площі лісів, ніж вирублено (загалом було вирублено 3684 га, а відновлено 529 га). Динаміку можна побачити на Рис. 6.

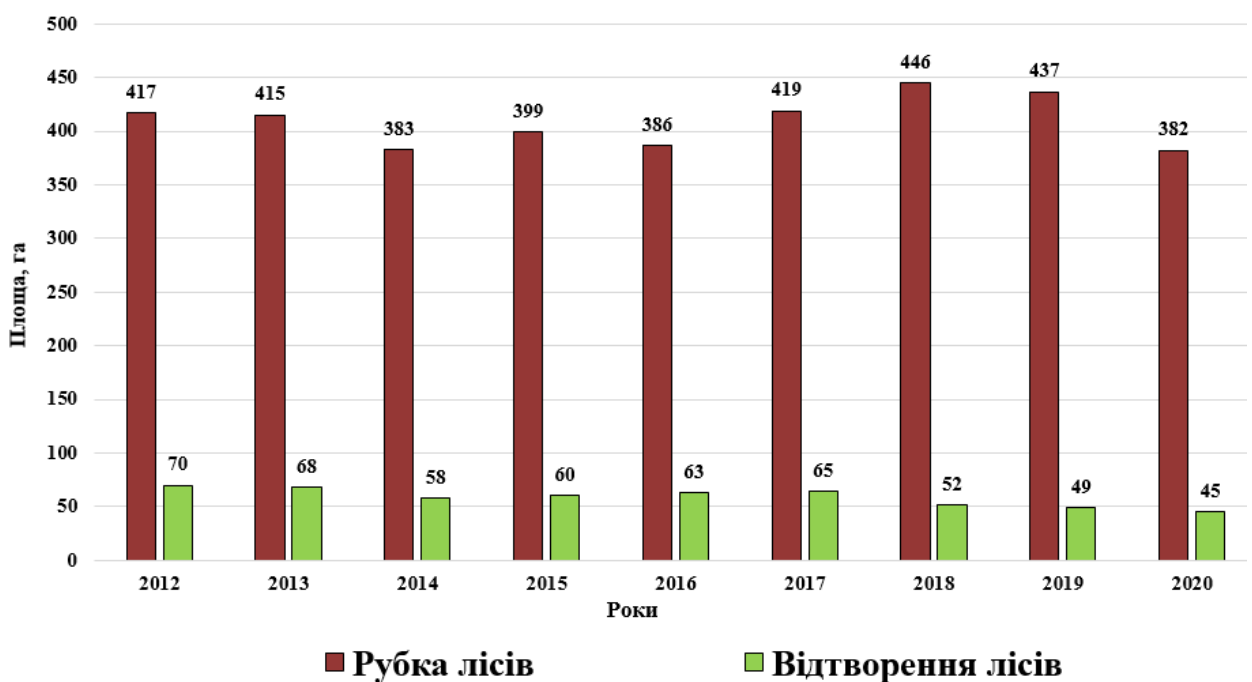


Рис. 6. Динаміка обсягів рубки та відновлення лісів за 2012-2020 рр.

Джерело: сформовано на основі [14].

Джерела теплової енергії, які були зазначені раніше мають значну кількість недоліків, що пов'язані із їх використанням. Для того, щоб зменшити витрати на придбання цих ресурсів, скоротити негативний вплив їх видобутку та використання на екологію України ми пропонуємо використовувати теплові насоси, що функціонуватимуть за рахунок енергії стічних колекторів як нового джерела, що забезпечить опалення приміщень.

Після виявлення недоліків та небезпек, що пов'язані із використанням наявних джерел теплової енергії перейдемо до опису запропонованого методу опалення. Як зазначалось раніше, для забезпечення функціонування теплонасосної установки необхідні низькопотенційні джерела теплоти (НПДТ) наприклад: атмосферне повітря або різні вентиляційні викиди, вода природних водойм та скидні води систем охолодження промислового обладнання, стічні води систем аерації, ґрунт [3].

Таблиця 1. Температурний та енергетичний рівень джерел НПДТ

Джерела теплоти	Температурний рівень джерела, С	Енергетичний рівень джерела,МВт
Природні		
Вода:		
-поверхнева	4 - 18	0,9 - 51,6
-ґрунтова	6 - 15	1 - 2
-геотермальна	35 - 70	0,29 - 3
Атмосферне повітря	-15 - 25	0,3 - 18,4
Ґрунтове середовище	4 - 12	0,1 - 5,9
Сонячна радіація	0...75	0,1...150
Техногенні		
Вода:		
-стічна	10..17	0,3...90
-технічна	15...30	2,4...10,6
-технологічна	40...70	39,5...54,9
Повітря	0...50	0,3...22,1

Джерело:[3].

За інформацією наведеною в табл. 1 умовно НПДТ можна поділити на 2 групи: природні та техногенні. Ми пропонуємо зосередити увагу саме на другій групі. Це можна пояснити тим, що природні джерела непостійні та людина не має на них впливу, що у свою чергу не можна сказати про техногенні. Відповідно, отримаємо форму теплового обороту, яку можна побачити на Рис.7.

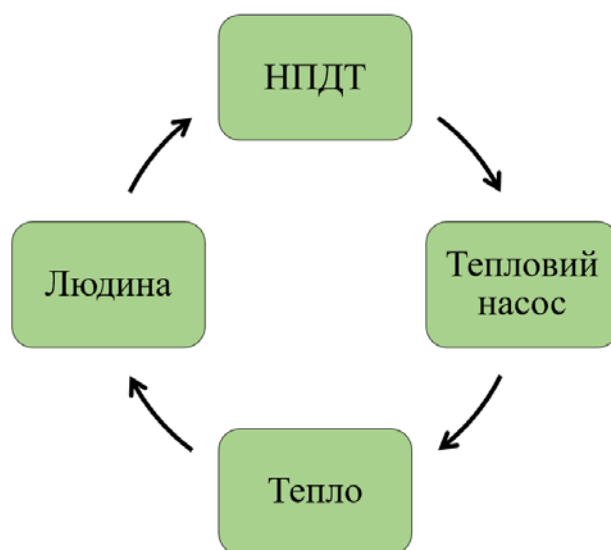


Рис. 7. Форма теплового обороту при використанні теплового насосу

Джерело: сформовано авторами.

Найбільш перспективним, на наш погляд, є енергія стічних вод, адже вона практично не використовується та має найбільший, серед техногенних джерел, енергетичний рівень – від 0,3 до 90 МВт. Необхідно також зазначити, що об'єм стічних вод в Україні становить 1507 млн. м³/рік, валовий потенціал – 46903 тис. т у.п./рік, технічний потенціал – 26988 тис. т у.п./рік, а економічно доцільний потенціал стічних вод – 18848 тис. т у.п./рік. Використання такого низькопотенційного джерела як стічні води призведе до економії природного газу в 21,9 млн. м³/рік [1].

Об'єми стічних вод та їх сумарного енергетичного потенціалу можна побачити в Табл.2.

Таблиця 2. Розподіл сумарного енергетичного потенціалу стічних вод по областях України

Область	Об'єм стічних вод, млн. м ³ /рік	Сумарний енергетичний потенціал стічних вод, тис. т у.п./рік		
		Валовий потенціал	Технічний потенціал	Економічно-доцільний потенціал
Київська	310	9424	5539	3873
Дніпропетровська	231	7009	4120	2881
Одеська	211	6419	3773	2638
Харківська	198	6000	3527	2466
Львівська	122	3691	2170	1517
Донецька	78	2382	1400	979
Запорізька	65	1959	1152	805
Івано-Франківська	44	1321	777	543
Полтавська	40	1215	714	499
Хмельницька	34	1036	609	426
Миколаївська	33	993	584	408
Житомирська	32	963	566	396
Закарпатська	30	918	539	377
Вінницька	30	896	527	368
Черкаська	29	872	513	358
Херсонська	25	747	439	307
Волинська	24	726	427	298
Рівненська	23	708	416	291
Сумська	22	674	396	277
Тернопільська	21	629	370	258
Чернігівська	19	580	341	238
Кіровоградська	18	559	329	230
Чернівецька	16	480	282	197
Луганська	13	379	223	156
Усього	1507	46903	26988	18848

Джерело: [1].

У свою чергу, в умовах міста доцільно буде використовувати енергії стічних вод за допомогою стічного колектору, навколо якого необхідно укласти зовнішній контур теплового насосу, по якому циркулює розсіл, збираючи тепло колектору.

Після аналізу технологічної можливості використання теплових насосів на енергії стічних вод в Україні перейдемо до розрахунку екологічної та економічної ефективності використання теплових насосів.

Для початку проаналізуємо витрати енергії на утримання геотермального теплового насосу на енергії стічного колектору та класичних опалювальних систем, а саме: газового, електричного та твердопаливного котлів. Це буде зроблено на основі розрахунку обсягу споживання енергії на рік. Для цього буде визначено річне опалювальне навантаження, а потім за допомогою коефіцієнту енергетичної ефективності (COP) для теплового насосу та коефіцієнту корисної дії для інших. Така відмінність спричинена тим, що тепловий насос функціонує за рахунок двох джерел енергії – електроенергії та НПДТ зовнішньої середовища. Характеристику опалювальних систем та розрахунки надано в Табл.3.

Таблиця 3. Порівняльна характеристика теплового насосу зі стандартними опалювальними системами та розрахунок споживання енергії

Система опалення	Тепловий насос (ТН)	Газовий котел (ГК)	Електричний котел (ЕК)	Твердопаливний котел (ТК)
Модель	Bosch Compress 6000 17 LW	Bosch Gaz 6000 W WBN 6000 18C RN	Bosch Tronic Heat 3500 18 ErP	Котел Купер-18
Теплова потужність, кВт	18	18	18	18
Час роботи, годин	2 470	2 470	2 470	2 470
Річне опалювальне навантаження, кВтг	44460	44460	44460	44460
COP	3,5	-	-	-
ККП, %	-	93,2	99,7	75
Споживання енергії за рік, кВтг	12703	41437	44327	33345

Джерело: Систематизовано, узагальнено та згруповано за даними [5,15-18].

Опираючись на розрахунки в Табл. 3, можна зробити висновок, що найменше споживання енергії на рік спостерігається у теплових насосів – 12703 кВтг, на другому місці твердопаливний котел зі споживанням в 33345 кВтг, потім йде газовий котел – 41437 кВтг, а найменш економним є електричний котел, його обсяг споживання енергії складає 44327 кВтг. Таким чином за 20 років використання теплового насосу у порівнянні із газовим,

електричним та твердопаливним котлами економія енергії складатиме 575, 1141 та 413 кВтг відповідно, що можна побачити на рис.8.

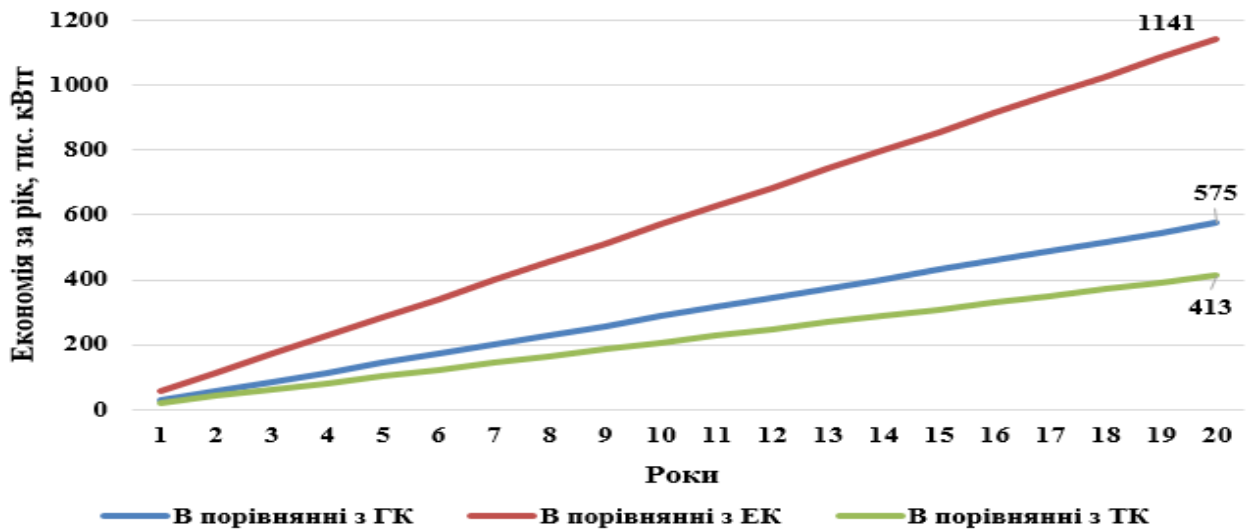


Рис.8. Економія енергії за 20 років від застосування теплового насосу в порівнянні зі стандартними опалювальними системами

Джерело: сформовано на основі [5,15-18].

Перейдемо до аналізу економічності. Потрібно зазначити, що ціни за енергоносії були взяті для м. Київ та Київської обл. Ціни та результати розрахунків наведено в табл.4.

Таблиця 4. Порівняльна характеристика витрати при експлуатації теплового насосу зі стандартними опалювальними системами

Система опалення	Тепловий насос (ТН)	Газовий котел (ГК)	Електричний котел (ЕК)	Твердопаливний котел (ТК)
Ціна, грн.	361 596	24 700	35 490	15 300
Джерело енергії	Електроенергія, НПДГ	Природний газ	Електроенергія	Дрова
Потреба на рік	12702,86 кВтг	5187,00 м ³	44326,62 кВтг	22,70 м ³
Ціна 1 енергоносія, грн.	1,44	8,844	1,44	2100
Витрати при експлуатації, грн./рік	21 281	45 874	74 409	47 664

Джерело: Систематизовано, узагальнено та згруповано за даними [5,15-22]

Як можна побачити в табл.4, серед усіх опалювальних систем найдорожчим є тепловий насос – 361596 грн., але витрати на експлуатацію найменші й становлять 21281 грн./рік. Такі значення для теплового насосу можна пояснити тим, що їх виробництво є доволі складним процесом, яке потребує великої кількості часу та матеріалів, але під час експлуатації необхідними є наявність безкоштовного низькопотенційного джерела теплоти та електроенергії для роботи компресора.

У розрізі аналізу окупності необхідно також дослідити терміни окупності теплового насосу, який доцільно розрахувати за рахунок річної економії відносно класичних систем опалення, які було проаналізовано раніше.

На основі розрахунків наведених в Табл.4 можна розрахувати величину накопиченої недисконтованої економії при сталих цінах на енергоносії за 20 років по рокам. Цей показник було обрано через те, що в умовах нестабільного політичного та економічного середовища майже неможливо спрогнозувати рівень інфляції, який у цьому випадку доречно використовувати за ставку дисконтування. Відповідно, будемо використовувати недисконтоване значення. Результати розрахунків можна побачити на рис. 9.

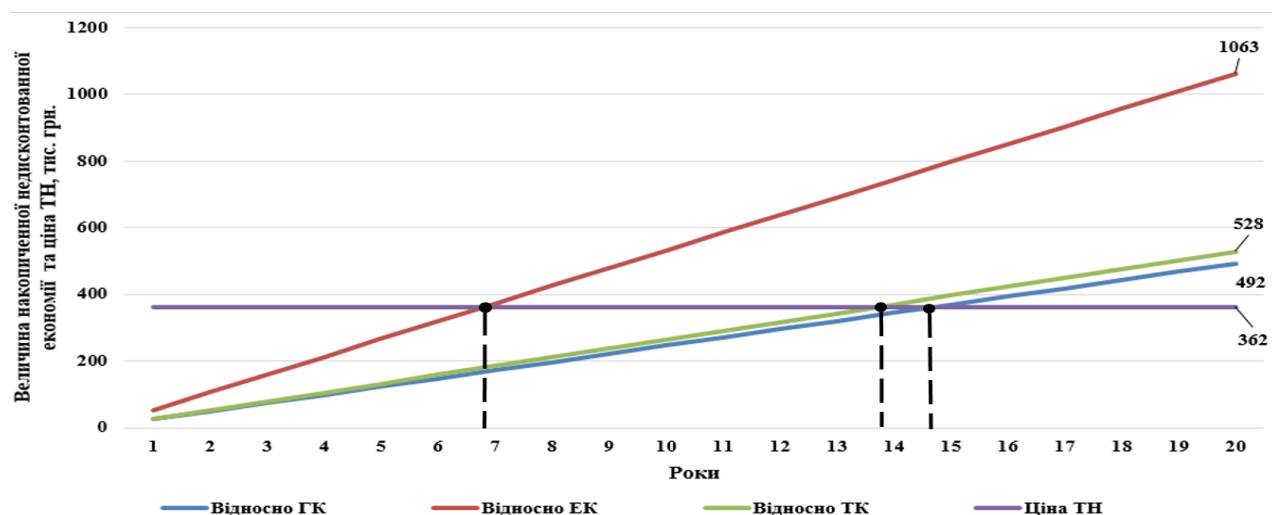


Рис. 9. Терміни окупності теплового насосу на основі економії коштів від застосування стандартних систем опалення

Джерело: сформовано на основі [5,15-22].

За 20 років економія від використання теплового насосу відносно електричного котлу становить 1063 тис. грн., а термін окупності 6,8 років. У свою чергу, економія від газового та твердопаливного котлів відповідно складає 492 та 528 тис. грн., а терміни окупності – 13,7 та 14,7 років.

Розрахунки показали, що термін окупності теплового насосу у порівнянні із системами опалення, що використовують газ та дрова як паливо, є значно більшим. Однак, важливим є той факт, що через дефіцит природного газу та недостатнього обсягу генерації електроенергії в Україні із кожним роком економія від використання теплового насосу буде збільшуватись, що позитивно вплине на недисконтований термін окупності. Щодо твердопаливних котлів, то їх використання стає недоцільним в умовах всесвітнього тренду до екологізації через забруднення навколишнього середовища, а також їх нераціонально використовувати в містах через незручність та вогнебезпечність.

Після проведення дослідження теплових насосів та порівняння їх із стандартними джерелами теплової енергії, необхідно виділити їх переваги. Загалом можна виділити наступні:

1. Економічність – теплові насоси у порівнянні із іншими способами генерації теплової енергії потребують найменших витрат на обслуговування;
2. Екологічність – теплові насоси використовують НПДТ, таким чином вони не забруднюють навколишнє середовище.
3. Надійність – зараз пристрої цього типу досягли високого рівня конструктивної міцності, який забезпечує надзвичайну довговічність [21].

У рамках аналізу було проведено соціологічне дослідження, а саме опитування серед населення, яке потенційно може використовувати теплові насоси. Питання, варіанти відповідей на них та результати можна побачити в табл.5.

Таблиця 5. Соціологічне дослідження щодо доцільності теплових насосів в Україні та його результати

№	Відповіді		
1	Яким видом опалення Ви користуєтесь?		
	Централізоване	Автономне	
	67,4%	32,6%	
2	Чи задовольняє Вас цей вид опалення?		
	Переважно так	Переважно ні	
	75,6%	24,4%	
3	Який рівень температури в приміщенні взимку для Вас задовільний?		
	До 20°C	Від 20°C до 25°C	Більше 25°C
	16,3%	74,4%	9,3%
4	Яку частку бюджету займають витрати на опалення?		
	Меншу частину	Більшу частину	Не звертаю на це увагу
	43,0%	40,7%	16,3%
5	Як ви відноситеся до альтернативних джерел отримання тепла?		
	Негативно	Позитивно	Байдуже
	5,8%	81,4%	12,8%
6	Чи зацікавлені Ви у встановленні інноваційної системи опалення?		
	Так	Ні	Байдуже
	73,2%	12,8%	14,0%
7	Чи знаєте Ви щось про теплові насоси?		
	Не цікавився(-лась) цим	Маю уявлення	
	54,7%	45,3%	

Джерело: сформовано авторами.

Результати опитування свідчать про те, що більша частина респондентів (67,4%) користується централізованим опаленням.

Необхідно також зазначити, що більшість опитованих задоволена своїм видом опаленням, що з одного боку може вказувати на незацікавленість споживачів до теплових насосів, але якщо проаналізувати результати наступного питання – для 74,4% респондентів комфортна температура у кімнаті знаходиться у діапазоні від 20°C до 25°C, то можна впевнитись, що респонденти не усвідомлюють проблем із опаленням у нашій країні.

У 2022-2023 опалювальному сезоні влада планує забезпечити за рахунок централізованого опалення температуру в приміщеннях на рівні 18°C, що у свою чергу свідчить про те, що для більшості респондентів така температура

буде незадовільною [23]. Щодо автономного опалення, то його вартість теж буде зростати внаслідок дефіциту природного газу. Отже, спираючись на те, що, по-перше, у 81,4% респондентів мають позитивне відношення до альтернативних джерел отримання тепла, а по-друге, 73,2% опитуваних зацікавлені у встановленні інноваційної системи опалення, то можна зробити висновок, що теплові насоси зацікавлять населення України. Однак, для просування цієї опалювальної системи необхідно провести кампанію із популяризації цього пристрою, адже практично половина респондентів, а саме 45,3%, не має уявлення про теплові насоси.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Отже, аналіз стічних вод, як джерела енергії, та теплових насосів, як спосіб перетворення потенційної енергії у теплову, показав, що їх використання може частково вирішити проблему дефіциту енергетичних ресурсів в Україні. Було виявлено високий потенціал стічних вод за областями та Україні в цілому. На основі порівняння теплового насосу зі стандартними джерелами енергії було виявлено наступні переваги аналізованого приладу: економічність, екологічність та надійність. Також було проведено соціологічне дослідження яке показало, що українці зацікавлені у використанні теплових насосів, як джерел теплової енергії.

Література

1. Єфремова О. О. Енергетичний потенціал стічних вод України в розрізі областей. «VinSmartEco»: зб. матеріалів II Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 трав. 2021 р., м. Вінниця, Україна) / за наук. ред. О. В. Мудрака. Вінниця: КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», 2021. С. 114-116. URL: <http://elar.khmnpu.edu.ua:8080/handle/123456789/11031>
2. З. С. Сірко, В. А. Коренда, І. Ю. Вишняков, О. С. Протасов, С. М. Охріменко, Н. Л. Цірень. Використання теплових насосів для опалення та гарячого водопостачання будівель підприємств на прикладі установок

Helioterm. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2020., № 5.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2020_5_18

3. Шубенко В. О., Кухарець С. М. Використання низькотемпературних джерел енергії та їх перетворювачів. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / відп. ред. О. В. Скидан. Київ : Центр учбової літератури, 2014. С. 240–261. URL: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/3962/1/PerspAltEn_2014_240-261.pdf

4. Ришард Титко, Калініченко А.В., Калініченко В.М. Ефективність використання теплового насосу типу «повітря – вода» у системах тепlopостачання. Вісн. Полтав. держ. аграр. акад. Полтава, 2011. № 1. С. 158–162. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/01/158.pdf>

5. D. Oppelt, M. Banja, S. Anashkin, O. Khomenko. Market study on mitigation potential for heat pump and commercial refrigeration equipment in Ukraine. HEAT GmbH, Königstein, 2020, 33 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/344387802_Market_study_on_mitigation_potential_for_heat_pump_and_commercial_refrigeration_equipment_in_Ukraine

6. Maslow, A. H. (1970). Motivation and Personality. New York, NY: Harper & Row Publishers. <https://www.holybooks.com/wp-content/uploads/Motivation-and-Personality-Maslow.pdf>

7. Гашо Е.Г., Козлов С.А., Пузаков В.С., Разорёнов Р.Н., Свешников Н.И., Степанова М. В. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание. Москва: Издательство «Перо», 2016. 204 с. URL: <https://mpei.ru/personal/Lists/CadrePapers/Attachments/2000/%D0%92%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D1%87%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F.pdf>

8. Опанасюк, І. Ю. Ефективність теплонасосних систем повітряного опалення і вентиляції з різними засобами утилізації вентиляційних викидів: магістерська дис.: 144 Теплоенергетика / Опанасюк Ірина Юріївна. – Київ, 2020. – 104 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/33713/1/Opanasyuk_Iryna_magistr.pdf

9. Офіційний сайт The European Heat Pump Association. URL: <https://www.ehpa.org/>
10. Офіційний сайт Української енергетичної біржи. URL: <https://www.ueex.com.ua/>
11. Биржевая цена на газ в Европе установила новый рекорд. URL: <https://www.rbc.ru/business/29/09/2021/6154936d9a79472a482fb4b6>
12. Как в 2021-м биржевые цены на газ побили все рекорды и вызвали рост инфляции. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/451215-kak-v-2021-m-birzevye-ceny-na-gaz-pobili-vse-rekordy-i-vyzvali-rost-inflacii>
13. Фінансова платформа Investing.com. URL: <https://ru.investing.com/> (дата звернення: 01.10.2022);
14. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
15. Тепловий насос Compress 6000 LW. URL: <https://www.buderus.com/ua/uk/ocs/compress-6000-lw-18527637-p/>
16. Газовий котел BOSCH GAZ 6000 W WBN 6000-18C RN. URL: <https://bosch-market.com.ua/gazovye-kotly-bosch/bosch-gaz-6000-w-wbn-6000-18c-rn>
17. Електричний котел Bosch Tronic Heat 3500 18 UA ErP. URL: <https://bosch-market.com.ua/elektricheskie-kotly-bosch/bosch-tronic-heat-3500-18-ua-erp>
18. Котел сталевий твердопаливний KUPER-18. URL: <https://kuper.ua/uk/product/kuper-18>
19. Тарифи на електроенергію у 2022 році. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/index.php/>
20. Тарифи на газ для населення. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/>
21. Дрова дубові колоті. URL: <https://drova-kiev.com.ua/drova/kolotyedrova/drova-dubovye>
22. Опис теплових насосів. URL: <https://www.geoteplo.com.ua/overview.html>

23. Опалювальний сезон: яка мінімальна температура у приміщеннях у країнах Європи. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/10/20/infografika/suspilstvo/opalyuvalnyj-sezon-yaka-minimalna-temperatura-prymishhennyah-krayinax-yevropy>

References

1. Efremova, O. O. (2021), “Energy potential of wastewater in Ukraine by region”, «*VinSmartEco*»: II Mizhnar. nauk.-prakt. konf. [II International scientific and practical conference], available at: <http://elar.khmnu.edu.ua:8080/handle/123456789/11031> (Accessed 20 November 2022).

2. Sirko, Z. S., Korenda, V. A., Vyshniakov, I. Yu., Protasov, O. S., Okhrymenko, S. M. and Syren, N. L. (2020), “Use of heat pumps for heating and hot water supply of enterprise buildings on the example of Heliotherm installations”, *Naukovi dopovidi Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, [Online], vol. 5, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2020_5_18 (Accessed 20 November 2022).

3. Shubenko, V. O., Kukharets, S. M. (2014), “Use of low-temperature energy sources and their converters”, *Perspektyvy rozvytku al'ternatyvnoi enerhetyky na Polissi Ukrainy*, [Online], available at: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/3962/1/PerspAlEn_2014_240-261.pdf (Accessed 20 November 2022).

4. Ryshard Tytko, Kalinichenko A.V. and Kalinichenko V.M. (2011), “The efficiency of using an air-to-water heat pump in heat supply systems”, *Visn. Poltav. derzh. ahrar. Akad.*, [Online], vol. 1, available at: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/01/158.pdf> (Accessed 20 November 2022).

5. Oppelt D., Banja M., Anashkin S. and Khomenko O. (2020), “Market study on mitigation potential for heat pump and commercial refrigeration equipment in Ukraine”, HEAT GmbH, Königstein, Germany, available at: https://www.researchgate.net/publication/344387802_Market_study_on_mitigation_potential_for_heat_pump_and_commercial_refrigeration_equipment_in_Ukraine (Accessed 20 November 2022).

6. Maslow, A. H. (1970), *Motivation and Personality*, Harper & Row Publishers, New York, USA.
7. Hasho, E.H., Kozlov, S.A., Puzakov, V.S., Razorionov, R.N., Sveshnykov, N.Y. and Stepanova, M. V. (2016), *Teplovye nasosy v sovremennoj promyshlennosti y kommunal'noj ynfrastrukture* [Heat pumps in modern industry and public infrastructure], Yzdatel'stvo «Pero», Moscow.
8. Opanasiuk, I. Yu. (2020), “Efficiency of heat pump systems of air heating and ventilation with various means of disposal of ventilation emissions”, Abstract of Master degree dissertation, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, available at: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/33713/1/Opanasyuk_Iryna_magistr.pdf (Accessed 20 November 2022).
9. The Official site of The European Heat Pump Association (2022), available at: <https://www.ehpa.org/> (Accessed 5 November 2022).
10. The Official site of Ukrainian Energy Exchange (2022), available at: <https://www.ueex.com.ua/> (Accessed 5 November 2022).
11. RBK (2021), “The exchange price of gas in Europe has set a new record”, available at: <https://www.rbc.ru/business/29/09/2021/6154936d9a79472a482fb4b6> (Accessed 5 November 2022).
12. Forbes (2021), “How in 2021, exchange gas prices broke all records and caused inflation to rise”, available at: <https://www.forbes.ru/biznes/451215-kak-v-2021-m-birzevye-ceny-na-gaz-pobili-vse-rekordy-i-vyzvali-rost-inflacii> (Accessed 5 November 2022).
13. Financial platform Investing.com (2022), available at: <https://ru.investing.com/> (Accessed 5 November 2022).
14. The Official site of State Statistics Service of Ukraine (2022), available at: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (Accessed 9 November 2022).
15. Buderus (2022), “Heat pump Compress 6000 LW”, available at: <https://www.buderus.com/ua/uk/ocs/compress-6000-lw-18527637-p/>

16. Bosch-Market (2022), “Gas boiler BOSCH GAZ 6000 W WBN 6000-18C RN”, available at: <https://bosch-market.com.ua/gazovye-kotly-bosch/bosch-gaz-6000-w-wbn-6000-18c-rn> (Accessed 9 November 2022).
17. Bosch-Market (2022), “Electric boiler Bosch Tronic Heat 3500 18 UA ErP”, available at: <https://bosch-market.com.ua/elektricheskie-kotly-bosch/bosch-tronic-heat-3500-18-ua-erp> (Accessed 9 November 2022).
18. Kuper (2022), “Solid fuel steel boiler KUPER-18”, available at: <https://kuper.ua/uk/product/kuper-18> (Accessed 9 November 2022).
19. MinfinMedia (2022), “Electricity tariffs in 2022”, available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/index.php/> (Accessed 9 November 2022).
20. MinfinMedia (2022), “Gas tariffs for the population”, available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/> (Accessed 9 November 2022).
21. Drova Kyiv (2020), “Chopped oak firewood”, available at: <https://drova-kyiv.com.ua/drova/kolotye-drova/drova-dubovye> (Accessed 9 November 2022).
22. GeoTeplo (2022), “Description of heat pumps”, available at: <https://www.geoteplo.com.ua/overview.html> (Accessed 9 November 2022).
23. SlovoiDilo (2022), “Heating season: what is the minimum indoor temperature in European countries”, available at: <https://www.slovoidilo.ua/2022/10/20/infografika/suspilstvo/opalyuvalnyj-sezon-yaka-minimalna-temperatura-prymishhennyax-krayinax-yevropy> (Accessed 15 November 2022)

Стаття надійшла до редакції 13.12.2022 р.