

УДК 620.92:66.045.3:624.131.6.

Г.М.Забарний, докт.техн.наук, З.В.Маслюкова, Г.Г.Дідківська (Ин-т відновлюваної енергетики НАН України, Київ), А.І.Примак, канд.техн.наук (Європейський ун-т, Київ)

Оцінка енергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі теплових насосів, що використовують низькопотенційну енергію ґрунту, повітря та підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів

Наведено методику оцінки теплоенергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі теплових насосів, що використовують низькопотенційну енергію ґрунту, повітря та підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів. Надані результати оцінки технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу зазначених систем та об'єми зменшення викидів CO₂ за рахунок їх використання.

Приведена методика оценки теплоэнергетического потенциала систем теплоснабжения на основе тепловых насосов, которые используют низкопотенциальную энергию грунта, воздуха и подземных вод близкозалегающих водоносных горизонтов. Изложены результаты оценки технически доступного теплоэнергетического потенциала указанных систем и объемы уменьшения выбросов CO₂ за счет их использования.

Одним із розповсюджених джерел енергії є енергія навколишнього середовища, яка представлена теплотою повітря, ґрунту, поверхневих та підземних вод. Практичне використання цієї енергії в основному здійснюється шляхом підвищення за допомогою теплових насосів її теплоенергетичного потенціалу до кондицій, які дозволяють

використовувати цей потенціал у системах теплопостачання. Зазначені системи теплопостачання на основі теплових насосів широко застосовуються у світі. Їх кількість зростає з кожним роком. На рис. 1 наведені обсяги продажу теплових насосів для систем теплопостачання у деяких країнах Європи [1].

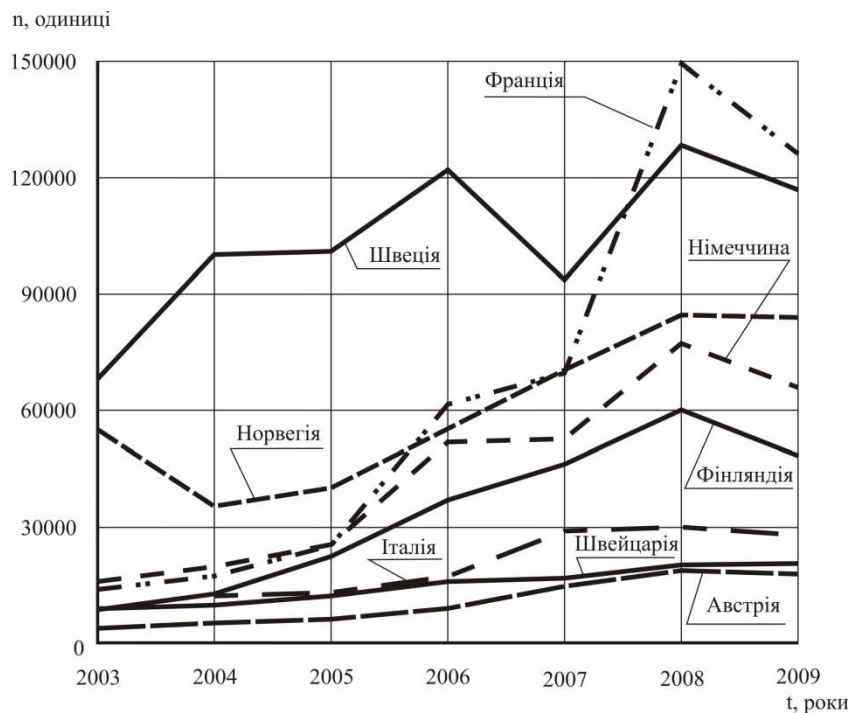


Рис. 1. Обсяги продажу теплових насосів у деяких країнах Європи [1].

Як видно з наведеного рисунка, за період з 2003 по 2009 рік обсяги продажу теплових насосів у країнах Європи зросли у 1,5 (Норвегія) – 9,2 (Франція) разів, що свідчить про зростання потужності та відповідно кількості систем теплопостачання на основі використання енергії навколишнього середовища.

На жаль в Україні практичне використання енергії навколишнього середовища в системах теплопостачання з тепловими насосами не вийшло на суттєвий промисловий рівень. Тому метою даної роботи є визначення перспектив створення в Україні зазначених систем на основі оцінки їх технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу.

При виконанні оцінки технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу прийнято наступне:

1. Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал розраховується тільки для систем теплопостачання, тобто систем опалення та гарячого водопостачання.

2. Для підвищення теплоенергетичного потенціалу енергії навколишнього середовища використовуються теплові насоси компресійного типу.

3. Для експлуатації теплових насосів витрачається електроенергія, яку можливо додатково виробити на існуючих в Україні енергогенеруючих потужностях.

Під технічно досяжним теплоенергетичним потенціалом систем теплопостачання на основі енергії навколишнього середовища, в яких використовуються теплові насоси, розуміється кількість теплової енергії, яку можливо отримати за прийнятих вище умов за допомогою теплонасосного обладнання, що має характерний для сього-

дення коефіцієнт перетворення енергії. Слід підкреслити, що даний технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем теплопостачання на основі енергії навколишнього середовища за своєю фізичною сутністю включає в себе як теплоту, отриману за рахунок термотрансформації теплоти низькопотенційного джерела енергії, так і теплоту, отриману при піднятті теплоенергетичних параметрів робочого тіла за рахунок його стиснення у компресорі теплового насоса. Враховуючи те, що для роботи компресора використовується електроенергія, яка генерується завдяки спалюванню

традиційного палива, технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем теплопостачання на основі енергії навколишнього середовища пропонується визначити за формулою:

$$E_{\text{т.д.}} = \frac{860 \cdot (E_{\text{теп}} - E_{\text{теп}}^{\text{ел}})}{\xi_{\text{у.п.}}}, \quad (1)$$

де $E_{\text{т.д.}}$ – технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем теплопостачання на основі енергії навколишнього середовища, в тоннах умовного палива; $\xi_{\text{у.п.}}$ – теплота згоряння умовного палива, дорівнює 7000 ккал/кг; 860 – перевідний коефіцієнт теплових одиниць, що має розмірність ккал/кВт·год; $E_{\text{теп}}$ – теплова енергія, що виробляється за допомогою теплонасосного обладнання. Обчислюється за формулою:

$$E_{\text{теп}} = G \cdot \square, \quad (2)$$

де G – кількість електроенергії, що витрачається на роботу компресора теплового насоса; \square – коефіцієнт перетворення теплового насоса; $E_{\text{теп}}^{\text{ел}}$ – теплова енергія що витрачається на генерацію електроенергії, яка споживається компресором теплового насоса. Обчислюється за формулою:

$$E_{\text{теп}}^{\text{ел}} = \frac{G}{\kappa}, \quad (3)$$

де κ – коефіцієнт корисної дії електрогенеруючого обладнання.

Слід підкреслити, що коефіцієнт корисної дії електрогенеруючого обладнання, який входить до формули (3), можна обчислити, застосовуючи наступну відому формулу [2]:

$$V_{\text{у.п.}} = \frac{860 \cdot g}{\xi_{\text{у.п.}} \cdot \kappa}, \quad (4)$$

звідки

$$\kappa = \frac{860 \cdot g}{V_{\text{у.п.}} \cdot \xi_{\text{у.п.}}}. \quad (5)$$

У формулах (4), (5) прийнято наступні позначення: $V_{\text{у.п.}}$ – об'єм умовного палива, що витрачається на генерацію 1 кВт·год електроенергії. Згідно прогнозів експертів Мінпаливенерго України, у зв'язку зі старінням електрогенеруючого обладнання, а також через зниження якості вугілля цей об'єм на 2011 рік у середньому по Україні становив 351,4 г у.п./кВт·год [3];

g – кількість електроенергії. Для розглянутого випадку $g = 1$ кВт·год.

Підставляючи у формулу (5) числові значення величин, отримуємо:

$$k = \frac{860 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \cdot 1 \text{ кВт} \cdot \text{год}}{0,3514 \text{ кг} \cdot 7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}} = 0,35.$$

Коефіцієнт перетворення теплового насоса, що входить до формули (2), обчислюється за такою відомою формулою [4]:

$$\varphi = 0,74 \frac{T_{\text{р.т.}}^{\text{в}}}{T_{\text{р.т.}}^{\text{к}} - T_{\text{р.т.}}^{\text{в}}} - \left(0,0032 \cdot T_{\text{р.т.}}^{\text{в}} + 0,765 \cdot \frac{T_{\text{р.т.}}^{\text{в}}}{T_{\text{р.т.}}^{\text{к}}} \right) + 0,9, \quad (6)$$

де $T_{\text{р.т.}}^{\text{к}}$ – температура конденсації робочого тіла в градусах Кельвіна. Визначається в залежності від технічних характеристик робочого тіла. Згідно [4] може бути прийнятою 60°C або 333°K [4]; $T_{\text{р.т.}}^{\text{в}}$ – температура випаровування робочого тіла, що використовується у теплому насосі, в градусах Кельвіна. Обчислюється за формулою:

$$T_{\text{р.т.}}^{\text{в}} = T_{\text{теп}}^{\text{вх}} - \Delta T, \quad (7)$$

де $T_{\text{теп}}^{\text{вх}}$ – середня за опалувальний період температура проміжного теплоносія, що надходить у випаровувач від джерела низькопотенційної теп-

лоти; ΔT – температурний перепад у випаровувачі, тобто різниця між максимальною температурою, що може бути досягнута всередині випаровувача завдяки знаходженню теплоти від низькопотенційного джерела, та температурою випаровування робочого тіла. Згідно [4] може дорівнювати 3°C .

У зв'язку з тим, що в даній роботі розглядаються три джерела низькопотенційної енергії навколишнього середовища, в подальших дослідженнях прийнято наступне: $T_{\text{теп}}^{\text{вх}} = 8,1^{\circ}\text{C}$ (теплота ґрунту), $T_{\text{теп}}^{\text{вх}} = 10^{\circ}\text{C}$ (теплота води приповерх-

невого водоносного горизонту); $T_{\text{теп}}^{\text{вх}} = 18^{\circ}\text{C}$ (теп-

лота повітря). Згідно з розрахунками за формулою (6) для перелічених вище джерел низькопотенційної енергії, коефіцієнт перетворення теплового насоса буде відповідати наведеному на рис. 2.

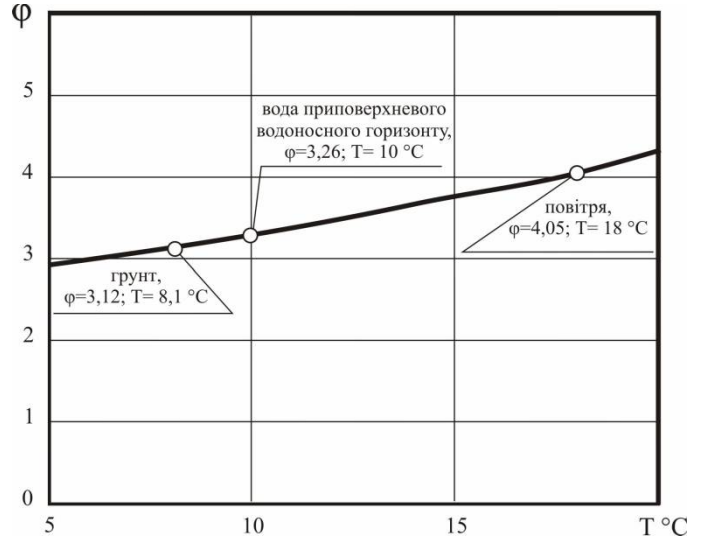


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта перетворення теплового насоса від температури джерела низькопотенційної енергії.

В якості прикладу розрахунків коефіцієнта перетворення теплового насоса за формулою (6) наведемо алгоритм його обчислення для системи теплопостачання на основі теплоти ґрунту. Тоді маємо:

$$T_{\text{р.т.}}^{\text{в}} = 8,1^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C} = 5,1^{\circ}\text{C}, \text{ або } 278,1^{\circ}\text{K};$$

$$\varphi = 0,74 \frac{278,1^{\circ}\text{K}}{333^{\circ}\text{K} - 278,1^{\circ}\text{K}} - \left(0,0032 \cdot 278,1^{\circ}\text{K} + 0,765 \cdot \frac{278,1^{\circ}\text{K}}{333^{\circ}\text{K}} \right) + 0,9 = 3,12.$$

Для оцінки технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу за формулами (1)–(3) необхідно мати кількість електроенергії, яку можна витратити на експлуатацію привода компресора теплових насосів, тобто величину G . Для визначення цієї кількості в масштабах України розглянемо графіки, наведені на рис. 3 та 4. Крива 1 на рис. 3 характеризує можливе генерування електроенергії при повному завантаженні протягом 7500 год/рік усіх наявних в Україні електрогенеруючих потужностей, які згідно роботи [5] на

2011 рік становили 53,2 тис. МВт. Тоді маємо наступне:

$$G = 53,2 \text{ тис. МВт} \cdot 7500 \text{ год} = 399 \text{ млн МВт} \cdot \text{год}.$$

Крива 2 на рис. 3 показує фактичне виробництво електроенергії в Україні за 2005-2010 роки [5]. Аналіз графіків на рис. 3 дозволяє стверджувати, що в Україні з використанням існуючих потужностей можливо в цілому генерувати майже у 2 рази більше електроенергії, ніж генерується зараз. Разом з тим, при оцінці кількості електроенергії, яку можливо витратити на експлуатацію теплових насосів для систем теплопостачання на основі енергії навколишнього середовища, визначальним є не можливий середньорічний виробіток електроенергії, а графік добового навантаження існуючих потужностей. Цей графік, запозичений із роботи [6], наведено на рис. 4. Як видно з цього графіка, максимальне добове навантаження енергосистеми України становить біля 29 тис. МВт. Співставляючи це навантаження із встановленою потужністю електрогенеруючого обладнання України у 2010 році (53,2 тис. МВт), можна стверджувати, що українська енергосистема має резерв потужностей у кількості:

$$\Delta N = 53,2 \text{ тис. МВт} - 29 \text{ тис. МВт} = 24,2 \text{ тис. МВт}.$$

G, млн МВт·год/рік

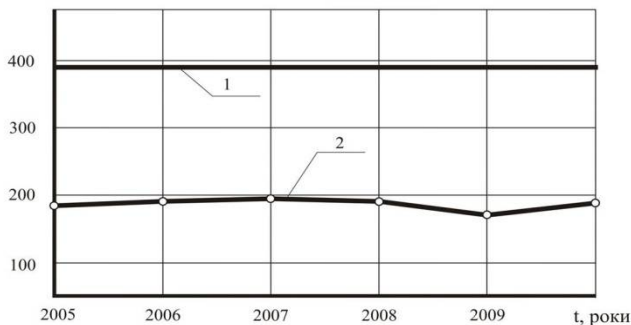


Рис. 3. Графік зміни у часі значень можливого та фактичного виробництва електроенергії в Україні за період 2005-2010 років [5]: 1 – можливе виробництво електроенергії; 2 – фактичне виробництво електроенергії.

Незважаючи на обчислений значний резерв потужностей, їх повне використання для виробництва електроенергії, яку можливо було б задіяти для роботи теплових насосів, є проблематичним. Це пов'язано з поганим технічним станом багатьох електростанцій, потребами заміни застарілого та спрацьованого обладнання, поточного та капітального ремонту. За результатами робіт [7–9] та оцінками експертів, в Україні можна до-

датково задіяти не більше 5 тис. МВт електричних потужностей. Ці потужності й слід розглядати в якості джерела електроенергії для забезпечення роботи теплових насосів.

На даний час у світі існує досвід застосування теплових насосів у системах теплопостачання на основі низькопотенційної теплової енергії повітря, річкової або морської води, ґрунту, скидних або термальних вод. У роботі [10] на основі аналізу європейського досвіду доведено, що для роботи теплових насосів, які використовують теплоту підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів і теплоту повітря, витрачається біля 50% всієї електроенергії, яка споживається працюючими тепловими насосами (по 25% на кожне джерело низькопотенційної енергії). Для роботи теплових насосів, які використовують теплоту ґрунту, витрачається біля 50% електроенергії, що споживається. Тому при подальших дослідженнях прийнято, що для експлуатації протягом опалювального періоду (тобто 4400 годин) систем теплопостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів або теплоту повітря, можна використати таку кількість електроенергії:

$$G^{\text{вод.год.}} = G^{\text{повітря}} = 5 \text{ тис. МВт} \cdot 0,25 \cdot 4400 \text{ год} = 5,5 \text{ млн МВт} \cdot \text{год}.$$

Для теплових насосів, які використовують теплоту ґрунту, ця кількість електричної енергії складає:

$$G^{\text{ґрунт}} = 5 \text{ тис. МВт} \cdot 0,5 \cdot 4400 \text{ год} = 2,5 \text{ тис. МВт} \cdot \text{год}.$$

N, тис. МВт

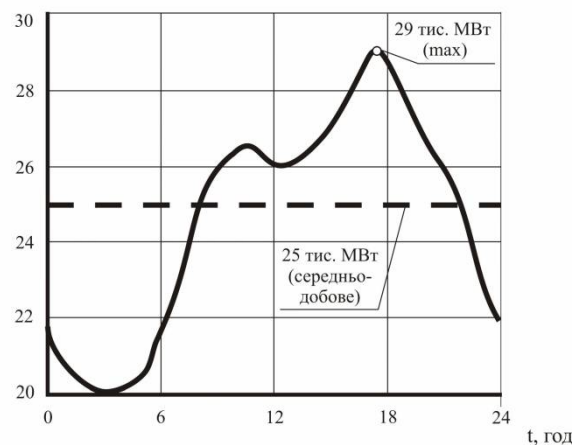


Рис. 4. Зміна середньорічного добового навантаження в енергосистемі України [6].

Наявність кількості електроенергії, що необхідна для експлуатації систем теплопостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту навколишнього середовища, дозволяє виконати безпосередню оцінку технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу цих систем. Виконаємо цю оцінку в цілому для України, застосовуючи наступний алгоритм розрахунків для кожного із низькопотенційних джерел (грунт, підземні води, повітря).

1. На основі відомостей стосовно фактичного споживання електроенергії по областях України обчислюється частка цього споживання від споживання по Україні в даній області. Таким чином із певною мірою наближення враховуються існуючі в області можливості щодо передачі та споживання електроенергії.

2. На основі отриманої частки споживання електроенергії по областях України та кількості електроенергії, яку можна використати для роботи теплових насосів, розраховується кількість електроенергії, яку можливо спожити для роботи теплових насосів у конкретній області України.

3. Задаючись розрахованою кількістю електроенергії, яку можна спожити для експлуатації теплових насосів по областях України, за формулою (1) обчислюється технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем теплопостачання на основі теплових насосів, що використовують низькопотенційну теплоту ґрунту, підземних вод чи повітря.

Результати розрахунків технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі розглянутих низькопотенційних джерел енергії по областях України наведені в таблицях 1–4.

В якості прикладу розрахунків технічно досяжного потенціалу систем теплопостачання на основі теплоти підземних приповерхневих вод наведемо алгоритм його обчислення для Вінницької області:

1. Розрахунок частки фактичного споживання електроенергії:

$$n = \frac{2934 \text{ тис.МВт}}{147483 \text{ тис.МВт}} \cdot 100\% = 1,99\%$$

2. Розрахунок електроенергії, яку можна використати для експлуатації теплових насосів:

$$G = 5500 \text{ тис. МВт} \cdot \text{год/рік} \cdot 0,0199 = 109,45 \text{ тис.МВт} \cdot \text{год/рік}$$

3. Розрахунок технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу за формулами (1)–(3):

$$E_{\text{теп}}^{\text{ел}} = \frac{109,45 \text{ тис. МВт} \cdot \text{год}}{0,35} = 312,7 \text{ тис. МВт} \cdot \text{год (теплоти)}$$

$$E_{\text{теп}} = 109,45 \text{ тис.МВт} \cdot \text{год} \cdot 3,26 = 356,8 \text{ тис.МВт} \cdot \text{год (теплоти)}$$

$$E_{\text{т.д.}} = \frac{860 \frac{\text{ккал}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} (356,8 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{год} - 312,7 \cdot 10^6 \text{ кВт})}{7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}} = 5,42 \text{ тис. т у.п.}$$

Таблиця 1. Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем теплопостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів

Область	Споживання електроенергії за 2010 р., тис. МВт·год	Частка споживання електроенергії від загального споживання, %	Електроенергія, яку можливо використати для експлуатації теплових насосів, тис. МВт·год/рік	Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал даних систем, тис. т у.п./рік
1	2	3	4	5
1. АР Крим (включаючи м. Севастополь)	5469	3,71	204,05	10,10
2. Вінницька	2934	1,99	109,45	5,42
3. Волинська	1445	0,98	53,90	2,67
4. Дніпропетровська	28830	19,55	1075,25	53,22
5. Донецька	23502	15,94	876,70	43,39
6. Житомирська	2262	1,53	84,15	4,16
7. Закарпатська	1769	1,20	66,00	3,27
8. Запорізька	9610	6,52	358,60	17,75
9. Івано-Франківська	2312	1,57	86,35	4,28

1	2	3	4	5
10. Київська (включаючи м. Київ)	13966	9,47	520,85	25,78
11. Кіровоградська	2910	1,97	108,35	5,36
12. Луганська	10682	7,24	398,20	19,71
13. Львівська	4320	2,93	161,15	7,97
14. Миколаївська	2888	1,96	107,80	5,33
15. Одеська	5965	4,04	222,20	11,00
16. Полтавська	5319	3,61	198,55	9,82
17. Рівненська	2406	1,63	89,65	4,44
18. Сумська	2179	1,48	81,40	4,03
19. Тернопільська	1186	0,80	44,00	2,17
20. Харківська	7015	4,76	261,80	12,96
21. Херсонська	2173	1,47	80,85	4,01
22. Хмельницька	2159	1,46	80,30	3,97
23. Черкаська	3152	2,14	117,70	5,82
24. Чернівецька	1220	0,83	45,65	2,26
25. Чернігівська	1810	1,22	67,10	3,32
Всього	147483	100	5500	272,21

Таблиця 2. Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем тепlopостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту ґрунту

Область	Споживання електроенергії за 2010 р., тис. МВт·год	Частка споживання електроенергії від загального споживання, %	Електроенергія, яку можливо використати для експлуатації теплових насосів, тис. МВт·год/рік	Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал даних систем, тис. т у.п./рік
1. АР Крим (включаючи м. Севастополь)	5469	3,71	408,10	13,18
2. Вінницька	2934	1,99	218,90	7,08
3. Волинська	1445	0,98	107,80	3,48
4. Дніпропетровська	28830	19,55	2150,50	69,45
5. Донецька	23502	15,94	1753,40	56,62
6. Житомирська	2262	1,53	168,30	5,43
7. Закарпатська	1769	1,20	132,00	4,26
8. Запорізька	9610	6,52	717,20	23,16
9. Івано-Франківська	2312	1,57	172,70	5,58
10. Київська (включаючи м. Київ)	13966	9,47	1041,70	33,64
11. Кіровоградська	2910	1,97	216,70	7,00
12. Луганська	10682	7,24	796,40	25,71
13. Львівська	4320	2,93	322,30	10,41
14. Миколаївська	2888	1,96	215,60	6,97
15. Одеська	5965	4,04	444,40	14,35
16. Полтавська	5319	3,61	397,10	12,83
17. Рівненська	2406	1,63	179,30	5,78
18. Сумська	2179	1,48	162,80	5,26
19. Тернопільська	1186	0,80	88,00	2,84
20. Харківська	7015	4,76	523,60	16,91
21. Херсонська	2173	1,47	161,70	5,22
22. Хмельницька	2159	1,46	160,60	5,18
23. Черкаська	3152	2,14	235,40	7,60
24. Чернівецька	1220	0,83	91,30	2,95
25. Чернігівська	1810	1,22	134,20	4,34
Всього	147483	100	11000	355,23

Таблиця 3. Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем тепlopостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту повітря

Область	Споживання електроенергії за 2010 р., тис. МВт·год	Частка споживання електроенергії від загального споживання, %	Електроенергія, яку можливо використати для експлуатації теплових насосів, тис. МВт·год/рік	Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал даних систем, тис. т у.п./рік
1. АР Крим (включаючи м. Севастополь)	5469	3,71	204,05	29,90
2. Вінницька	2934	1,99	109,45	16,05
3. Волинська	1445	0,98	53,90	7,90
4. Дніпропетровська	28830	19,55	1075,25	157,58
5. Донецька	23502	15,94	876,70	128,48
6. Житомирська	2262	1,53	84,15	12,33
7. Закарпатська	1769	1,20	66,00	9,67
8. Запорізька	9610	6,52	358,60	52,56
9. Івано-Франківська	2312	1,57	86,35	12,65
10. Київська (включаючи м. Київ)	13966	9,47	520,85	76,33
11. Кіровоградська	2910	1,97	108,35	15,87
12. Луганська	10682	7,24	398,20	58,36
13. Львівська	4320	2,93	161,15	23,61
14. Миколаївська	2888	1,96	107,80	15,80
15. Одеська	5965	4,04	222,20	32,57
16. Полтавська	5319	3,61	198,55	29,09
17. Рівненська	2406	1,63	89,65	13,14
18. Сумська	2179	1,48	81,40	11,93
19. Тернопільська	1186	0,80	44,00	6,45
20. Харківська	7015	4,76	261,80	38,37
21. Херсонська	2173	1,47	80,85	11,84
22. Хмельницька	2159	1,46	80,30	11,77
23. Черкаська	3152	2,14	117,70	17,25
24. Чернівецька	1220	0,83	45,65	6,70
25. Чернігівська	1810	1,22	67,10	9,83
Всього	147483	100	5500,00	806,03

Таблиця 4. Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал систем тепlopостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту навколишнього середовища

Область	Теплота підземних вод, тис. т у.п./рік	Теплота ґрунту, тис. т у.п./рік	Теплота повітря, тис. т у.п./рік	Загальний потенціал, тис. т у.п./рік
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1. АР Крим (включаючи м. Севастополь)	10,10	13,18	29,90	53,18
2. Вінницька	5,42	7,08	16,05	28,55
3. Волинська	2,67	3,48	7,90	14,05
4. Дніпропетровська	53,22	69,45	157,58	280,25
5. Донецька	43,39	56,62	128,48	228,49
6. Житомирська	4,16	5,43	12,33	21,92
7. Закарпатська	3,27	4,26	9,67	17,2
8. Запорізька	17,75	23,16	52,56	93,47
9. Івано-Франківська	4,28	5,58	12,65	22,51
10. Київська (включаючи м. Київ)	25,78	33,64	76,33	135,75
11. Кіровоградська	5,36	7,00	15,87	28,23

1	2	3	4	5
12. Луганська	19,71	25,71	58,36	103,78
13. Львівська	7,97	10,41	23,61	41,99
14. Миколаївська	5,33	6,97	15,80	28,1
15. Одеська	11,00	14,35	32,57	57,92
16. Полтавська	9,82	12,83	29,09	51,74
17. Рівненська	4,44	5,78	13,14	23,36
18. Сумська	4,03	5,26	11,93	21,22
19. Тернопільська	2,17	2,84	6,45	11,46
20. Харківська	12,96	16,91	38,37	68,24
21. Херсонська	4,01	5,22	11,84	21,07
22. Хмельницька	3,97	5,18	11,77	20,92
23. Черкаська	5,82	7,60	17,25	30,67
24. Чернівецька	2,26	2,95	6,70	11,91
25. Чернігівська	3,32	4,34	9,83	17,49
Всього	272,21	355,23	806,03	1433,47

Завершуючи оцінку технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі теплових насосів, що використовують низькопотенційну енергію ґрунту, повітря та підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів, визначимо зменшення за рахунок експлуатації цих систем об'ємів викидів в атмосферу вуглекислого газу, а також скорочення споживання природного газу.

Для визначення зменшення об'ємів викидів у атмосферу вуглекислого газу скористаємось відомою методикою, детально описаною в роботі [11]. Згідно цієї методики, об'єми скорочення викидів в атмосферу вуглекислого газу обчислюються за наступною формулою:

$$V_{CO_2} = 3,67 \text{ кг } CO_2 \cdot n \cdot E_{т.д.}, \quad (8)$$

де V_{CO_2} – скорочення викидів CO_2 ; n – кількість вуглецю у робочій масі 1 кг конкретного твердого або рідкого палива, в долях одиниці. Згідно відомостей роботи [11], вона приймається рівною 0,506

(кам'яне вугілля марки "Д" Донецького басейну).

Для визначення скорочення споживання природного газу скористаємось наступною відомою залежністю [2, 4]:

$$V_{\text{прир. газу}} = \frac{E_{т.д.} \cdot \xi_{\text{у.п.}}}{\xi_{\text{прир. газу}}}, \quad (9)$$

де $V_{\text{прир. газу}}$ – скорочення споживання природного газу; $\xi_{\text{у.п.}}$ та $\xi_{\text{прир. газу}}$ – теплота згоряння умовного палива та природного газу. Приймається: $\xi_{\text{у.п.}} = 7000 \text{ ккал/кг}$; $\xi_{\text{прир. газу}} = 8600 \text{ ккал/м}^3$.

Використовуючи залежності (8) та (9), розраховано зменшення викидів в атмосферу вуглекислого газу та скорочення об'ємів споживання природного газу при повному використанні технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі теплоти ґрунту, повітря та підземних вод. Результати цих розрахунків наведено в таблицях 5 та 6.

Таблиця 5. Зменшення викидів вуглекислого газу за рахунок використання систем теплопостачання на основі теплових насосів, що використовують теплоту навколишнього середовища

Область	Системи теплопостачання, що використовують теплоту підземних вод, тис. тонн CO_2 /рік	Системи теплопостачання, що використовують теплоту ґрунту, тис. тонн CO_2 /рік	Системи теплопостачання, що використовують теплоту повітря, тис. тонн CO_2 /рік	Всього, тис. тонн CO_2 /рік
1	2	3	4	5
1. АР Крим (включаючи м. Севастополь)	18,76	24,48	55,52	98,76
2. Вінницька	10,07	13,15	29,81	53,03
3. Волинська	4,96	6,46	14,67	26,09

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
4. Дніпропетровська	98,83	128,97	292,63	520,43
5. Донецька	80,58	105,14	238,59	424,31
6. Житомирська	7,73	10,08	22,90	40,71
7. Закарпатська	6,07	7,91	17,96	31,94
8. Запорізька	32,96	43,01	97,60	173,57
9. Івано-Франківська	7,95	10,37	23,49	41,81
10. Київська (включаючи м. Київ)	47,86	62,47	141,75	252,08
11. Кіровоградська	9,95	13,00	29,47	52,42
12. Луганська	36,60	47,74	108,38	192,72
13. Львівська	14,80	19,33	43,84	77,97
14. Миколаївська	9,90	12,95	29,34	52,19
15. Одеська	20,43	26,65	60,48	107,56
16. Полтавська	18,24	23,83	54,02	96,09
17. Рівненська	8,24	10,73	24,40	43,37
18. Сумська	7,48	9,77	22,15	39,4
19. Тернопільська	4,03	5,27	11,98	21,28
20. Харківська	24,07	31,40	71,25	126,72
21. Херсонська	7,45	9,69	21,99	39,13
22. Хмельницька	7,37	9,62	21,86	38,85
23. Черкаська	10,80	14,11	32,03	56,94
24. Чернівецька	4,20	5,48	12,44	22,12
25. Чернігівська	6,17	8,06	18,26	32,49
Всього	505,5	659,67	1496,81	2661,98

Таблиця 6. Скорочення об'ємів споживання природного газу за рахунок використання систем теплопостачання на основі теплоти навколишнього середовища

Область	Системи теплопостачання, що використовують теплоту підземних вод, тис. м ³	Системи теплопостачання, що використовують теплоту ґрунту, тис. м ³	Системи теплопостачання, що використовують теплоту повітря, тис. м ³	Всього, тис. м ³
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1. АР Крим (включаючи м. Севастополь)	8,22	10,73	24,34	43,29
2. Вінницька	4,41	5,76	13,06	23,23
3. Волинська	2,17	2,83	6,43	11,43
4. Дніпропетровська	43,32	56,53	128,26	228,11
5. Донецька	35,32	46,09	104,58	185,99
6. Житомирська	3,39	4,42	10,04	17,85
7. Закарпатська	2,66	3,47	7,87	14
8. Запорізька	14,45	18,85	42,78	76,08
9. Івано-Франківська	3,48	4,54	10,30	18,32
10. Київська (включаючи м. Київ)	20,98	27,38	62,13	110,49
11. Кіровоградська	4,37	5,70	12,92	22,99
12. Луганська	16,04	20,93	47,50	84,47
13. Львівська	6,49	8,47	19,22	34,18
14. Миколаївська	4,34	5,67	12,85	22,86
15. Одеська	8,95	11,69	26,51	47,15
16. Полтавська	7,99	10,44	23,68	42,11
17. Рівненська	3,62	4,70	10,70	19,02
18. Сумська	3,28	4,28	9,71	17,27

1	2	3	4	5
19. Тернопільська	1,77	2,31	5,25	9,33
20. Харківська	10,55	13,76	31,23	55,54
21. Херсонська	3,26	4,25	9,64	17,15
22. Хмельницька	3,23	4,22	9,58	17,03
23. Черкаська	4,74	6,19	14,04	24,97
24. Чернівецька	1,84	2,40	5,45	9,69
25. Чернігівська	2,70	3,53	8,00	14,23
Всього	221,57	289,14	656,07	1166,78

В якості прикладу розрахунків зменшення викидів CO₂ та скорочення споживання природного газу при використанні технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі теплоти підземних приповерхневих вод наведемо алгоритм цих розрахунків для Вінницької області:

$$V_{CO_2} = 3,67 \text{ кг CO}_2 \cdot 0,506 \cdot 5,42 \cdot \text{тис. т у.п.} = 10,07 \text{ тис. т CO}_2;$$

$$V_{\text{прир.газу}} = \frac{5,42 \text{ тис.т у.п.} \cdot 7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}}{8600 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}} = 4,41 \text{ тис. м}^3.$$

Висновки. 1. Запропоновано методику оцінки теплоенергетичного потенціалу систем теплопостачання на основі теплових насосів, що використовують низькопотенційну енергію ґрунту, повітря та підземних вод, яка відрізняється від існуючих урахуванням при розрахунках витрат теплоти, що використовується для генерації електроенергії, необхідної для роботи компресора.

2. Показано, що в Україні перспективно впроваджувати системи теплопостачання на основі теплових насосів, які використовують теплоту навколишнього середовища. Технічно досяжний теплоенергетичний потенціал цих систем складає: при використанні теплоти ґрунту – 355,23 тис. т у.п./рік; при використанні повітря – 806,03 тис. т у.п./рік; при використанні теплоти підземних вод приповерхневих водоносних горизонтів – 272,21 тис. т у.п./рік.

3. Визначено, що використання в Україні всього технічно досяжного потенціалу систем теплопостачання на основі теплових насосів, які

використовують теплоту ґрунту, повітря та підземних вод, дозволить зменшити викиди в атмосферу вуглекислого газу на 2661,98 тис. т CO₂ на рік та скоротити споживання природного газу на 1166,78 тис. м³ на рік.

1. *Європейська асоціація теплових насосів* (електронний ресурс) <http://www.ehpa.org/>
2. *Забарний Г.М., Шурчков А.В.* Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. – ІТТФ НАН України, – К.: 2002. – 211 с.
3. *Кудря С.О., Щокін А.Р.* Деякі аспекти визначення коефіцієнтів переводу теплотворної здатності паливно-енергетичних ресурсів з натуральних одиниць в умовні // *Відновлювана енергетика*. – 2006. – № 2. – С. 15–23.
4. *Забарний Г.М., Кудря С.О., Маслюкова З.В., Примак А.І.* Сезонне акумулювання теплоти в підземних акумуляторах. – ІВЕ НАН України. – К.: 2009. – 277 с.
5. *Паливно-енергетичний комплекс України 2005-2010*. – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 71 с.
6. *Нейман В.А.* Умовля участя ВЭС в едином режиме покрытия нагрузок энергосистемы. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Відновлювана енергетика XXI століття" – Крим, 2010. – С. 192–196.
7. *Шидловський А.К., Стогній Б.С., Кулик М.М., Півняк Г.Г., Кириленко О.В., Денисюк С.П.* Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 467 с.
8. *Енергоефективність та відновлювані джерела енергії*, під редакцією Шидловського А.К., – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 559 с.
9. *Ковалко М.П., Денисюк С.П.* Енергетична безпека – складова національної безпеки України. – К.: Українські енциклопедичні знання, 1997. – 91 с.
10. *Тітко Р., Калініченко В.* Відновлювані джерела енергії. – OWG, Варшава, 2010. – 533 с.
11. *Забарний Г.М., Шурчков А.В., Баріло А.А., Резакова Т.А., Шпак Я.Ф.* Геотермальное теплоснабжение поселка Мостиска Львовской области. – ИТТФ НАН Украины, – К.: 2003. – 129 с.