

УДК 621.643.053

Володимир Дерій\*, к.т.н., ст. наук. співр., <https://orcid.org/0000-0002-5689-4897>

Ірина Соколовська, к.т.н., <https://orcid.org/0000-0003-1959-9837>

Олександр Тесленко, к.т.н., <https://orcid.org/0000-0002-3772-5991>

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, 03150, м. Київ, Україна;

Institute of General Energy on NAS of Ukraine, 172, Antonovych Str., 03150, Kyiv, Ukraine;

e-mail: [info@ienenergy.kiev.ua](mailto:info@ienenergy.kiev.ua)

\* Автор-кореспондент: [derii.volodymyr@gmail.com](mailto:derii.volodymyr@gmail.com)

## ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ДЖЕРЕЛ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ ТЕПЛОАСОСНИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

**Анотація.** Запропоновано методику та розрахункові формули для оцінки теплового потенціалу та його розподілу по областям України природних та штучних (антропогенних) джерел низькопотенційної теплоти таких як: навколишнє повітря, вентиляційні викиди будівель, під'єднаних до систем централізованого теплопостачання, ґрунти та ґрунтові води, великі річки, стічні каналізаційні води, технологічні скиди котельень та ТЕЦ, теплові вторинні енергетичні ресурси у промисловості. Визначено доступність теплового потенціалу цих джерел для теплоасосних установок систем централізованого теплопостачання. Для кожного з цих джерел оцінено річний тепловий потенціал та середньорічну потужність. Показано, що доступний для теплоасосних установок систем централізованого теплопостачання річний тепловий потенціал та середньорічна потужність становить для: навколишнього повітря – 9735 тис. Гкал та 905 МВт; вентиляційних викидів будівель – 25655 тис. Гкал та 1871 МВт; ґрунту та ґрунтових вод – 2628 тис. Гкал та 87 МВт; великих річок – 3212 тис. Гкал та 299 МВт; стічних каналізаційних вод – 4545 тис. Гкал та 338 МВт; технологічних скидів котельень та ТЕЦ – 2459 тис. Гкал та 724 МВт; теплових вторинних енергетичних ресурсів у промисловості 7661 тис. Гкал та 214 МВт відповідно. Загальний тепловий потенціал зазначених вище джерел становить 4,97 ГВт, що дозволяє використовувати теплоасосні установки в системах централізованого теплопостачання загальною потужністю близько 7,5 ГВт. У разі використання теплоасосними установками джерел низькопотенційної теплоти природного походження необхідно враховувати, що інтенсивна їх експлуатація може призвести до їх швидкого теплового виснаження та суттєвого впливу на довкілля. Тому необхідно підтримувати такий рівень використання енергії природних джерел низькопотенційної теплоти, який дозволив би експлуатувати їх без шкоди для навколишнього середовища. В умовах щільної забудови міст України використання теплоти ґрунту та ґрунтових вод для теплоасосних установок буде обмеженням через дефіцит вільних земельних ділянок. Також проблематичним буде використання потужних повітряних теплоасосних установок у населених пунктах через їх великий рівень шуму.

**Ключові слова:** теплоасосні установки, системи централізованого теплопостачання, джерела низькопотенційної теплоти, тепловий потенціал.

### 1. Вступ

Використання теплоасосних установок (ТНУ) для утилізації природної та штучної (антропогенної) низькопотенційної теплоти в містах на сьогодні є перспективним напрямком щодо зниження негативного впливу людства на довкілля та підвищення енергоефективності. Основними джерелами низькопотенційної теплоти (ДНТ) в містах є навколишнє повітря,

природні водойми, системи вентиляції та кондиціонування житлових будинків, супермаркетів, центрів обробки даних, тунелів електричних кабелів, метрополітенів. Крім того, можливо використовувати скидну теплоту каналізаційних стоків, систем охолодження електричних підстанцій та інших промислових установок.

Відомі роботи, в яких оцінювався загальний тепловий потенціал ДНТ природного походження, таких як ґрунт та ґрунтові води [1], навколишнє повітря [2–4], геотермальна енер-

© В. ДЕРІЙ, І. СОКОЛОВСЬКА, О. ТЕСЛЕНКО, 2022

гія [5] та сонячна енергія [3]. Оцінено потенціал деяких ДНТ антропогенного походження: вторинних енергетичних ресурсів [6, 7], стічних вод [8], димових газів котелень та теплоелектроцентралей (ТЕЦ) [9, 10]. Але, на думку авторів, не оцінювався тепловий потенціал вентиляційних викидів житлових, адміністративних та громадських будівель міст України. Крім того, не визначено тепловий потенціал ДНТ природного та антропогенного походження, доступний для ТНУ систем централізованого теплопостачання (СЦТ) міст у розрізі областей України.

У попередньому дослідженні авторів [11] зроблено огляд ДНТ природного та антропогенного походження в Україні. Також було визначено ДНТ, енергія яких може бути використана для ТНУ СЦТ міст України, а саме: вентиляційних викидів будівель, приєднаних до СЦТ, стічних вод, ґрунту та ґрунтових вод, навколишнього повітря, димових газів котелень і ТЕЦ, водоєм, технологічних вод, викидів та скидів промислових підприємств.

Метою даної роботи є визначення доступного для ТНУ СЦТ теплового потенціалу вищезгаданих ДНТ у розрізі областей України. У цих дослідженнях використано розрахунково-аналітичний метод.

## 2. Методи та матеріали

Теплота вентиляційних викидів. Як відомо, втрати теплової енергії в будівлях через системи вентиляції можуть становити до 25% від загального обсягу споживання ними теплової енергії [12]. Тому скидна теплота систем вентиляції будівель може бути одним із ДНТ для ТНУ. Для визначення теплового потенціалу вентиляційних викидів була використана офіційна інформація щодо житлових будівель України [13]. Також було зроблено припущення, що для мінімізації інвестиційних витрат використовуватимуться тільки викиди теплоти від будівель з централізованим опаленням. У табл. 1 наведено дані щодо житлових площ для міських поселень України [13]. Для перевірки коректності інформації було визначено питому вагу площ квартир з централізованим опаленням (ЦО) за формулою:

$$\varphi_i = 100 \frac{S_i^{uo}}{S_i^3}, \quad (1)$$

де  $\varphi_i$  – питома вага площ квартир з ЦО  $i$ -тої області;  $S_i^{uo}$  – площа квартир  $i$ -тої області з ЦО;  $S_i^3$  – загальна площа квартир  $i$ -тої області.

Результати розрахунків наведено в табл. 1 (третьій стовпчик).

З табл. 1 видно, що 72,1% площ житлових квартир України опалюється централізовано. Це квартири, які опалюються централізовано від систем автономного теплопостачання (внутрішньобудинкова система опалення, яка використовується для теплозабезпечення окремого багатоквартирного будинку), систем децентралізованого теплопостачання (сукупність джерел теплової енергії потужністю від 1 до 3 Гкал/год, місцевих розподільчих теплових мереж), систем помірно-центрального теплопостачання (сукупність джерел теплової енергії потужністю від 3 до 20 Гкал/год, магістральних та/або місцевих розподільчих теплових мереж) та СЦТ – сукупність джерел теплової енергії, магістральних та місцевих (розподільчих) теплових мереж, що об'єднані між собою та використовуються для теплозабезпечення споживача, населеного пункту, яка включає системи децентралізованого та помірно-центрального теплопостачання [14]. У цій роботі визначено площу квартир, які отримують теплову енергію від СЦТ, сумарна частка яких становить близько 52% [15]. Крім того, відомо, що в Закарпатській області централізоване теплопостачання взагалі відсутнє [16, 17], а згідно інформації Державної служби статистики України (Держстат) в цій області опалюється понад 6 млн м<sup>2</sup> житлової площі (60,2%). Для корегування інформації було досліджено інші показники – частки квартир з централізованим опаленням, які наведені Держстатом [13] та Міністерством розвитку громад та територій України (Мінрегіон) [16] (табл. 1). Площі квартир, які під'єднані до СЦТ, визначалися за формулою:

$$S_i^{cum} = k_i^{kop} S_i^{uo}, \quad (2)$$

де  $k_i^{kop}$  – коефіцієнт корекції, який визначається за формулою:

$$k_i^{kop} = \frac{\beta_i^{mp}}{\beta_i^{oc}}, \quad (3)$$

де  $\beta_i^{mp}$ ,  $\beta_i^{oc}$  – відносна вага кількості квартир з централізованим опаленням  $i$ -ої області, згідно даних Мінрегіону та Держстату України відповідно.

Результати розрахунків наведено в табл. 1, з якої видно, що площа квартир, приєднаних до СЦТ України, близько 325,3 млн м<sup>2</sup>, що становить 54,4%. Отриманий результат практично співпадає з даними, які наведені в [15] – 52%.

Кількість теплоти  $Q_i^{cum}$   $i$ -тої області, скинутої назовні системами вентиляції квартир, які приєднані до СЦТ, за опалювальний період можна визначити за формулою:

$$Q_i^{cum} = k V_i^{cum} \rho C (t_k^{cp} - t_i^{on}) \tau_i n \cdot 24 \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

Таблиця 1. Житлові площі будівель міських поселень по областях України

Область/місто	Житлові площі будівель міських поселень			Квартири, які приєднано до СЦТ				
	Загальна житлова площа квартир, м <sup>2</sup>	Площа квартир з централізованим опаленням, м <sup>2</sup>	Питома вага площ квартир з централізованим опаленням, %	Відносна вага кількості квартир з ЦО, %		$K_i^{кор}$	Площі квартир, приєднаних до СЦТ	
				Держстат	Мінрегіон		м <sup>2</sup>	%
Вінницька	20043908	11332225	56,5	28,3	19	0,67	7608208	38,0
Волинська	11233828	7041390	62,7	32,5	33	1,02	7149719	63,6
Дніпропетровська	62204872	47244700	76,0	63	52	0,83	38995625	62,7
Донецька	44293719	31913133	72,0	60,9	46	0,76	24105158	54,4
Житомирська	16715678	9536183	57,0	30,1	12	0,40	3801801	22,7
Закарпатська	11536346	6942760	60,2	25,6	0	0,00	0	0,0
Запорізька	29799621	22793917	76,5	55,9	53	0,95	21611406	72,5
Івано-Франківська	15561639	8482105	54,5	26,5	10	0,38	3200794	20,6
Київська	30471907	21796225	71,5	39,9	34	0,85	18573224	61,0
Кіровоградська	14874262	9137781	61,4	37,9	16	0,42	3857638	25,9
Луганська	13551862	7876145	58,1	43	40	0,93	7326647	54,1
Львівська	32079278	17950940	56,0	33,5	31	0,93	16611318	51,8
Миколаївська	16878798	12570635	74,5	49,4	36	0,73	9160787	54,3
Одеська	34197170	24716024	72,3	46,3	45	0,97	24022054	70,2
Полтавська	19062705	13267429	69,6	38,7	42	1,09	14398760	75,5
Рівненська	10814922	7413504	68,5	32,8	23	0,70	5198494	48,1
Сумська	17486619	13182381	75,4	47,7	37	0,78	10225327	58,5
Тернопільська	11879937	7900156	66,5	30,2	11	0,36	2877540	24,2
Харківська	50772205	45082991	88,8	72,5	23	0,32	14302190	28,2
Херсонська	15731076	9712838	61,7	41,6	23	0,55	5370079	34,1
Хмельницька	16525559	10340615	62,6	32	22	0,69	7109173	43,0
Черкаська	15876253	10180658	64,1	32,3	28	0,87	8825338	55,6
Чернівецька	8620578	4495618	52,1	21,8	17	0,78	3505757	40,7
Чернігівська	14996803	9816908	65,5	33,4	28	0,84	8229743	54,9
м. Київ	63319923	60528915	95,6	99,1	97	0,98	59246264	93,6
<b>Всього/ Середньозважене, %</b>	<b>598529468</b>	<b>431256176</b>	<b>72,1</b>				<b>325313043</b>	<b>54,4</b>

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності – 0,2388;  $V_i^{сум}$  – об'єм приміщень, приєднаних до СЦТ, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – густина повітря (довідкові дані), 1,204 кг/м<sup>3</sup>;  $C$  – масова теплоємність повітря (довідкові дані), 1,007 кДж/(кг·К);  $t_k^{ср}$  – середня температура повітря в приміщеннях (прийнято 18 °С);  $t_i^{он}$  – середня температура навколишнього повітря  $i$ -тої області за опалювальний період;  $\tau_i$  – тривалість опалювального періоду  $i$ -тої області, діб;  $n$  – кратність повітряобміну в квартирах, один раз за годину; 24 – кількість годин у добі.

Об'єм приміщень, приєднаних до СЦТ, визначався як добуток площ  $i$ -тої області на середню

їх висоту (2,75 м). Кількість діб опалювального періоду та його середня температура визначалась для кожної області згідно даних, які наведені в ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [18]. Кратність повітряобміну в квартирах приймалася згідно ДБН В.2.2-15-2005 [19]. Результати розрахунків за формулою (4) показано в табл. 2.

Оцінити загальний тепловий потенціал вентиляційних скидів всіх приміщень, під'єднаних до СЦТ, можна наступним чином. Відомо, що в середньому 75% всіх площ приміщень, приєднаних до СЦТ, становлять житлові квартири, решта 25% – бюджетні, комерційні та релігійні організації. Тому в першому наближенні загальний те-

**Таблиця 2.** Тепловий потенціал вентиляційних скидів будівель, приєднаних до СЦТ, по областях України

Область/місто	Об'єм квартир, приєднаних до СЦТ, м <sup>3</sup>	Тривалість ОП, діб	Середня температура за ОП, °С	Потенціал, тис Гкал		Доступна потужність, МВт
				житлових квартир, приєднаних до СЦТ	всіх приміщень, приєднаних до СЦТ	
Вінницька	20922571	182	-0,2	482,7	642,0	45,0
Волинська	19661727	177	0,5	424,0	563,9	40,6
Дніпропетровська	107237970	172	0,2	2281,7	3034,7	225,0
Донецька	66289184	176	-0,2	1474,9	1961,6	142,1
Житомирська	10454951	184	-0,3	244,7	325,4	22,6
Закарпатська	0	152	2,5	0,0	0,0	0,0
Запорізька	59431367	173	0,5	1249,7	1662,1	122,5
Івано-Франківська	8802184	179	0,4	192,6	256,2	18,2
Київська	51076367	176	0,1	1118,9	1488,1	107,8
Кіровоградська	10608506	174	0,6	223,6	297,4	21,8
Луганська	20148278	172	0,1	430,9	573,1	42,5
Львівська	45681123	179	0,1	1014,9	1349,9	96,2
Миколаївська	25192163	161	1,8	456,4	607,0	48,1
Одеська	66060647	151	2,9	1046,1	1391,3	117,5
Полтавська	39596590	180	-0,5	916,9	1219,4	86,4
Рівненська	14295858	182	0,0	325,5	432,9	30,3
Сумська	28119649	185	-1,1	690,9	918,9	63,3
Тернопільська	7913236	184	-0,3	185,2	246,3	17,1
Харківська	39331023	178	-0,5	900,1	1197,1	85,8
Херсонська	14767716	165	1,6	277,2	368,7	28,5
Хмельницька	19550225	183	-0,2	451,5	600,5	41,8
Черкаська	24269680	177	-0,1	539,2	717,1	51,7
Чернівецька	9640832	175	0,6	203,7	270,9	19,7
Чернігівська	22631794	192	-1,5	589,2	783,6	52,0
м. Київ	162927226	176	0,1	3569,2	4747,0	343,9
<b>Всього</b>	<b>894610869</b>			<b>19289,4</b>	<b>25654,9</b>	<b>1870,5</b>

Примітка. ОП – опалювальний період

пловий потенціал вентиляційних скидів від всіх приміщень, під'єднаних до СЦТ, буде дорівнювати загальному потенціалу житлових приміщень, помноженому на коефіцієнт 1,33, результати розрахунків показано в табл. 2.

Для визначення середньої теплової потужності вентиляційних скидів для приміщень, приєднаних до СЦТ України, протягом опалювального сезону зроблено припущення, що на практиці буде можлива теплоутилізація не більше половини загального обсягу вентиляційних викидів. Середня доступна теплова потужність вентиляційних скидів житлових та адміністративних приміщень визначалася за формулою

$$q_i^{cum} = 1,163k_0k_2\eta \frac{Q_i^{cum}}{\tau_i \cdot 24}, \quad (5)$$

де 1,163 – коефіцієнт пропорційності між Гкал та МВт;  $k_0 = 0,5$  – коефіцієнт доступності, згідно прийнятого припущення;  $k_2$  – коефіцієнт, який враховує зміну клімату (потепління), прийнятий рівним 0,8;  $\eta$  – коефіцієнт перетворення теплообмінників (прийнятий рівним 0,7).

Пояснення щодо коефіцієнта  $k_2$ : У розрахунках за формулою (4) використовувалися дані щодо середньої температури та кількості діб опалювального періоду для нормативного року.

Але фактичні ці показники протягом останніх років змінилися у зв'язку із потеплінням.

Таким чином, проведений аналіз показав, що повний потенціал вентиляційних скидів низкопотенційної теплоти для приміщень, приєднаних до СЦТ України, становить близько 24,1 млн Гкал, а доступна середня теплова потужність за опалювальний сезон – 1870,5 МВт.

Скидна низкопотенційна теплота стічних вод. Життєдіяльність людей пов'язана з постійним використанням гарячої води. Спочатку витрачається енергія для нагрівання води, потім після її використання, ця енергія втрачається, забруднюючи навколишнє середовище. Використана гаряча вода є цінним джерелом низкопотенційної теплоти. Її температура зимою становить близько 12 °С, а в літній період – 20 °С. В українських містах стічні води утворюються у величезній кількості. Так, наприклад, кожної доби в місті Києві утворюється понад 1,4 млн м<sup>3</sup>, в Одесі – 400 тис. м<sup>3</sup>, у Вінниці – 110 тис. м<sup>3</sup>. Загалом по Україні – понад 10 млн м<sup>3</sup> за добу [20].

Енергетичний потенціал стічних вод України був ретельно досліджений та оцінений (теоретичний, технічний, економічно доцільний для кожної області України [8]). Для подальшого аналізу було зроблено припущення, що реалізація економічно доцільного потенціалу теплової енергії стічних вод в СЦТ буде пропорційною їх покриттям територій областей [16]. Відповідно до цього доступний економічно доцільний потенціал стічних вод для СЦТ визначався за виразом

$$Q_j^{cs} = Q_i^{en} \frac{\beta_i^{cum}}{100}, \quad (6)$$

де  $Q_j^{cs}$  – доступний для СЦТ економічно доцільний потенціал стічних вод  $i$ -ої області;  $Q_i^{en}$  – повний економічно доцільний потенціал стічних вод  $j$ -ої області;  $\beta_i^{cum}$  – коефіцієнт покриття СЦТ  $i$ -ої області, %.

Доступна потужність каналізаційних стоків визначалася за формулою (5), при цьому коефіцієнт  $k_1 = 0,8$ , а  $k_2 = 1$ . Результати розрахунків показано в табл. 3.

**Таблиця 3.** Доступний для використання в СЦТ областей України тепловий потенціал стічних вод

Область/місто	Економічно доцільний потенціал, тис. МВт·год/рік	Покриття території СЦТ, % [16]	Доступний потенціал для СЦТ, тис. Гкал/рік	Доступна потужність, МВт
Вінницька	239	19	39,0	2,9
Волинська	144	33	40,9	3,0
Дніпропетровська	1809	52	808,8	60,1
Донецька	766	46	303,0	22,5
Житомирська	187	12	19,3	1,4
Закарпатська	142	0	0,0	0,0
Запорізька	576	53	262,5	19,5
Івано-Франківська	342	10	29,4	2,2
Київська	249,3	34	72,9	5,4
Кіровоградська	169	16	23,3	1,7
Луганська	249	40	85,6	6,4
Львівська	981	31	261,5	19,4
Миколаївська	245	36	75,8	5,6
Одеська	651	45	251,9	18,7
Полтавська	320	42	115,6	8,6
Рівненська	196	23	38,8	2,9
Сумська	171	37	54,4	4,0
Тернопільська	141	11	13,3	1,0
Харківська	1059	52	473,5	35,2
Херсонська	168	23	33,2	2,5
Хмельницька	203	22	38,4	2,9
Черкаська	290	28	69,8	5,2
Чернівецька	99	17	14,5	1,1
Чернігівська	179	24	36,9	2,7
м. Київ	1657,9	97	1382,8	102,8
<b>Всього</b>	<b>11233,2</b>		<b>4545,1</b>	<b>337,9</b>

Таким чином, проведений аналіз показав, що доступний для використання в СЦТ України тепловий потенціал стічних вод становить 4545,1 тис. Гкал у рік, а середня теплова потужність – 337,9 МВт.

*Потенціал низькопотенційної теплоти ґрунту та ґрунтових вод.* У роботі [1] наведено показники різних видів теплового потенціалу ґрунту та ґрунтових вод областей України. Оскільки публікація вийшла в 2001 р., то для подальшого аналізу наведені показники було скориговано – не враховувалися тимчасово окуповані території України. Доступний для СЦТ тепловий потенціал ґрунту та ґрунтових вод визначався аналогічно виразу (5). Результати розрахунків наведено в табл. 4.

Як видно з табл. 4, доступний для СЦТ тепловий потенціал ґрунту та ґрунтових вод Укра-

їни становить 2628,4 тис. МВт·год у рік, або 2260 тис. Гкал у рік. Але в умовах щільної забудови міст його використання буде дуже проблематичним, особливо у разі використання теплових насосів з горизонтальними колекторами. Тому було зроблено припущення, що цей потенціал буде використано на 25%. З урахуванням зазначеного обчислено середню теплову потужність, результати показано в табл. 5.

*Тепловий потенціал навколишнього повітря.* Навколишнє повітря на сьогодні є найдоступнішим ДНТ. Обсяг європейського ринку теплових насосів «повітря-вода» у 2018 р. становив 368 900 од. обладнання, що на 14,3% більше, ніж в 2017 р. Найбільше зростання продажів теплових насосів «повітря-вода» було у Франції (16,2%), Німеччині та Італії – частка цих трьох країн становить майже 70% від усіх продажів в Європі [21].

**Таблиця 4.** Потенціал низькопотенційної теплоти ґрунту та ґрунтових вод для областей України

Область	Загальний потенціал	Технічний потенціал	Економічно-доцільний потенціал	Покриття території СЦТ, % [16]	Доступний потенціал для СЦТ, тис. Гкал/рік	Середня теплова потужність, МВт
Вінницька	4731	3379	513	19	97,5	3,2
Волинська	3321	2372	290	33	95,7	3,2
Дніпропетровська	15438	11027	424	52	220,5	7,3
Донецька	7711	5507	1328	46	610,9	20,3
Житомирська	3374	2410	428	12	51,4	1,7
Закарпатська	5093	3638	79	0	0,0	0,0
Запорізька	3833	2738	355	53	188,2	6,2
Івано-Франківська	5532	3951	51	10	5,1	0,2
Київська	12966	9262	192	34	65,3	2,2
Кіровоградська	3720	2657	833	16	133,3	4,4
Луганська	5285	3775	979	40	391,6	13,0
Львівська	11941	8529	203	31	62,9	2,1
Миколаївська	3441	2458	117	36	42,1	1,4
Одеська	4015	2868	195	45	87,8	2,9
Полтавська	9163	6545	162	42	68,0	2,3
Рівненська	3106	2219	225	23	51,8	1,7
Сумська	4492	3208	239	37	88,4	2,9
Тернопільська	3819	2728	194	11	21,3	0,7
Харківська	12125	8661	153	52	79,6	2,6
Херсонська	2597	1855	172	23	39,6	1,3
Хмельницька	4438	3170	171	22	37,6	1,2
Черкаська	4286	3061	476	28	133,3	4,4
Чернівецька	2149	1535	123	17	20,9	0,7
Чернігівська	3930	2807	149	24	35,8	1,2
<b>Всього</b>	<b>140506</b>	<b>100360</b>	<b>8051</b>		<b>2628,35</b>	87,2

Таблиця 5. Тепловий потенціал навколишнього повітря по областям України

Область	Технічно досяжний потенціал повітря, тис. МВт·год/рік	Економічно-доцільний потенціал повітря, тис. МВт·год / рік	Покриття території СЦТ, % [16]	Економічно-доцільний потенціал повітря досяжний для СЦТ, тис. Гкал / рік	Середня потужність для ТНУ СЦТ, МВт
Вінницька	814	330,8	19	54,0	5,0
Волинська	977	397,1	33	112,7	10,5
Дніпропетровська	9768	3969,8	52	1775,0	165,0
Донецька	11966	4863,1	46	1923,5	178,8
Житомирська	977	397,1	12	41,0	3,8
Закарпатська	651	264,6	0	0,0	0,0
Запорізька	4076	1656,5	53	754,9	70,2
Івано-Франківська	997	405,2	10	34,8	3,2
Київська	10012	4069,0	34	1189,6	110,5
Кіровоградська	1628	661,6	16	91,0	8,5
Луганська	4721	1918,7	40	659,9	61,3
Львівська	2035	827,0	31	220,5	20,5
Миколаївська	1465	595,4	36	184,3	17,1
Одеська	2686	1091,6	45	422,4	39,3
Полтавська	2442	992,5	42	358,4	33,3
Рівненська	651	264,6	23	52,3	4,9
Сумська	1465	595,4	37	189,4	17,6
Тернопільська	488	198,3	11	18,8	1,7
Харківська	6593	2679,5	52	1198,0	111,3
Херсонська	814	330,8	23	65,4	6,1
Хмельницька	977	397,1	22	75,1	7,0
Черкаська	1302	529,1	28	127,4	11,8
Чернівецька	1302	529,1	17	77,3	7,2
Чернігівська	1302	529,1	24	109,2	10,1
<b>Всього</b>	<b>70109</b>	<b>28493,0</b>		<b>9734,9</b>	<b>904,7</b>

Примітка. Без урахування окупованих територій.

Це пояснюється, насамперед, тим, що технічні характеристики насосів типу «повітря-вода» є досить високими (шведські ТН фірми «strus» гарантовано працюють навіть за температури зовнішнього повітря  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а капітальні витрати на їх впровадження є суттєво меншими порівняно з ґрунтовими [2]. У книзі [3] та на сайті Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [4] наведено інформацію щодо технічно досяжного теплового потенціалу повітря по областям країни. У роботі [2] наведено інформацію щодо економічно доцільного потенціалу повітря для України в цілому, який становить 3,5 млн т у. п. на рік. Цей потенціал розподілявся по областям України

пропорційно розподіленню технічно досяжного потенціалу за формулою:

$$\varphi_i^{ed} = \frac{\varphi_i^{md}}{\varphi_y^{md}} \varphi_y^{ed}, \quad (7)$$

де  $\varphi_i^{ed}$  – економічно доцільний потенціал повітря  $i$ -ої області;  $\varphi_i^{md}$  – технічно досяжний потенціал повітря  $i$ -ої області;  $\varphi_y^{md}$ ,  $\varphi_y^{ed}$  – технічно досяжний та економічно доцільний потенціали повітря в Україні, відповідно.

Доступний тепловий потенціал навколишнього повітря для використання в СЦТ визначався аналогічно виразу (5) з урахуванням їх покриття в  $i$ -ій області. Результати розрахунків наведено в табл. 5.

З табл. 5 видно, що економічно доцільний тепловий потенціал навколишнього повітря, досяжний для використання в СЦТ, становить 9734,9 тис. Гкал на рік, а сумарна теплова потужність цього ДНТ для ТНУ в СЦТ – 904,7 МВт.

Обмеженнями щодо використання повітря як ДНТ можуть бути інвестиційні витрати та рівень негативного акустичного впливу, який утворюють повітряні нагнітальні вентилятори таких теплових насосів.

**Геотермальна енергія.** Найбільш поширеним і придатним у даний час для технічного використання джерелом геотермальної енергії в Україні є гідротермальні ресурси. Затверджені Міністерством екології та природних ресурсів України потенційні геотермальні ресурси теплоенергетичних вод становлять 27,3 млн м<sup>3</sup>/добу, а їх теплоенергетичний потенціал біля 84 млн Гкал/рік. За розрахунками Інституту відновлювальної енергетики НАН України, річний технічно досяжний енергетичний потенціал теплової геотермальної енергії в Україні є еквівалентним 6,9 млн т н.е., а його використання дозволить заощадити біля 5,6 млрд м<sup>3</sup> природного газу в рік [5]. Найбільш сприятливими геотермічними умовами для освоєння гідротермальних ресурсів характеризуються Передкарпатський (Львівська, Івано-Франківська, частково Чернівецька області) та Закарпатський (Закарпатська область) прогини, Дніпровсько-Донецька западина (Чернігівська, Полтавська, Сумська, Харківська, Дніпропетровська області), Степовий Крим та узбережжя Чорного моря (Херсонська та Одеська області) [1]. У більшості випадків тепловий потенціал геотермальних вод достатньо високий (>> 40 °С), і тому немає необхідності у використанні теплових насосів для його підвищення. Це можуть бути тільки поодинокі випадки. Тому це джерело теплової енергії для ТНУ не взято до уваги і в даному дослідженні не було проаналізовано.

**Тепловий потенціал річок України.** В Україні є п'ять основних річок, на берегах яких розташовані великі міста з наявними СЦТ: р. Дніпро (міста-обласні центри Київ, Черкаси, Дніпро, Запоріжжя, Херсон), р. Дністер (міста Старий Самбір, Рибниця, Дрогобич), р. Південний Буг (міста-обласні центри Хмельницький, Вінниця, Миколаїв), р. Сіверський Донець (міста Чугуїв, Ізюм, Лисичанськ, Святогорськ, Северодонецьк) та прикордонна р. Дунай (міста-порти Ізмаїл та Рені). Для оцінки доступного теплового потенціалу води річок, призначеного для подальшого використання в системах тепlopостачання, у подальших розрахунках прийнято охолодження води річки на 2 °С. Ви-

трата води в річках України має протягом року майже однакові значення, за виключенням коротких періодів весняних повеней та літньої межени. Головні ріки України та основні їх показники [22]:

р. Дніпро (загальна довжина 2 201 км, у межах України – 981 км; стік (середній річний) 53,5 км<sup>3</sup>/рік);

р. Дністер (загальна довжина 1 362 км, у межах України – 705 км; стік 8,7 км<sup>3</sup>/рік);

р. Південний Буг (довжина 806 км; стік 3,4 км<sup>3</sup>/рік);

р. Сіверський Донець (загальна довжина 1 053 км, у межах України – 672 км; стік 5 км<sup>3</sup>/рік);

р. Дунай (загальна довжина 2961 км, у межах України – 174 км; стік 123 км<sup>3</sup>/рік).

Температурний режим річок в Україні має яскраво виражений сезонний характер. З квітня по вересень температура води в річках коливається від 15 до 23 °С, що припадає на неопалювальний період. З вересня по березень (в опалювальний період року) температура води в річках змінюється в діапазоні від 2 до 8 °С. Саме ця обставина визначає особливості використання низькопотенційної теплоти води річок із застосуванням ТНУ для тепlopостачання, зважаючи на різницю температури ДНТ та температурою теплоносія в тепловій мережі. В опалювальний період ця різниця може досягати до 65–75 °С, що обумовлює низький коефіцієнт трансформації енергії (не більше 2,5). У неопалювальний період у разі гарячого водопостачання ця різниця не перевищує 40 °С, що забезпечує достатньо високий коефіцієнт трансформації енергії (понад 3,5).

Доступний теплоенергетичний потенціал води річок  $E_m^0$  (ГДж/рік) було обчислено за такою формулою:

$$E_m^0 = C_p \rho \Delta t W_p, \quad (8)$$

де  $C_p$  – питома теплоємність води, 4190 Дж / (кг·°С) за 15 °С;  $\rho$  – густина води, 998 кг/м<sup>3</sup> за 15 °С;  $\Delta t$  – зміна температури річкової води в конденсаторі теплового насоса, прийнято рівною 2 °С;  $W_p$  – річний стік (об'єм) води річки, км<sup>3</sup>/рік.

Результати розрахунку доступного теплового потенціалу води основних річок України за формулою (8) наведено в табл. 6.

Таким чином, тепловий потенціал води основних річок України демонструє можливість використання значного обсягу низькопотенційної енергії для потреб тепlopостачання міст країни, який досягає 1619,1 млн ГДж/рік (або 55,28 млн т у.п./рік, або 386,6 млн Гкал/рік). Доступний потенціал для СЦТ прийнято рівним 2% від загального, що становить 3,2 млн Гкал.



**Таблиця 6.** Тепловий потенціал води основних річок України

Назва річки	Області України, через які протікає річка	Доступний теплоенергетичний потенціал води річок, $\times 10^6$ ГДж/рік ( $\times 10^6$ т у. п.)
Дніпро	Чернігівська, Київська, Черкаська, Кіровоградська, Полтавська, Дніпропетровська, Запорізька, Херсонська	447,4 (15,37)
Дністер	Львівська, Івано-Франківська, Тернопільська, Чернівецька, Хмельницька, Вінницька, Одеська	72,7 (2,48)
Південний Буг	Хмельницька, Кіровоградська, Миколаївська, Вінницька, Одеська	28,4 (0,97)
Сіверський Донець	Харківська, Донецька, Луганська	41,8 (1,43)
Дунай	Одеська	1028,7 (35,12)
<b>Загалом</b>		<b>1619,1 (55,28)</b>

Середню потужність теплових потоків цих ДНТ за рік можна визначити за формулою:

$$q_i = 1,163 k_d \eta \frac{Q_i}{t^P}, \quad (9)$$

де  $q_i$  – потужність теплового потоку ДНТ  $i$ -тої області; 1,163 – коефіцієнт пропорційності між Гкал/год та МВт;  $k_d$  – коефіцієнт доступності до ДНТ (прийнято рівним 0,02);  $\eta$  – коефіцієнт перетворення теплообмінника (прийнято рівним

0,8);  $Q_i$  – доступний потенціал теплоти ДНТ  $i$ -тої області;  $t^P$  – кількість годин у році.

Підставляючи дані у формулу (9) отримаємо середнє значення потужності теплових потоків річок України, яке для України буде дорівнювати 298,5 МВт. Розподіл теплового потенціалу річок України по областям був зроблений пропорційно їх покриттям СЦТ. Результати наведено в табл. 7.

**Таблиця 7.** Досяжна середня теплова потужність річок України

Область	Дніпро	Дністер	Південний Буг	Сіверський Донець	Дунай	Всього	
	тис. Гкал/рік						МВт
Вінницька		39,1	17,3			56,5	5,2
Волинська							
Дніпропетровська	588,2					588,2	54,7
Донецька				66,7		66,7	6,2
Житомирська							
Закарпатська							
Запорізька							
Івано-Франківська		20,6				20,6	1,9
Київська	384,6					384,6	35,7
Кіровоградська	181,0		14,6			195,6	18,2
Луганська				58,0		58,0	5,4
Львівська		63,8				63,8	5,9
Миколаївська			32,9			32,9	3,1
Одеська		92,7	41,1		185,7	319,5	29,7
Полтавська	475,1					475,1	44,2
Рівненська							
Сумська							
Тернопільська		22,7				22,7	2,1
Харківська				75,4		75,4	7,0
Херсонська	260,2					260,2	24,2
Хмельницька		45,3	20,1			65,4	6,1
Черкаська	316,7					316,7	29,4
Чернівецька	192,3	17,5				209,8	19,5
Чернігівська							
<b>Всього</b>	<b>2398,2</b>	<b>301,7</b>	<b>126,0</b>	<b>200,0</b>	<b>185,74</b>	<b>3211,6</b>	<b>298,5</b>

Потенціал теплових вторинних енергетичних ресурсів у промисловості. На поточний час ефективне використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) є важливим напрямом енергозбереження, як у світі, так і в Україні. Обсяги виходу ВЕР визначаються як енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних агрегатах (установках), який не використовується в самому агрегаті, але може бути частково, або повністю використаний для енергопостачання інших споживачів [23]. Щодо теплових ВЕР (ТВЕР), то, згідно з оцінками, їх основну частину становлять низькопотенційні ТВЕР, температура яких нижче 200 °С. У період з 2005 по 2010 рр. частка низькопотенційних ТВЕР становила приблизно половину виходу всіх видів ВЕР.

Держстат України оприлюднює інформаційні дані щодо виробництва промислової продукції за видами економічної діяльності по регіонах України, зокрема, за 2019 р. [24], які наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях. Однак в інформації Держстату України інформація щодо виробництва видів продукції в регіоні представлена як конфіденційна, якщо в цьому регіоні є тільки одне підприємство з виробництва цього виду продукції. Ця обставина дозволила виконати розрахунки потенціалу ТВЕР за даними Держстату України тільки в цілому. Таким чином, сумарний річний енергетичний потенціал ТВЕР буде становити 32 075,8 тис ГДж, або 7 660,8 тис Гкал, а потужність, визначена за формулою (9) – 213,6 МВт. При цьому коефіцієнт доступності приймався рівним 0,3, а коефіцієнт перетворення теплообмінника – 0,7.

Потенціал скидної теплоти котелень та ТЕЦ України. Під час вироблення теплової енергії частина її втрачається з димовими газами (відхідними газоподібними продуктами згорання палива). Зробимо припущення, що середній ККД котелень становить 90%, а ТЕЦ – 95%. Тоді втрати теплової енергії з димовими газами в котельнях буде 10%, а ТЕЦ – 5% [9, 10]. Для розрахунків визначимо середньозважені втрати теплової енергії з димовими газами. У 2020 р. теплогенеруючими підприємствами для цілей опалювання, на постачання гарячої води та комунально-побутові потреби було відпущено 88954 тис. Гкал теплової енергії, частка ТЕЦ становила 25 517 тис. Гкал (28,6%) [25]. Тоді середньозважені втрати те-

пловой енергії з димовими газами будуть становити 8,6%. Потенціал теплової енергії димових газів розподілено по областям України пропорційно їх покриттям СЦТ. Середня потужність розраховувалася для опалювального періоду за формулою (9) із виключенням частини теплової енергії, витраченої на постачання гарячої води в неопалювальний період. Результати розрахунків наведено в табл. 8.

### 3. Результати досліджень

Узагальнені результати оцінки теплового потенціалу ДНТ, які доступні для СЦТ, наведено в підсумковій табл. 9.

З урахуванням промислових ТВЕР сумарна потужність ДНТ для ТНУ СЦТ становитиме 4 970 МВт, що дозволяє використовувати ТНУ загальною потужністю близько 7,5 ГВт.

У результаті даного дослідження було оцінено тепловий потенціал ДНТ природного та штучного походження для використання в потужних ТНУ для СЦТ. Але існують деякі застереження у разі використання низькопотенційної теплоти природних джерел.

Так, у разі використання теплоти ґрунту необхідно враховувати, що за горизонтального розташування земляного колектору ТНУ, тепловіддача різних ґрунтів становить 10–35 Вт/м<sup>2</sup> (для оціночних розрахунків приймають 20 Вт/м<sup>2</sup>). Для вертикальних ґрунтових зондів тепловіддача становить 45–50 Вт/м довжини, глибина свердловин сягає до 200 м, відстань між ними становить 5–15 м. Для ТН тепловою потужністю 1 МВт горизонтальний колектор буде займати площу 500000 м<sup>2</sup>, а для вертикальних зондів знадобиться 200 стометрових свердловин, які займуть площу близько 44000 м<sup>2</sup>. Безумовно, що в умовах щільної забудови великих міст та дефіциту вільних майданчиків використання ґрунтових ДНТ буде дуже проблематичним.

Іншим фактором у разі використання ґрунтових ТНУ є зміна температурного режиму довкілля. Результати досліджень та моделювань роботи ТНУ з вертикальним колектором, наведені в [26–28], показали, що охолодження ґрунту навколо свердловин відбувається дуже швидко. Уже через рік експлуатації ТНУ температура нейтрального шару біля свердловин знизиться з 10 °С до 1,5 °С [20]. За життєвий цикл експлуатації ТНУ охолоджені плями ґрунту, які виникають навколо свердловин, зімкнуться в одну велику пляму, що зробить ґрунт непридатним до рослинництва, порушиться екологічна рівновага та виникає дискомфорт для мешканців. Причому, охолоджені площі будуть в декілька разів перевищувати

**Таблиця 8.** Тепловий потенціал димових газів котелень та ТЕЦ

Область	Відпуск теплової енергії, тис. Гкал	Покриття території СЦТ, % [16]	Доступний потенціал, тис. Гкал	Доступна потужність, МВт
Вінницька	2483,2	19	28,4	8,4
Волинська	1388,6	33	27,6	8,1
Дніпропетровська	10517,9	52	329,3	97,0
Донецька	7070,7	46	195,8	57,7
Житомирська	1701,8	12	12,3	3,6
Закарпатська	384,3	0	0,0	0,0
Запорізька	4543,3	53	145,0	42,7
Івано-Франківська	2250,2	10	13,5	4,0
Київська	16641,3	34	808,8	238,2
Кіровоградська	1539,8	16	14,8	4,4
Луганська	1768,6	40	42,6	12,5
Львівська	3523,8	31	65,8	19,4
Миколаївська	4623,4	36	100,2	29,5
Одеська	3255,1	45	88,2	26,0
Полтавська	3936,4	42	99,5	29,3
Рівненська	3353,4	23	46,4	13,7
Сумська	2158,0	37	48,1	14,2
Тернопільська	906,1	11	6,0	1,8
Харківська	8282,5	52	259,3	76,4
Херсонська	1159,9	23	16,1	4,7
Хмельницька	1949,3	22	25,8	7,6
Черкаська	3404,9	28	57,4	16,9
Чернівецька	503,4	17	5,2	1,5
Чернігівська	1608,0	24	23,2	6,8
<b>Всього</b>	<b>88954,1</b>		<b>2459,2</b>	<b>724,3</b>

площі свердловин. Використання реверсивного режиму ТНУ в теплий період року для охолодження приміщень дещо зменшують ефект охолодження, але не усувають його повністю тому, що потреби в теплопостачанні набагато більші ніж в холодопостачанні. Процес відновлення температури ґрунту після виведення ТНУ із експлуатації займає понад 20 років [26, 28], оскільки тепловий потік від надр землі становить всього 0,05–0,12 Вт/м<sup>2</sup> [29].

Під час використання ТНУ теплоти ґрунтових вод вони подаються в теплообмінник, а охоложені води зливаються в ґрунт на деякій відстані від її забору, що призводить до інтенсивного втручання в гідрологічний режим надр. Крім того, це може призвести до нестачі дебіту або деградації джерела [26, 28].

ТНУ, які використовують теплоту природних водойм та річок, мають найбільший коефіцієнт перетворення енергії порівняно із іншими типа-

ми. Їх робота призводить до високого ступеня охолодження річок та озер [26, 28], наслідки від чого практично не вивчені.

Теплоту навколишнього повітря доцільно використовувати для ТНУ у кліматичних зонах з температурою не менше як +5 °С та стабільними погодними умовами. Під час коливання температур навколишнього повітря в опалювальний сезон в широкому діапазоні використання повітряних ТНУ недоцільно [29]. У разі використання потужних повітряних ТНУ необхідно враховувати те, що вони є джерелом підвищеного рівня шуму для навколишнього середовища. Так, для отримання 1 кВт теплової потужності потрібно прокачувати через випарник або теплообмінник в середньому близько 300 м<sup>3</sup>/год повітря [30], а відповідно для 1МВт – 300000 м<sup>3</sup>/год. І тому концентрація великого рівня потужності повітряних ТНУ в 300000 м<sup>3</sup>/год одному місці (ко-

**Таблиця 9.** Потужність джерел низькопотенційної теплоти, які доступні для ТНУ СЦТ, МВт

Область	Вентиляційні викиди теплоти будівель, приєднаних до СЦТ	Стічні води	Теплота ґрунтів та ґрунтових вод	Теплота повітря	Скидна теплота котелень та ТЕЦ	Теплота річок	Разом
Вінницька	45,0	2,9	3,2	5,0	8,4	5,2	69,8
Волинська	40,6	3	3,2	10,5	8,1		65,4
Дніпропетровська	225,0	60,1	7,3	165,0	97,0	54,7	609,0
Донецька	142,1	22,5	20,3	178,8	57,7	6,2	427,5
Житомирська	22,6	1,4	1,7	3,8	3,6		33,1
Закарпатська	0,0	0	0,0	0,0	0,0		0,0
Запорізька	122,5	19,5	6,2	70,2	42,7		261,1
Івано-Франківська	18,2	2,2	0,2	3,2	4,0	1,9	29,8
Київська	451,8	108,2	2,2	110,5	238,2	35,7	946,7
Кіровоградська	21,8	1,7	4,4	8,5	4,4	18,2	58,9
Луганська	42,5	6,4	13,0	61,3	12,5	5,4	141,1
Львівська	96,2	19,4	2,1	20,5	19,4	5,9	163,4
Миколаївська	48,1	5,6	1,4	17,1	29,5	3,1	104,8
Одеська	117,5	18,7	2,9	39,3	26,0	29,7	234,0
Полтавська	86,4	8,6	2,3	33,3	29,3	44,2	204,0
Рівненська	30,3	2,9	1,7	4,9	13,7		53,5
Сумська	63,3	4	2,9	17,6	14,2		102,0
Тернопільська	17,1	1	0,7	1,7	1,8	2,1	24,4
Харківська	85,8	35,2	2,6	111,3	76,4	7,0	318,3
Херсонська	28,5	2,5	1,3	6,1	4,7	24,2	67,3
Хмельницька	41,8	2,9	1,2	7,0	7,6	6,1	66,7
Черкаська	51,7	5,2	4,4	11,8	16,9	29,4	119,5
Чернівецька	19,7	1,1	0,7	7,2	1,5	19,5	49,7
Чернігівська	52,0	2,7	1,2	10,1	6,8		72,9
<b>Всього</b>	<b>1870,6</b>	<b>337,7</b>	<b>87,2</b>	<b>904,7</b>	<b>724,3</b>	<b>298,5</b>	<b>4223,0</b>

тельні) призведе до створення високого рівня шуму та дискомфорту в житловій зоні. Існує великий ризик обмерзання випарника ТНУ у разі використання ТН типу «повітря-вода». Ця обставина означає, що у разі впровадження повітряних ТНУ великої потужності існує загроза зміни мікроклімату житлового масиву (переохолодження в холодну пору року та перегрів влітку).

Тому для ТНУ необхідно перш за все використовувати теплоту штучного походження – вентиляційних викидів будівель, каналізаційних стоків, технологічних процесів промисловості, димових газів котелень та ТЕЦ. Потенціал таких джерел за оцінками авторів становить 3,68 МВт.

#### 4. Висновки

В результаті проведених досліджень:

Оцінено тепловий потенціал вентиляційних викидів будівель, під'єднаних до систем централізованого теплопостачання, стічних каналізаційних вод, теплоти ґрунтів та ґрунтових вод, теплоти повітря, скидної теплоти котелень та ТЕЦ та теплоти великих річок в розрізі областей України.

Визначено доступність теплового потенціалу досліджених джерел низько потенційної теплоти для теплонасосних установок систем централізованого теплопостачання.

Показано, що загальний тепловий потенціал вищезгаданих джерел становить 4,97 ГВт, що дозволяє використовувати теплонасосні установки в системах централізованого тепло-

постачання загальною потужністю потужністю близько 7,5 ГВт.

У разі використання теплонасосними установками природних джерел низькопотенційної теплоти необхідно враховувати, що інтенсивна їх експлуатація може призвести до їх швидкого теплового виснаження та суттєвого впливу на довкілля. Тому необхідно підтримувати такий рівень використання енергії природних теплових джерел, який дозволив би експлуатувати їх без шкоди для навколишнього середовища.

### Посилання

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2001. 41 с.
2. Снежкін Ю.Ф. Енергоефективні теплонасосні технології: стан та перспективи їх впровадження в Україні. *Промышленная теплотехника*. 2017. Т. 39, № 2. С. 18—24.
3. Кудря С.О. Потенціал розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України. Агентство ООН з питань промислового розвитку. К., 2015. 48 с.
4. Енергія довкілля. *Сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України*. URL: <https://saee.gov.ua/ae/termo-energy> (дата звернення: 07.05.2022).
5. Морозов Ю.П., Величко В.В., Кушнір І.О. Оцінка теплового потенціалу верхніх шарів Землі на території України. *Відновлювана енергетика*. 2018. № 4 (55). С. 84—92. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4\(55\).84-92](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4(55).84-92)
6. Фіалко Н.М. Анализ состояния и перспектив использования вторичных энергетических ресурсов в теплоэнергетике Украины. *Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии*. Днепропетровск: НППК «Триакон». 2013. Вып. 2(13). С. 99—104.
7. Куц Г.О. Використання теплових вторинних енергоресурсів у системах теплопостачання міст. *Проблеми загальної енергетики*. 2010. Вип. 1(21). С. 47—53.
8. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії; під заг. ред. А.К. Шидловського. К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. 560 с.
9. Білодід В.Д. Оцінка можливостей підвищення енергетичної ефективності ТЕЦ шляхом використання теплонасосних установок. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. Вип. 2(41). С. 48—56. <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.048>
10. Kulyk M.M., Bilodid V.D. Operational conditions of combined heat-and-power plants with heat pumps and the attainable utilization capacities of heat pumps at such plants in the Integrated Power System of Ukraine. *The Problems of General Energy*. 2014. Issue 1(36). P. 33—38.
11. Дерій В.О., Соколовська І.С., Тесленко О.І. Огляд джерел низькопотенційної теплоти для те-

понасосних установок систем централізованого теплопостачання. *Проблеми загальної енергетики*. 2022. Вип. 1-2 (68-69). С. 30—41. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.030>

12. Про необхідність впровадження енергоефективних заходів. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/pro-neobhidnist-vprovadzheniya-energoefektyvnyh-zahodiv-rozhasnennya-minregionu/> (дата звернення: 07.05.2022).

13. Житловий фонд України. Статистичний збірник. Київ. 2018. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2018/zb/07/zb\\_jf\\_2017\\_pdf.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/07/zb_jf_2017_pdf.pdf)

14. Про теплопостачання: Закон України від 2 червня 2005 року № 2633-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15#Text> (дата звернення: 07.06.2022).

15. Как сохранить и развивать централизованное теплоснабжение в Украине. URL: <http://jkg-portal.com.ua/ru/publication/one/jak-zberegiti-rozvivati-centralizovane-teplopostachannya-v-ukrajini-53570>.

16. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukraini.pdf> (дата звернення: 07.06.2022).

17. Дерій В.О. Можливості впровадження електричних теплогенераторів в системах централізованого теплопостачання. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 3(50). С. 50—59. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.050>

18. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. URL: [http://uas.org.ua/wp-content/uploads/2019/01/dstu-n\\_b\\_v.1.1-27\\_2010.pdf](http://uas.org.ua/wp-content/uploads/2019/01/dstu-n_b_v.1.1-27_2010.pdf).

19. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. URL: <http://www.ecodim.com.ua/ukr/info/documents/dbn-v22-15-2005/>

20. Уланов Н.М., Уланов М.М., Соломко В.Д. Использование низкопотенциального тепла вод различного происхождения для теплоснабжения в ЖКХ и других отраслях экономики Украины. URL: [http://www.journal.esco.co.ua/2012\\_8/art190.htm](http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.htm) (дата звернення: 07.06.2022).

21. Мировой рынок тепловых насосов «воздух-вода». *Мир климата*. № 117 (2019). URL: [https://mir-klimata.info/archive/2019\\_6/mir\\_news\\_117/](https://mir-klimata.info/archive/2019_6/mir_news_117/) (дата звернення: 17.12.2021).

22. Вишневецький В.І. Річки і водойми України: стан і використання. К.: Віпол, 2000. 376 с.

23. Вторинні енергетичні ресурси: поняття, види, класифікація, використання, гідності та недоліки застосування. URL: <https://publish.com.ua/navchannia/vtorinni-energetichni-resursi-ponyattya-vidi-klasifikatsiya-vikoristannya-gidnosti-ta-nedoliki-zastosuvannya.html#teplovi-vtorynni-enerhetychni-resursy> (дата звернення: 07.06.2022).

24. Виробництво промислової продукції за видами по регіонах України за 2019 р. *Держстат України*. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/pr/ovp/vppr\\_ue\\_2019.xlsx](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/pr/ovp/vppr_ue_2019.xlsx) (дата звернення: 17.12.2021).

25. Постачання та використання енергії у 2020 р. *Державна служба статистики*. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

26. Трушевский С.Н. Вариативность мощности термоскважин ТНУ при отрицательных температурах грунта. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskiiy-aspekt> (дата звернення: 07.12.2021).

27. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. URL: <https://docplayer.ru/47616998-Тепловыe-насосы-в-современной-промышлeнности-i-kommunalnoy-инфраструктуре-информационно-методическое-издание.html> (дата звернення: 17.12.2021).

28. Трушевский С.Н. Термоскважины для теплонасосов: экологический аспект. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskiiy-aspekt> (дата звернення: 17.12.2021).

29. Осадчий Г.Б. Условия эффективного использования тепловых насосов в России. URL: [http://www.holodilshchik.ru/Usloviya\\_eff\\_isp\\_teplo\\_nasosov\\_III\\_Osadchiiy.pdf](http://www.holodilshchik.ru/Usloviya_eff_isp_teplo_nasosov_III_Osadchiiy.pdf) (дата звернення: 17.12.2021).

30. Руководство по проектированию. Тепловые насосы. Viessmann Werke GmbH & Co, 2011, 125 с.

## ESTIMATION OF THE POTENTIAL OF LOW GRADE HEAT SOURCES FOR HEAT PUMP PLANTS IN DISTRICT HEATING SYSTEMS

**Volodymyr Derii\***, PhD (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5689-4897>

**Irina Sokolovska**, PhD (Engin.), <https://orcid.org/0000-0003-1959-9837>

**Oleksandr Teslenko**, PhD (Engin.), <https://orcid.org/0000-0002-3772-5991>

Institute of General Energy on NAS of Ukraine, 172, Antonovych Str., 03150, Kyiv, Ukraine; e-mail: [info@ienenergy.kiev.ua](mailto:info@ienenergy.kiev.ua)

\* Corresponding author: [derii.volodymyr@gmail.com](mailto:derii.volodymyr@gmail.com)

**Abstract.** *Methodology and calculation formulas are proposed for estimating the thermal potential and its distribution by the regions of Ukraine for natural and artificial (anthropogenic) low-grade heat sources: ambient air, ventilation emissions of buildings connected to district heating systems, soils and groundwater, large rivers, wastewater, waste heat of boilers and CHPs, and industrial waste heat. The availability of thermal potential of these sources for heat pump plants of district heating systems has been determined. Annual heat potential and average annual capacity were estimated for each of these sources. It is shown that the annual heat potential and average annual capacity available for heat pump plants in district heating systems are: 9,735 thous. Gcal and 905 MW for ambient air; 25,655 thous. Gcal and 1,871 MW for ventilation emissions of buildings; 2,628 thous. Gcal and 87 MW for soil and groundwater; 3,212 thous. Gcal and 299 MW for large rivers; 4,545 thous. Gcal and 338 MW for wastewater; 2,459 thous. Gcal and 724 MW for waste heat of boilers and CHPs; 7,661 thous. Gcal and 214 MW for industrial waste heat, respectively. The total thermal potential of the above-mentioned sources is 4.97 GW which enables the use of heat pump plants in district heating systems with a total capacity of about 7.5 GW. In the case of heat pump plants using low grade heat sources of natural origin, it must be taken into account that their intensive use can lead to their rapid thermal exhaustion and a significant impact on the environment. Therefore, it is necessary to maintain such level of energy use of natural low grade heat sources that would enable their exploitation without harming the environment. In the conditions of densely built-up cities of Ukraine, the use of heat of the soil and groundwater for heat pump plants will be limited due to the shortage of free land plots. It will also be problematic to use powerful air heat pump plants in populated areas due to their high noise level.*

**Keywords:** heat pump plant, district heating systems, low grade heat source, thermal potential.

### References

1. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvanykh ta netradytsiinykh dzherel enerhii Ukrainy. (2001). K.: Instytut elektrodynamiky NAN Ukrainy. 41 p. [in Ukrainian].

2. Sniezhkin, Yu.F. (2017). Enerhoefektyvni teplonasosni tekhnolohii: stan ta perspektyvy yikh vprovadzhennia v Ukraini. *Promyshlennaya teplotekhnika, Vol. 39, No. 2*, 18-24 [in Ukrainian].

3. Kudria, S.O. (2015). Potentsial rozvytku netradytsiinykh i vidnovliuvanykh dzherel enerhii. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti ta stymulivannia vykorystannia vidnovliuvanoi enerhii v ahro-kharchovykh ta inshykh malykh ta serednykh pidpriemstvakh (MSP) Ukrainy. Ahentstvo OON z pytan promyslovoho rozvytku. Kyiv. 48 p. [in Ukrainian].

4. Enerhiia dovkillia. *Sait Derzhavnoho ahentstva z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy*. URL: <https://sae.gov.ua/ae/termo-energy>.
5. Morozov, Yu., Velychko, V., & Kushnir, I. (2008). Evaluation of the heat potential of the upper layers of the earth on the territory of Ukraine. *Vidnovlyuvana energetika*, 4(55), 84–92. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4\(55\).84-92](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2018.4(55).84-92)
6. Fialko, N.M. (2013). Analiz sostoyaniya i perspektiv ispol'zovaniya vtorichnykh energeticheskikh resursov v teploenergetike Ukrainy. *Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies*, 2(13), 99–104 [in Russian].
7. Kuts, G.O. (2010). The use thermal secondary power resources in the urban heat supply systems. *The Problems of General Energy*, 1(21), 47–53 [in Ukrainian].
8. Shydlovskiy, A.K. (Ed.). (2007). Enerhoefektyvnist ta vidnovliuvalni dzherela enerhii. Kyiv: Ukrainski entsyklopedychni znannia. 560 p. [in Ukrainian].
9. Bilodid, V.D. (2015). Assessing the possibilities for improving energy efficiency of TPPs based on flue gas heat exchangers and using heat pump installations. *The Problems of General Energy*, 2(41), 48–56 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.02.048>
10. Kulyk, M.M., & Bilodid, V.D. (2014). Operational conditions of combined heat-and-power plants with heat pumps and the attainable utilization capacities of heat pumps at such plants in the Integrated Power System of Ukraine. *The Problems of General Energy*, 1(36), 39–45 [in Ukrainian].
11. Derii, V.O., Sokolovska, I.S., & Teslenko, O.I. (2022). Overview of low grade heat sources for heat pump plants in district heating systems. *The Problems of General Energy*, 1-2(68-69), 30–41 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.030>
12. Pro neobkhidnist vprovadzhennia enerhoefektyvnykh zakhodiv. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/pro-neobhidnist-vprovadzhennya-energoefektyvnyh-zahodiv-roz'yasnennya-minregionu/> (Last accessed: 07.05.2022) [in Ukrainian].
13. Zhytloviy fond Ukrainy. Statystychni zbirnyk. Kyiv. 2018. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2018/zb/07/zb\\_jf\\_2017\\_pdf.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/07/zb_jf_2017_pdf.pdf) [in Ukrainian].
14. On Heat Supply: Law of Ukraine vid 02.06.2005 No. 2633-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15#Text> (Last accessed: 07.06.2022) [in Ukrainian].
15. Kak sokhranit' i razvivat' tsentralizovannoye teplosnabzheniye v Ukraine. URL: <http://jkg-portal.com.ua/ru/publication/one/jak-zberegiti--rozvivati-centralzovane-teplopostachannya-v-ukrajini-53570>.
16. Rozvytok vidnovliuvanykh dzherel enerhii v Ukraini. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf> (Last accessed: 07.06.2022) [in Ukrainian].
17. Derii, V.O. (2017). Possibilities of the introduction of electric heat-generators in district heating systems of Ukraine. *The Problems of General Energy*, 3(50), 50–59 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.050>
18. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Protection against the dangerous geological processes, harmful operational influences, against the fire. Building climatology. URL: [http://uas.org.ua/wp-content/uploads/2019/01/dstu-n\\_b\\_v.1.1-27\\_2010.pdf](http://uas.org.ua/wp-content/uploads/2019/01/dstu-n_b_v.1.1-27_2010.pdf) [in Ukrainian].
19. DBN V.2.2-15-2005 Budynky i sporudy. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia. URL: <http://www.ecodim.com.ua/ukr/info/documents/dbn-v22-15-2005/> [in Ukrainian].
20. Ulanov, N.M., Ulanov, M.M., & Solomko, V.D. (2012). Ispolzovaniye nizkopotentsialnogo tepla vod razlichnogo proiskhozhdeniya dlya teplosnabzheniya v ZhKKh i drugikh otraslyakh ekonomiki Ukrainy. URL: [http://www.journal.esco.co.ua/2012\\_8/art190.htm](http://www.journal.esco.co.ua/2012_8/art190.htm) (Last accessed: 07.06.2022) [in Russian].
21. Mirovoy rynek teplovykh nasosov «vozdukh-voda». (2019). *Mir klimata*. № 117. URL: [https://mir-klimata.info/archive/2019\\_6/mir\\_news\\_117/](https://mir-klimata.info/archive/2019_6/mir_news_117/) (Last accessed: 17.12.2021) [in Russian].
22. Vyshnevskiy, V.I. (2000). Richky i vodoimy Ukrainy: stan i vykorystannia. K.: Vipol. 376 p. [in Ukrainian].
23. Vtorynni enerhetychni resursy: poniattia, vydy, klasyfikatsiya, vykorystannia, hidnosti ta nedoliky zastosuvannia. URL: <https://publish.com.ua/navchannia/vtorinni-energetichni-resursi-ponyattya-vidi-klasifikatsiya-vikorystannya-gidnosti-ta-nedoliki-zastosuvannya.html#teplovi-vtorynni-enerhetychni-resursy> (Last accessed: 07.06.2022) [in Ukrainian].
24. Vyrobnystvo promyslovoi produktsii za vydamy po rehionakh Ukrainy za 2019 r. *Derzhstat Ukrainy*. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/pr/ovp/vppr\\_ue\\_2019.xlsx](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/pr/ovp/vppr_ue_2019.xlsx) (Last accessed: 17.12.2021) [in Ukrainian].
25. Postachannia ta vykorystannia enerhii u 2020 r. *Derzhavna sluzhba statystyky*. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
26. Trushevskiy, S.N. Variativnost moshchnosti termoskvazhin TNU pri otritsatelnykh temperaturakh grunta. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskiiy-aspekt> (Last accessed: 07.12.2021) [in Russian].
27. Teplovyeye nasosy v sovremennoy promyshlennosti i kommunalnoy infrastrukture. URL: <https://docplayer.ru/47616998-Teplovyeye-nasosy-v-sovremennoy-promyshlennosti-i-kommunalnoy-infrastrukture-informacionno-metodicheskoe-izdanie.html> (Last accessed: 17.12.2021) [in Russian].
28. Trushevskiy, S.N. Termoskvazhiny dlya teplonasosov: ekologicheskiiy aspekt. URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/termoskvazhiny-dlya-teplonasosov-ekologicheskiiy-aspekt> (Last accessed: 17.12.2021) [in Russian].
29. Osadchiy, G.B. Usloviya effektivnogo ispolzovaniya teplovykh nasosov v Rossii. URL: [http://www.holodilshchik.ru/Usloviya\\_eff\\_isp\\_templ\\_nasosov\\_III\\_Osadchiy.pdf](http://www.holodilshchik.ru/Usloviya_eff_isp_templ_nasosov_III_Osadchiy.pdf) (Last accessed: 17.12.2021) [in Russian].
30. Rukovodstvo po proyektirovaniyu. Teplovyeye nasosy. (2011). Viessmann Werke GmbH & Co, 125 p. [in Russian].

Надійшла до редколегії: 06.09.2022