

*Ю. Л. Коваленко, О. В. Хандогіна*  
*Харківський національний університет*  
*міського господарства імені О.М. Бекетова*

## **ВРАХУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ В ПРОЦЕСІ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ЕНЕРГОНОСІЇВ**

Стаття присвячена визначенню та дослідженню еколого-економічних критеріїв оцінки енергоносіїв, які використовуються для теплопостачання будинків, на основі кількості тепла та емісії забруднюючих речовин в атмосферу. Розглянуто різні варіанти застосування енергоносіїв та відповідні конструктивні схеми опалювальних систем, які найчастіше використовуються в житлових будинках. Проведено розрахунки вартості теплової енергії, що надійшла для обігріву будівлі для поширених видів палива (кам'яного вугілля, дров, пелет), електроенергії, централізованого теплопостачання. Також за усередненими показниками проведено порівняльну оцінку питомих викидів забруднюючих речовин для котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах. Встановлено, що мінімальна вартість одиниці тепла досягається при спалюванні пелет, дров, проте використання таких енергетичних джерел призводить до додаткових трудовитрат, а найкомфортнішим і найменш трудомістким є користування послугами центрального теплопостачання, газовий або електричний котел із системою водяного опалення. Визначено, що з точки зору несприятливого впливу на навколишнє середовище в місці розташування опалюваного об'єкта, найбільш безпечними є котел, що працює на природному газі, централізоване теплопостачання, електродкотел. Запропоновано шляхи зниження вартості одиниці теплової енергії, поданої в будівлю шляхом використання теплових насосів. Проведено оцінку вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, яка показала суттєве зниження вартості теплової енергії, поданої в будівлю в разі застосування теплового насоса в різних варіантах конструктивних особливостей системи опалення в залежності від кліматичних умов у порівнянні з варіантами без застосування теплового насоса.

**Ключові слова:** енергоносії, кліматичні умови, оцінка впливу на довкілля, емісія забруднюючих речовин, вартість одиниці тепла, тепловий насос, проектування схеми теплопостачання.

**Постановка проблеми.** Енергозбереження та енергоефективність в сучасних умовах є одними з пріоритетних напрямів функціонування вітчизняної економіки. За оцінкою експертів [1], структура кінцевого енергоспоживання в Україні поділяється на три категорії: електроенергія (29%), тепла енергія (52%) та транспорт (19%), при чому понад половину загального споживання енергії потребує виробництво теплової енергії, яка найбільше використовується для теплопостачання будівель і споруд. Питання вибору схеми теплопостачання в процесі проектування та будівництва будівель є одних з найважливіших. Насамперед береться до уваги вартість прокладання інженерних мереж для подачі відповідного енергоносія, придбання та монтажу теплогенеруючого обладнання, витрати на його експлуатацію. Проте це не дозволяє врахувати інші еколого-економічні характеристики енергоносіїв, що може вплинути на процес прийняття рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання оптимізації теплопостачання будівель, впровадження інноваційних технологій при проектуванні та експлуатації систем енергопостачання в контексті забезпечення енергетичної безпеки – з одного боку, та зниження навантаження на навколишнє середовище – з іншого, активно обговорюється в працях українських та закордонних вчених. Роботи присвячені, зокрема, розробці заходів щодо термомодернізації будівель та споруд, дослідженню їх ефективності, особливостям вибору та впровадження (К.М. Предун [2], А.С. Максимов, О.М. Галінський [3], Ф.В. Фош [4], D. D'Agostino, D. Parker, P. Melia [5], G. Di Foggia [6]), питанням взаємного впливу кліматичних змін та різних аспектів енергоефективності будівель (Б.І. Басок, Є.Т. Базєєв, І.В. Кураєва [7], Д.В. Тарасевич, О.В. Богдан [8], M.R.Gaterell, M.E.McEvoy [9], L. Clarke та ін. [10]), аналізу використання різних типів джерел теплопостачання (К.В. Юхимчук, В.В. Петрусь [11], О.В. Замицький, А.А. Калініченко [12]) тощо.

**Мета та завдання роботи.** Для більш обґрунтованого вибору схеми теплопостачання в процесі проектування та будівництва будівель, на думку авторів, окрім перерахованих вище характеристик, також необхідно брати до уваги результати порівняльної економічної та екологічної оцінки енергоносіїв, що застосовуються для теплопостачання житлових будинків, що стало темою справжніх досліджень.

Метою дослідження є визначення критеріїв еколого-економічного порівняння енергоносіїв в сфері теплопостачання та проведення оцінки для визначення оптимальних енергоносіїв з точки зору вартості одиниці тепла та забруднення атмосферного повітря.

**Виклад основного матеріалу.** У ході проведення порівняльної оцінки, будемо зіставляти вартість 1 МДж тепла, що надходить до будівлі від різних енергоносіїв, питому емісію забруднюючих речовин у навколишнє середовище у місці дислокації об'єкта теплопостачання, наведену до 1 МДж тепла.

Теплотворна здатність багатокomпонентних горючих речовин залежить від їх складу та багатьох інших факторів. До таких речовин належить кам'яне вугілля, дрова, пелети, нафтопродукти.

Для кожного виду палива теплотворна здатність може бути визначена за формулами з використанням вихідних даних хімічного складу речовини. Крім того, теплотворна здатність більшості видів палива залежить від його вологості, умов зберігання, технології підготовки та інших факторів. [13].

У ході досліджень приймалися середні значення вартості енергоносіїв у 2021 році, виходячи з тарифів енергопостачальних підприємств, роздрібних цін торговельних організацій, що працюють на території України, Харківської області, а саме: вартість електроенергії для населення (обсяг понад 250 кВт·год) - 1,68 грн. за 1 кВт·годину [14]. Для абонентів житлових будинків із будинковими та квартирними приладами обліку теплової енергії тариф на послуги з централізованого опалення становить 1 539,50 грн./Гкал [15]. Роздрібні ціни на природний газ для населення становлять, з урахуванням доставки, 8,47 грн/м<sup>3</sup> [16]. Нижча теплотворна здатність газу приймалася 31,8 МДж/м<sup>3</sup> [17]. Значення коефіцієнта корисної дії поширених моделей котлів становить 90 % [18]. Для вугілля марки ДГ 13-100 (сортовий) теплотворна здатність становитиме 6100 ккал/кг. Середня вартість вугілля – 3 800 грн/т. Для пелет із лушпиння соняшника теплотворна здатність складе 4300 ккал/кг. Середня вартість пелетів – 1 100 грн/т. Для дров дубових теплотворна здатність складе 4200 ккал/кг. Середня вартість дров 700 грн/м<sup>3</sup> (методом складування "один на один"). Середня щільність складованих дубових дров приймалася 514 кг/м<sup>3</sup>. Значення коефіцієнта корисної дії широко поширених моделей твердопаливних котлів досягає 85% [19, 20].

Вплив на довкілля у місці дислокації опалюваного приміщення під час використання різних типів палива можна оцінити виходячи з наступного: застосування теплоносія із мереж централізованого теплопостачання та електроенергії практично не призводить до впливу на навколишнє середовище в місці розташування опалюваного приміщення, а викиди від електростанцій та теплоелектроцентралей здійснюються, як правило, за межами селітебних територій, на об'єктах, які обладнані відповідними очисними спорудами, газоочисними установками та мають санітарно-захисні зони.

Емісія забруднюючих атмосферу речовин залежить від технологічних та конструктивних особливостей теплогенеруючого пристрою, виду та якості палива, особливостей організації процесу спалювання та відведення димових газів. Специфічний показник емісії визначається шляхом проведення інструментальних досліджень для кожної конкретної теплосилової установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднюючої речовини.

Враховуючи різноманітність конструктивних та технологічних особливостей обладнання, індивідуальних характеристик палива, для порівняльної оцінки доцільно використовувати значення узагальнених показників (питомих викидів). Узагальнені показники емісії (питомі викиди) основних речовин, що забруднюють атмосферу від котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах можна визначити, використовуючи відкриті джерела інформації [21, 22].

Розглянемо варіанти застосування енергоносіїв та відповідні конструктивні схеми опалювальних систем, що найчастіше застосовуються для житлових будинків.

1. Будинок підключений до мереж центрального тепlopостачання та обладнаний системою водяного опалення.

2. Будинок підключений до мереж електропостачання, що забезпечує можливість підключення електроопалювальних установок, наприклад електрокотла із системою водяного опалення.

3. Будинок підключений до мереж природного газу. Будинок обладнаний газовим котлом та системою водяного опалення.

4. Будинок обладнаний твердопаливним котлом та системою водяного опалення. Як паливо можливе використання кам'яного вугілля, пелет, дров.

Як критерій порівняльної оцінки в роботі використано вартість 1 МДж тепла, що надходить до будівлі від різних енергоносіїв.

На практиці, як випливає з аналізу джерел інформації, вартість основних видів енергоносіїв не прив'язана до одиниці тепла, яке вони містять, а виражається у вартості одиниці, що легко піддається виміру – кубічного метра, тони, кВт·год. В даному дослідженні використано показник вартості одиниці тепла, яке енергоносієм постачає до будинку, з урахуванням втрат та непродуктивних витрат у теплогенеруючому обладнанні.

У ході роботи виконані розрахунки вартості одиниці (якою обрано 1 МДж) тепла, що надходить безпосередньо в опалювальне приміщення. При цьому використано середні значення теплотворної здатності палива, коефіцієнтів корисної дії теплогенеруючого обладнання.

Вихідні дані та результати розрахунку наведених значень вартості одиниці теплової енергії, отриманої для обігріву будівлі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вихідні дані та результати розрахунку наведених значень вартості одиниці теплової енергії, що надійшла для обігріву будівлі [13, 23-27]**

№ з/п	Найменування, одиниця виміру енергоносія	Вартість	Теплотворна здатність	Вартість одиниці виробленої енергії, грн/МДж	Тепловий к.к.д., %	Вартість одиниці одержаної енергії, грн/МДж
1	Електроенергія, кВт·год	1,68 грн / кВт·год	3,6 МДж /кВт·год	0,4670	100	0,467
2	Теплоносієм міських теплових мереж, Гкал	1 539,50 грн./Гкал	4 190 МДж/Гкал	0,3670	100	0,367
3	Природний газ, м <sup>3</sup>	8,47 грн/м <sup>3</sup>	38,5 МДж/м <sup>3</sup>	0,2200	90	0,244
4	Вугілля кам'яне, т	3 800 грн/т	6 100 ккал/кг	0,1490	85	0,175
5	Дрова, м <sup>3</sup>	700 грн/м <sup>3</sup>	4 200 ккал/кг	0,0773	85	0,091
6	Пелети, т	1 100 грн/т	4 300 ккал/кг	0,0610	85	0,072

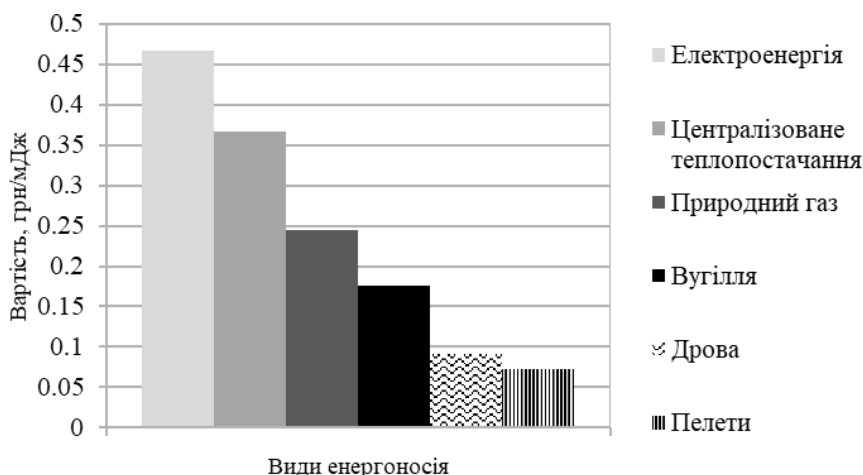
Результати зіставлення наведених значень вартості одиниці теплової енергії у порядку градації вартості одиниці отриманої енергії наведені на діаграмі (рис. 1).

Як випливає з діаграми, мінімальна вартість одиниці тепла досягається при спалюванні пелет, дров.

З іншого боку, використання твердого палива з мінімальною вартістю одиниці отриманого тепла призводить до додаткових, значних трудовитрат, пов'язаних з постачанням палива, організацією його зберігання, необхідністю регулярного завантаження топки котла і видалення твердих залишків продуктів згоряння.

Найкомфортнішим і найменш трудомістким є користування послугами центрального тепlopостачання, а в разі локального опалення – використовувати газовий або електричний котел із системою водяного опалення.

Одиниця тепла, отримана від використання електроенергії в електрочотлі, обходиться майже в 2 рази дорожче, ніж одиниця тепла, отримана при спалюванні природного газу і в 5 – 6 разів перевищує вартість одиниці тепла, отриманого при спалюванні дров та пелет.



**Рис. 1. Наведені значення вартості одиниці теплової енергії у порядку градації вартості одиниці отриманої енергії**

Порівнюємо емісію забруднюючих речовин у навколишнє середовище в місці дислокації об'єкта тепlopостачання, наведену до 1 МДж тепла.

При використанні централізованого тепlopостачання, як вже зазначалося вище, безпосередньо процес опалення приміщення не призводить до впливу на довкілля, а процес генерації цієї енергії відбувається на енергетичних об'єктах, на яких впроваджені технічні та архітектурно-планувальні рішення зниження впливу на довкілля.

Порівняльна оцінка питомих викидів, проведена за усередненими показниками питомих викидів, для котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах наведено в таблиці 2. Показники емісії (питомі викиди) основних забруднюючих речовин від котлів, які працюють на різних видах палива, визначені на основі аналізу та узагальнення даних з літературних джерел [22, 28-34].

Таблиця 2

**Питомі викиди котлів**

№ з/п	Найменування палива	Питомі викиди, г/ГДж				
		зважені тверді частки	СО	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	неметанові леткі органічні сполуки
1	Природний газ	-	249	64	-	-
2	Вугілля	2310	1870	101	2510	600
3	Дрова	500	4000	80	11	350
4	Пелети	62	300	80	11	10

Виходячи з результатів аналізу виконаних розрахунків, з точки зору несприятливого впливу на навколишнє середовище в місці дислокації об'єкта, що опалюється, найбільший інтерес для опалення індивідуального житлового будинку представляє котел, що працює на природному газі, централізоване тепlopостачання, електрочотел.

За відсутності можливості підключення до теплових мереж і мереж газопостачання, а також можливості забезпечити постійну експлуатацію твердопаливного котла найбільш доцільним є застосування електрочотлів.

Враховуючи, що одиниця тепла, отриманого в результаті використання електроенергії, обходиться дорожче, ніж при використанні інших джерел енергії, цікавить розгляд варіанта скорочення витрати електроенергії шляхом застосування теплового насоса, які набули широкого поширення для опалення будинків (зокрема такі, які працюють за схемою «повітря-вода»).

Основний показник енергоефективності теплового насоса - коефіцієнт продуктивності (далі - COP). Його також часто називають коефіцієнт продуктивності, коефіцієнт корисної дії [35].

Теоретично максимальний COP теплового насоса:

$$\text{COP} = \frac{T_h}{T_h - T_c}, \quad (1)$$

де:  $T_h$  – температура підігрітого в термодинамічному циклі теплоносія, тепло якого використовується для обігріву приміщення, К;  $T_c$  – температура охолодженого в термодинамічному циклі теплоносія, який використовується для відбору тепла зовнішнього повітря, К.

Реальний COP теплового насоса практично набагато нижче [36-40].

Аналізуючи каталоги обладнання, можна зробити висновок, що для досягнення температури в опалювальному приміщенні 70 °F, при температурі зовнішнього повітря 47 °F, COP становитиме 3,8, а при температурі зовнішнього повітря 17 °F, COP становитиме 2,6.

У ході проектування теплових насосів [41] коефіцієнт потужності для сучасних апаратів можна визначити приблизно за такою емпіричною формулою:

$$s = 0,5 \cdot \left( \frac{T_h}{T_h - T_c} \right), \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт продуктивності теплового насоса;  $T_h$ , – температура гарячого теплоносія, К;  $T_c$  – температура зовнішнього повітря, К.

При використанні традиційних схем радіаторного опалення значення температури гарячого теплоносія, як показує аналіз рекомендацій з проектування численних виробників такого обладнання, задають близькою до 50 °C. Враховуючи, що зниження температури гарячого теплоносія призводить до підвищення значення коефіцієнта потужності, при проектуванні систем часто застосовують систему «тепла підлога», що має велику площу поверхні теплообміну, що дозволяє ефективно використовувати теплоносії, нагрітий до 35 °C.

Для проведення порівняльної оцінки розглянемо тепловий насос, який працює за схемою «повітря-вода». Враховуючи, що коефіцієнт потужності теплового насоса – величина змінна, що залежить від температури зовнішнього повітря, зіставлення ефективності енергоносіїв проведемо з урахуванням кліматичних умов регіону розташування опалювальної будівлі.

Вартість одиниці тепла, отриманого від теплового насоса  $C_p$  становитиме:

$$C_p = \frac{c}{s}, \text{ МДж}, \quad (3)$$

де  $C_e$  – вартість електроенергії, що надійшла до будівлі, грн/МДж;  $\varepsilon$  – коефіцієнт потужності теплового насоса.

З урахуванням емпіричної формули, яка використовується під час проектування теплових насосів, для визначення значень коефіцієнта потужності 2) вартість одиниці тепла, отриманого від теплового насоса складе:

$$C_p = \varepsilon_e \cdot \left( 1 - \frac{T_c}{T_h} \right). \quad (4)$$

Цікавим є розгляд двох варіантів конструктивних особливостей системи опалення з тепловим насосом:

1. Традиційна схема радіаторного опалення.
2. Система «тепла підлога», що має велику площу поверхні теплообміну.

У першому варіанті як вихідні дані можна прийняти температуру гарячого теплоносія 50 °C, у другому - 35 °C.

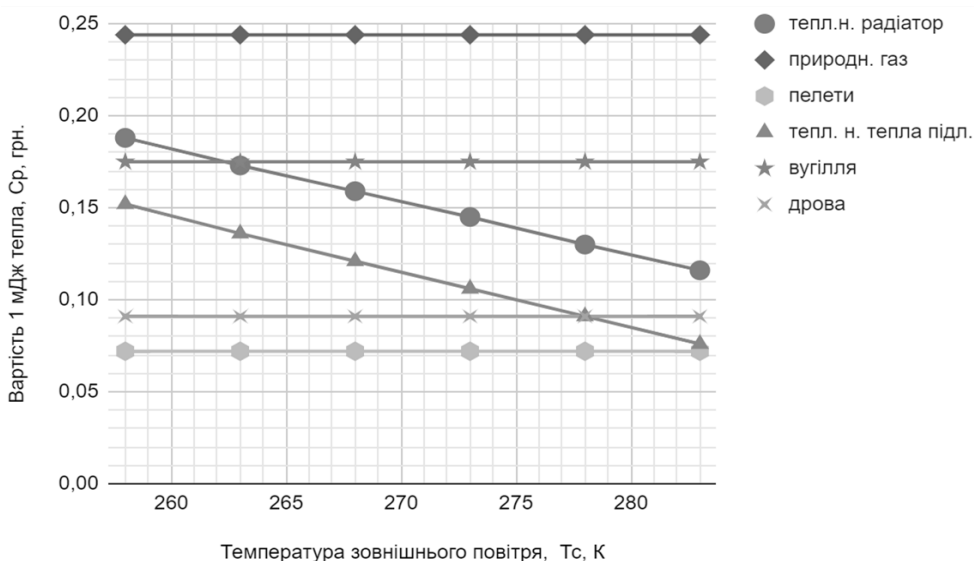
Результати зіставлення вартості теплової енергії, поданої в будинок із застосуванням теплового насоса з обраними базовими джерелами енергії, наведено на рис.2.

Вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, істотно залежить від кліматичних умов, а саме від зовнішньої температури в місці дислокації будівлі.

У разі застосування теплового насоса, вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, стає нижчою від вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням котла, що працює на природному газі та енергії, поданої в будівлю від джерела централізованого тепlopостачання практично на всьому діапазоні температур зовнішнього повітря у період опалювального сезону для всіх регіонів України.

У разі застосування теплового насоса та схеми радіаторного опалення вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса, стає нижчою від вартості теплової

енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на кам'яному вугіллі при температурі зовнішнього повітря 263 К (–10 °С).



**Рис. 2. Результати зіставлення вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса з вибраними базовими джерелами енергії**

При цьому вона перевищує вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на дровах та пелетах по всьому діапазону температур зовнішнього повітря в період опалювального сезону.

У разі застосування схеми опалення "тепла підлога" ефективність застосування теплового насоса зростає. Так, вартість теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням теплового насоса нижче вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням котла, що працює на природному газі, твердопаливного котла, що працює на кам'яному вугіллі та енергії, поданої в будівлю від джерела централізованого тепlopостачання практично на всьому діапазоні температур зовнішнього повітря під час опалювального сезону для всіх регіонів України. Вона стає нижчою від вартості теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на дровах при температурі зовнішнього повітря 278 К (+5 °С) і порівнюється з вартістю теплової енергії, поданої в будівлю із застосуванням твердопаливного котла, що працює на пелетах при температурі зовнішнього повітря, що відповідає початку або завершенню опалювального сезону.

Висновки. Запропоновано алгоритм вибору оптимального, з погляду мінімальної вартості одиниці отриманої енергії, теплоносія, що дозволяє кожному населеному пункту з урахуванням особливостей місцевої тарифної політики ринку енергоносіїв, кліматичних особливостей, наявності інженерних мереж проводити обґрунтований вибір схеми тепlopостачання будинку.

Визначено та проаналізовано вартість одиниці отриманої енергії та питомі викиди у місці дислокації опалюваного об'єкта, при застосуванні різних схем опалення та видів палива, які можуть бути додатковими критеріями для вибору схеми тепlopостачання будівель в осінньо-зимовий опалювальний сезон.

Встановлено, що використання теплового насоса, який не здійснює негативного впливу на навколишнє середовище в місці розташування опалюваного приміщення, дозволяє знизити вартість теплової енергії, поданої в будівлю в залежності від конструктивних особливостей системи опалення по відношенню до деяких базових джерел енергії. Результати проведеного дослідження дозволяють отримати додаткові критерії в процесі вибору схеми тепlopостачання з урахуванням еколого-економічних показників.

### Література

1 Гелетуха Г. Як декарбонізувати сектор тепlopостачання // Екополітика. 04.06.2021. URL <https://ecopolitic.com.ua/ua/comments/yak-dekarbonizuvati-sektor-teplopостachannya/> (дата звернення: 28.10.2022).

2 Предун К. М. Підвищення енергоефективності існуючого житлового фонду України // Містобудування та територіальне планування. 2017. № 65. С. 462 – 466.

- 3 Максимов А. С., Галінський О.М. Особливості організації реалізації проєктів термомодернізації // Управління розвитком складних систем. 2020. Вип. 44. С.168-174.
- 4 Фощ А. В. Термомодернізація будівель – ресурс енергозбереження в Україні // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2016. № 65. С. 137 – 141.
- 5 D'Agostino D., Parker D., Melià P. Environmental and economic implications of energy efficiency in new residential buildings: A multi-criteria selection approach // Energy Strategy Reviews. 2019. Vol. 26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100412> (дата звернення: 27.10.2022).
- 6 Di Foggia G. Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goal // Heliyon. 2018. Vol. 4. P. 1-21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00953> (дата звернення: 27.10.2022).
- 7 Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Кураєва І. В. Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату // Вісник Національної академії наук України. 2012. № 4. С. 60-75. URL: <https://doi.org/10.15407/vishn2021.04.060> (дата звернення: 27.10.2022).
- 8 Тарасевич Д. В., Богдан О. В. Зміни кліматичних показників України та їх вплив на вибір архітектурно-планувальних рішень // Проблеми теорії та історії архітектури України. 2021. № 21.С. 232 – 242.
- 9 Gaterell M.R., McEvoy M.E. The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings // Energy and Buildings. 2005. Vol. 37. P. 982 – 995. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.015> (дата звернення: 27.10.2022).
- 10 Clarke L., Zhou Yu. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures // Energy Economics. 2018. Vol. 72. P. 667-677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.003> (дата звернення: 27.10.2022).
- 11 Юхимчук К. В., Петрусь В. В. Порівняльний аналіз використання теплових насосів та газових котлів для теплопостачання багатопверхового житлового будинку // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 2019. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25029/52975.pdf> (дата звернення: 27.10.2022).
- 12 Замицький О. В., Калініченко А. А. Принципи застосування альтернативних джерел енергії на об'єктах теплопостачання комунального господарства та виробництва // Вісник Криворізького національного університету. 2019. Вип. 48. С. 148-154.
- 13 Серьогін О. О., Осьмак О. О., Башта А. В. Фізико-хімічні основи проектування обладнання для термохімічної конверсії сумішей біотехнічних відходів // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків. 2014. № 52 (1094). С. 124-130. URL: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/13624/1/vestnik\\_HPI\\_2014\\_52\\_Serohin\\_Fizyko.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/13624/1/vestnik_HPI_2014_52_Serohin_Fizyko.pdf) (дата звернення: 24.10.2022)
- 14 Тарифи на електроенергію для населення 2020 // Prostobank.ua 10.2022. URL: [https://www.prostobank.ua/spravochniki/indikatory\\_rynka/electric\\_tariff](https://www.prostobank.ua/spravochniki/indikatory_rynka/electric_tariff) (дата звернення: 24.10.2022).
- 15 Харківські теплові мережі: [Веб-сайт]. Харків, 2022. URL: [https://www.hts.kharkov.ua/KPHTS\\_v2\\_public\\_info\\_tarify.php](https://www.hts.kharkov.ua/KPHTS_v2_public_info_tarify.php) (дата звернення: 24.10.2022).
- 16 Тарифи на газ для населення // Мінфін 10.2022. URL: <https://index.minfin.com.ua/tariff/gas/harkov/> (дата звернення: 24.10.2022).
- 17 НАК «Нафтогаз України»: [Веб-сайт], 2021. URL: <https://www.naftogaz.com> (дата звернення: 24.10.2022).
- 18 Газовий котел BOSCH // Інтернет-магазин BOSCH-MARKET URL: <https://bosch-market.com.ua/gazovye-kotly-bosch/bosch-gaz-7000-w-zwc-35-3mf> (дата звернення: 24.10.2022).
- 19 Глезер Л. И., Заяц Я. И., Чудаков П. И. Справочник по массам авиационных и других материалов (весовые характеристики): в 6 т. Т. 6 : Неметаллические материалы. Приложения. Москва : Машиностроение, 1975. 144 с.
- 20 Цена на дрова // Добрі дрова. URL: <http://xn--80aaecg3byaeme7c0e.xn--j1amh/> (дата звернення: 24.10.2022).
- 21 Угольный котел сверхдлительного горения // Prom.ua URL: <https://prom.ua/p870982721-ugolnyj-kotel-sverhdolitelno.html> (дата звернення: 24.10.2022)
- 22 ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ, 2002р.
- 23 Энергетическое топливо СССР. Справочник. «Энергоиздат», М., 1991, 184 с.

- 24 Теплотворна здатність деревини // Дровяное отопление URL: [http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#raset\\_teplovornost](http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#raset_teplovornost) (дата звернення: 24.10.2022)
- 25 Galperina L.P., Lukianenko L.I. Pricing in the Market of fuel Agri-pellet in the System of the Sustainable Development // European Researcher. Series A, 2015, Vol.(101), Is. 12. P. 762-774.
- 26 Dolacis J., Tomsons E., Hrols J. Fuelwood Comparison with Other Kinds of Fuel // ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2003. P. 67-72. URL: <https://doi.org/10.17770/etr2003vol1.1982> (дата звернення: 24.10.2022)
- 27 Разработка технологии модификации древесного сырья в производстве твердого биотоплива / Сычева Н. А. и др. // Труды БГТУ. 2015. № 4 (177). С. 175-178. URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/14964/1/30.pdf> (дата звернення: 24.10.2022)
- 28 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах, затверджена Наказом Держкомстату 22.04.2011 № 98 // Державна служба статистики України URL: [https://ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2011/98/metod.htm](https://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/98/metod.htm) (дата звернення: 24.10.2022)
- 29 Щодо розрахунку обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення для заповнення форми № 2-ТП (повітря) (річна) "Звіт про охорону атмосферного повітря" // Державна служба статистики України URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/19\\_16.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/19_16.htm) (дата звернення: 24.10.2022)
- 30 Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від котлів комунального сектору потужністю менше 50 мВт Методика визначення. Київ, 2005. 18 с.
- 31 Forest Biomass and Air Emissions // Washington State Department of Natural Resources. URL: [http://www.eesi.org/files/em\\_forest\\_biomass\\_and\\_air\\_emissions\\_factsheet\\_8.pdf](http://www.eesi.org/files/em_forest_biomass_and_air_emissions_factsheet_8.pdf). (дата звернення: 24.10.2022)
- 32 Кількісні і якісні оцінки викидів шкідливих речовин в довкілля при спалюванні деревини в порівнянні з природним газом і вугіллям / Л.В. Худолєєва, Н.К. Куцоконь, Н.М. Рашидов, О.М. Дуган // Біологічні студії. 2016. № 3-4. С. 61-70. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/journals/index.php/biology/article/view/29/29> (дата звернення: 24.10.2022)
- 33 Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2019 // Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 119 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/www/ru/publications/rukovodstvo-emeep-eaos-po-inventarizacii-vybrosov-2019> (дата звернення: 24.10.2022)
- 34 Ассад М. С., Пенязьков О.Г. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент. Минск, 2010. 305 с.
- 35 Кириллини В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика : монография. Москва, 1979. 512с.
- 36 Understanding COP: Coefficient Of Performance Of Heat Pumps // LearnMetrics, 2022. URL: <https://learnmetrics.com/coefficient-of-performance/> (дата звернення: 24.10.2022)
- 37 Безродний М. К., Місюра Т. А. Теплонасосна система повітряного опалення та вентиляції виробничого приміщення надлишковим вологовиліленням // Наукові вісті КПП. 2020. № 2. С. 7-16. URL: [http://scinews.kpi.ua/article/view/205111/pdf\\_57](http://scinews.kpi.ua/article/view/205111/pdf_57) (дата звернення: 24.10.2022).
- 38 Куделя П. П., Дубовський С. В. Енергетичний і ексергетичний аналіз типових систем опалення Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 2. С. 25-34. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261364> (дата звернення: 24.10.2022).
- 39 Шаповал О. В., Чепурна Н. В., Кириченко М. А. Аналіз ефективності роботи повітряного теплового насоса залежно від коливань температури зовнішнього повітря // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2021. № 37. С. 24–30. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.24-30> (дата звернення: 24.10.2022).
- 40 Безродний М. К., Притула Н. О. Термодинамічна ефективність теплонасосних схем теплопостачання // Вісник ВПІ. 2013. С. 39-45. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1079> (дата звернення: 24.10.2022).
- 41 Технічна документація // Buderus. Роберт Бош Лтд, 2022. URL: <https://www.buderus.com/ua/uk/%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2/> (дата звернення: 15.10.2022).



Yu. Kovalenko, O. Khandogina

O.M. Beketov National University  
of Urban Economy in Kharkiv

## CONSIDERATION OF CLIMATE CONDITIONS IN COMPARATIVE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF ENERGY CARRIERS

The article is devoted to the definition and research of environmental and economic criteria for the assessment of energy carriers used for the buildings heating. The criteria for the comparison are based on the amount of heat and the emission of pollutants into the atmosphere. Various options for the use of energy carriers and corresponding design schemes of heating systems, the most often used in residential buildings, are considered. Calculations of the cost of thermal energy received for heating the building using common types of fuel (coal, firewood, pellets), electricity, and centralized heat supply were made. Also, a comparative assessment of the specific emissions of pollutants for boilers operating on natural gas, hard coal, firewood, and pellets was carried out based on the averaged indicators. It has been established that the minimum cost of a unit of heat is achieved when burning pellets, firewood, but the use of such energy sources leads to additional labor costs, and the most comfortable and least time-consuming is the use of central heating services, a gas or electric boiler with a water heating system. It was determined that considering the impact on the environment at the heated object location, the most safe are a boiler running on natural gas, a centralized heat supply, an electric boiler. Ways to reduce the cost of a thermal energy unit supplied to the building are proposed by using heat pumps. An assessment of the cost of thermal energy supplied to the building using a heat pump was carried out, which showed a significant reduction in the cost of thermal energy supplied to the building in the case of using a heat pump in various variants of the design features of the heating system considering climate conditions compared to options without the use of a heat pump.

**Key words:** energy carriers, climatic conditions, environmental impact assessment, emission of pollutants, cost of a heat unit, heat pump, design of the heat supply scheme.

### References

- 1 Heletukha H. Yak dekarbonizuvaty sektor teplopostachannia // Ekopolityka. 04.06.2021. URL <https://ecopolitic.com.ua/ua/comments/yak-dekarbonizuvati-sektor-teplopostachannia/>.
- 2 Predun K. M. Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnuyuchoho zhytloвого fondu Ukrainy // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. 2017. no. 65. P. 462-466.
- 3 Maksymov A. S., Halinskyi O. M. Osoblyvosti orhanizatsii realizatsii proektiv termomodernizatsii // Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. 2020. Vol. 44. P.168-174.
- 4 Foshch A. V. Termomodernizatsiia budivel – resurs enerhozberezhennia v Ukraini // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. 2016. № 65. P. 137 – 141.
- 5 D'Agostino D., Parker D., Melià P. Environmental and economic implications of energy efficiency in new residential buildings: A multi-criteria selection approach // Energy Strategy Reviews. 2019. Vol. 26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100412>.
- 6 Di Foggia G. Energy efficiency measures in buildings for achieving sustainable development goal // Heliyon. 2018. Vol. 4. P. 1-21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00953>.
- 7 Basok B.I., Bazieiev Ye.T., Kuraieva I.V. Adaptatsiia komunalnoi teploenerhetyky do zmin klimatu // Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. 2012. № 4. P. 60-75. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>.
- 8 Tarasevych D. V., Bohdan O. V. Zminy klimatychnykh pokaznykiv Ukrainy ta yikh vplyv na vybir arkhitekturno-planuvalnykh rishen // Problemy teorii ta istorii arkhitektury Ukrainy. 2021. № 21. P. 232 – 242.
- 9 Gaterell M. R., McEvoy M. E. The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings // Energy and Buildings. 2005. Vol. 37. P. 982 – 995. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.12.015>.
- 10 Clarke L., Zhou Yu. Effects of long-term climate change on global building energy expenditures // Energy Economics. 2018. Vol. 72. P. 667-677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.003>.
- 11 Yukhymchuk K. V., Petrus V. V. Porivnialnyi analiz vykorystannia teplovykh nasosiv ta hazovykh kotliv dlia teplopostachannia bahatopoverkhovoho zhytloвого budynku // Materialy XLVIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 2019. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25029/52975.pdf>.

- 12 Zamytskyi O. V., Kalinichenko A. A. Pryntsypy zastosuvannya alternatyvnykh dzherel enerhii na ob'ekтах teplopostachannia komunalnogo hospodarstva ta vyrobnytstva // Visnyk Kryvorizkoho natsionalnogo universytetu. bahatopoverkhovoho zhytloвого budynku // Materialy XLVIII naukovotekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 2019. Vol. 48. P. 148-154.
- 13 Serohin O. O., Osmak O. O., Bashta A. V. Fyzyko-khimichni osnovy proektuvannia obladnannia dlia termokhimichnoi konversii sumishei biotekhnichnykh vidkhodiv // Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia. Kharkiv. 2014. № 52 (1094). P. 124-130. URL: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/13624/1/vestnik\\_HPI\\_2014\\_52\\_Serohin\\_Fyzyko.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/13624/1/vestnik_HPI_2014_52_Serohin_Fyzyko.pdf) .
- 14 Taryfy na elektroenerhiiu dlia naselessnia 2020 // Prostobank.ua 10.2022. URL: [https://www.prostobank.ua/spravochniki/indikatory\\_rynka/electric\\_tariff](https://www.prostobank.ua/spravochniki/indikatory_rynka/electric_tariff).
- 15 Kharkivski teplovi merezhi: [Web-site]. Kharkiv, 2022. URL: [https://www.hts.kharkov.ua/KPHTS\\_v2\\_public\\_info\\_taryfy.php](https://www.hts.kharkov.ua/KPHTS_v2_public_info_taryfy.php).
- 16 Taryfy na haz dlia naselessnia // Minfin 10.2022. URL: <https://index.minfin.com.ua/tariff/gas/harkov/>.
- 17 Naftogaz: [Web-site], 2021. URL: <https://www.naftogaz.com>.
- 18 Hazovyi kotel BOSCH // Internet-mahazyn BOSCH-MARKET URL: <https://bosch-market.com.ua/gazovye-kotly-bosch/bosch-gaz-7000-w-zwc-35-3mfa>.
- 19 Hlezer L. Y., Zaiats Ya. Y., Chudakov P. Y. Spravochnyk po massam avyatsyonnykh y druhykh materyalov (vesovye kharakterystyky): v 6 t. T. 6 : Nemetallycheskye materyaly. Prylozheniia. Moskva : Mashynostroenie, 1975. 144 p.
- 20 Tsena na drova // Dobri drova URL: <http://xn--80aaecg3byaeme7c0e.xn--j1amh/>.
- 21 Uholnyi kotel sverkhdytelnoho horenyia // Prom.ua URL: <https://prom.ua/p870982721-ugolnyj-kotel-sverhdlytelnoho.html>.
- 22 HKD 34.02.305-2002 Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferu vid enerhetychnykh ustanovok. Metodyka vyznachennia. Kyiv, 2002.
- 23 Enerhetycheskoe toplyvo SSSR. Spravochnyk. «Enerhoizdat», M., 1991, 184 p.
- 24 Teplotvorna zdatnist derevyny // Droviane otopenye. URL: [http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#raset\\_teplovornost](http://tehnopost.kiev.ua/drova/13-teplotvornost-drevesiny.html#raset_teplovornost)
- 25 Galperina L.P., Lukianenko L.I. Pricing in the Market of fuel Agri-pellet in the System of the Sustainable Development // European Researcher. Series A, 2015, Vol.(101), Is. 12. P. 762-774.
- 26 Dolacis J., Tomsons E., Hrols J. Fuelwood Comparison with Other Kinds of Fuel // ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2003. P. 67-72. URL: <https://doi.org/10.17770/etr2003vol1.1982>
- 27 Razrabotka tekhnolohyy modyfykatsyy drevesnogo syria v proyzvodstve tverdogo byotoplyva / Sycheva N. A. i dr. // Trudy BHTU. 2015. № 4 (177). P. 175-178. URL: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/14964/1/30.pdf>
- 28 Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid vykorystannia palyva na pobutovi potreby v domohospodarstvakh, zatverdzhena Nakazom Derzhkomstatu 22.04.2011 № 98 // Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: [https://ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2011/98/metod.htm](https://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2011/98/metod.htm)
- 29 Shchodo rozrakhunku obsiahiv vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria vid statsionarnykh dzherel zabrudnennia dlia zapovnennia formy № 2-TP (povitria) (richna) "Zvit pro okhoronu atmosferного povitria" // Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/19\\_16.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/19_16.htm)
- 30 Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn u atmosferu vid kotliv komunalnogo sektoru potuzhnistiu menshe 50 mVt. Metodyka vyznachennia. Kyiv, 2005. 18 p.
- 31 Forest Biomass and Air Emissions // Washington State Department of Natural Resources. URL: [http://www.eesi.org/files/em\\_forest\\_biomass\\_and\\_air\\_emissions\\_factsheet\\_8.pdf](http://www.eesi.org/files/em_forest_biomass_and_air_emissions_factsheet_8.pdf).
- 32 Kilkisni i yakisni otsinky vykydiv shkidlyvykh rehovyn v dovkillia pry spaliuvanni derevyny v porivnianni z pryrodnym hazom i vuhilliam / L.V. Khudolieieva, N.K. Kutsokon, N.M. Rashydov, O.M. Duhan // Biolohichni studii. 2016. № 3-4. P. 61-70. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/journals/index.php/biology/article/view/29/29>
- 33 Rukovodstvo EMEP/EAOS po ynvventaryzatsyy vybrosov 2019 // Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 119 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/emep->

eea/chasty-b-glavy-posvyashennye-tehnicheskim-aspektam/1.-energetika/1.a.-szhiganie/file.2012-03-27.3116815488/view

34 Assad M. S., Peniazkov O.H. Produkty shoranyia zhydkykh y hazoobraznykh topliv: obrazovanye, raschet, eksperyment. Mynsk, 2010. 305 p.

35 Kyryllyny V. A., Sychev V. V., Sheindlyn A. E. Tekhnicheskaiia termodynamyka : monohrafiya. Moskva, 1979. 512p.

36 Understanding COP: Coefficient Of Performance Of Heat Pumps // LearnMetrics, 2022. URL: <https://learnmetrics.com/coefficient-of-performance/>.

37 Bezrodnyi M. K., Misiura T. A. Teplonasosna systema povitrianoho opalennia ta ventyliatsii vyrobnychoho prymishchenniaz nadlyshkovym volohovylilenniam // Naukovi visti KPI. 2020. № 2. С. 7-16. URL: [http://scinews.kpi.ua/article/view/205111/pdf\\_57](http://scinews.kpi.ua/article/view/205111/pdf_57).

38 Kudelia P. P., Dubovskyi S. V. Enerhetychnyi i ekserhetychnyi analiz typovykh system opalennia Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. 2022. № 2. С. 25-34. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261364>.

39 Shapoval O. V., Chepurna N. V., Kyrychenko M. A. Analiz efektyvnosti roboty povitrianoho teplovoho nasosa zalezno vid kolyvan temperatury zovnishnoho povitria // Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohazopostachannia. 2021. № 37. С. 24–30. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2021.37.24-30>.

40 Bezrodnyi M. K., Prytula N. O. Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh skhem teplopostachannia // Visnyk VPI. 2013. С. 39-45. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1079>.

41 Tekhnichna dokumentatsiia // Buderus. Роберт Бош ЛТД, 2022. URL: <https://www.buderus.com/ua/uk/%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2/>