

Коваленко Юрій Леонідович, к.т.н, доцент, E-mail: kovalenkoy55@gmail.com.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова 17, Харків, Україна, 61002.

Тарасенко Микола Олександрович, к.т.н, професор, E-mail: tarasenkoni52@gmail.com.

Тарасенко Олександр Миколайович, к.т.н, доцент, E-mail: Oleksandr.Tarasenko@khpi.edu.ua

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

***Анотація.** В статті показано, що для вибору раціональних схем теплопостачання необхідно враховувати не лише економічні фактори, а проводити багатопараметричний аналіз. Актуальність проблеми особливо зросла у зв'язку з високою вартістю та дефіцитом традиційних видів палива (вугілля, газу), що привело до застосування альтернативних джерел енергії в системах теплопостачання. В роботі розглянуто варіанти енергоносіїв та відповідні конструктивні схеми опалювальних систем, що найчастіше застосовуються для житлових будинків. Виконана їхня порівняльна оцінка та зіставлення наведених значень вартості одиниці теплової енергії. Досліджено особливості впливу на довкілля джерел теплопостачання, що використовують різні види палива. Визначено вартість одиниці одержаної енергії та питомі викиди забруднюючих речовин, які наведені до викидів монооксиду вуглецю. Виконано порівняльну оцінку питомих викидів, для теплогенеруючих пристроїв, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах та пелетах. Оцінку проведено за їх середніми показниками. На підставі еколого - економічної оцінки запропоновано рекомендації щодо вибору джерела теплопостачання.*

***Ключові слова:** енергоефективність, теплопостачання, вартість енергоносіїв, альтернативне паливо, тарифи, шкідливі викиди, екологія.*

Kovalenko Yuriy, Ph.D., associate professor, E-mail: kovalenkoy55@gmail.com.

O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshal Bazhanov st. 17, Kharkiv, Ukraine, 61002.

Tarasenko Mykola, Ph. D., Professor, E-mail: tarasenkoni52@gmail.com.

Tarasenko Oleksandr, Ph.D., associate professor, E-mail: Oleksandr.Tarasenko@khpi.edu.ua

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute, Kirpichova st. 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

STUDY ECOLOGICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF MUNICIPAL HEAT SUPPLY SYSTEMS

***Abstract.** The article shows that for the selection of rational heat supply schemes, it is necessary to take into account not only economic factors, but also conduct a multiparametric analysis. The urgency of the problem has especially increased due to the high cost and shortage of traditional fuels (coal, gas), which has led to the use of alternative energy sources in heat supply systems. In the paper, options for energy carriers and corresponding design schemes of heating systems, most often used for residential buildings, are considered. Their comparative evaluation and comparison of the given values of the cost of a unit of thermal energy was made. The peculiarities of the environmental impact of heat supply sources using different types of fuel are investigated. The cost of a unit of energy and the specific emissions of pollutants related to carbon monoxide emissions are determined. A comparative assessment of specific emissions for heat-generating devices operating on natural gas, coal, firewood, and pellets has been performed. The evaluation is based on their average indicators. Recommendations for choosing a heat supply source are offered on the basis of an ecological and economic assessment.*

***Keywords:** energy efficiency, heat supply, cost of energy carriers, alternative fuel, tariffs, harmful emissions, ecology.*

Коваленко Юрій Леонідович, к.т.н, доцент, e-mail: kovalenkoy55@gmail.com.

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, ул. Маршала Бажанова 17, Харьков, Украина, 61002.

Тарасенко Микола Олексійович, к.т.н, професор, e-mail: tarasenkoni52@gmail.com.

Тарасенко Олександр Миколайович, к.т.н, доцент, e-mail: Oleksandr.Tarasenko@khp.edu.ua.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичова, 2, Харьков, Украина, 61002.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ КОММУНАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

***Аннотация.** В статье показано, что для выбора рациональных схем теплоснабжения необходимо учитывать не только экономические факторы, но и проводить многопараметрический анализ. Актуальность проблемы особенно возросла из-за высокой стоимости и дефицита традиционных видов топлива (угля, газа), что привело к применению альтернативных источников энергии в системах теплоснабжения. В работе рассмотрены варианты энергоносителей и соответствующие конструктивные схемы отопительных систем, наиболее часто применяемые для жилых домов. Произведена их сравнительная оценка и сопоставление приведенных значений стоимости единицы тепловой энергии. Исследованы особенности воздействия на окружающую среду источников теплоснабжения, использующих различные виды топлива. Определены стоимость единицы энергии и удельные выбросы загрязняющих веществ, приведенные к выбросам монооксида углерода. Выполнена сравнительная оценка удельных выбросов, для теплогенерирующих устройств, работающих на природном газе, каменном угле, дровах и пеллетах. Оценка проведена по их средним показателям. На основании эколого - экономической оценки предложены рекомендации по выбору источника теплоснабжения.*

***Ключевые слова:** энергоэффективность, теплоснабжение, стоимость энергоносителей, альтернативное топливо, тарифы, вредные выбросы, экология.*

Актуальність теми дослідження. Сучасний стан теплоенергетики України, характеризується високою вартістю теплоносіїв та дефіцитом традиційних видів палива, таких як природний газ та вугілля. Тому питання раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів в системах теплопостачання є особливо актуальним [1–4]. Також велика увага приділяється зменшенню шкідливих викидів в навколишнє середовище [5–7]. Особливо це стосується підприємств комунального теплопостачання, які розташовані в межах населених пунктів.

В процесі проектування та будівництва будівель важливим є питання вибору схеми його теплопостачання. Насамперед береться до уваги вартість прокладання інженерних мереж для подачі відповідного енергоносія, придбання та монтажу теплогенеруючого обладнання, витрати на його експлуатацію. Для вибору більш раціональних схем теплопостачання необхідно брати до уваги результати порівняльної економічної та екологічної оцінки енергоносіїв, що застосовуються для теплопостачання житлових будинків.

Постановка задачі. Розглянемо системи теплопостачання, які використовують різні види палива. Теплотворна здатність багатоконпонентних горючих речовин залежить від їх складу, вологості та багатьох інших факторів. До таких речовин належить природний газ, кам'яне

вугілля, дрова, пелети, нафтопродукти. Кожен із цих джерел теплової енергії має як переваги, так і недоліки.

Для кожного 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 до спалювання та інших факторів [2,3].

Вартість енергоносіїв у ході досліджень приймалася станом на 1 лютого 2023 р., виходячи з тарифів енергопостачальних підприємств, роздрібних цін торгових організацій, що працюють на території України і у Харківській області.

Вартість електроенергії для населення за її місячного споживання до 250 кВт·год становить 1,44 грн/кВт·год, за весь обсяг спожитої електроенергії понад 250 кВт·год – 1,68 грн/1 кВт·год.

Для абонентів житлових будинків із будинковими та квартирними приладами обліку теплової енергії тариф на послуги з централізованого опалення становить 1748,47 грн/Гкал.

Роздрібні ціни на природний газ для населення приватних домоволодінь у Харківській області становлять у середньому з урахуванням доставки 10,5 грн/м³. Середня теплотворна здатність газу становить 31,8 МДж/м³. Значення коефіцієнта корисної дії популярних моделей котлів становить близько 90 %.

Для вугілля марки ДГ 13-100 (сортовий) теплотворна здатність становить 25,5 МДж/кг або 6100 ккал/кг. Середня вартість вугілля (з урахуванням доставки) – 11000 грн/т.

Для пелет із лушпиння соняшника теплотворна здатність складає 17,5 МДж/кг або 4200 ккал/кг. Середня вартість таких пелет становить – 6500 грн/т. Ціна пелетів з деревини складає від 5500 до 10900 грн/т.

Для дубових дров, при атмосферному сушінні та вологості 20 %, теплотворна здатність складає 15,2 МДж/кг. Середня вартість складометра дров (з урахуванням доставки) 1500 грн/м³ (методом складування "один на один"). Середня щільність складованих дубових дров приймалася 514 кг/м³. Значення коефіцієнта корисної дії найкращих зразків твердопаливних котлів досягає 85 % [2,3].

Вплив на довкілля у місці дислокації опалювального пристрою під час використання різних типів палива можна оцінити наступним чином. Застосування теплоносія із мереж централізованого теплопостачання та електроенергії практично не призводить до впливу на навколишнє середовище в місці дислокації опалювального приміщення. Викиди від електростанцій та пікових котелень здійснюються, як правило, за межами житлових територій, на об'єктах, що застосовують технології мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та

відгороджених від житлової забудови відповідними санітарно-захисними зонами [7,8].

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 теплогенеруючої установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднюючих речовин.

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 тепло генеруючих пристроїв, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах можна визначити, використовуючи відкриті джерела інформації [7–11].

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

1. Будинок підключений до мереж центрального тепlopостачання (наприклад розглянемо варіант КП «Харківські теплові мережі») та обладнаний системою водяного опалення.

2. Будинок підключений до мереж електропостачання, що забезпечує можливість підключення різних електронагрівальних приладів: електрорадіаторів, електроконвекторів, інфрачервоних нагрівачів і електрочотлів із системою водяного опалення.

3. Будинок підключений до мереж природного газу (для прикладу розглянемо варіант: газорозподільна компанія – ПАТ «Харківміськгаз», газопостачальна компанія: ТОВ «Харківгаз збут»). Будинок обладнаний газовим котлом з системою водяного опалення або газовим конвектором.

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

В якості критерія оцінювання будемо використовувати вартість 1 МДж тепла, що надходить до будівлі. Також, у ході проведення порівняльної оцінки, будемо зіставляти питому емісію забруднюючих речовин у навколишнє середовище у місці дислокації об'єкта тепlopостачання, наведену до 1 МДж тепла.

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

На практиці, як впливає з аналізу наведених 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, тонни, кВт·год.

Нас же цікавить вартість одиниці тепла, яке енергоносіїв 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.

У роботі використано середні значення теплотворної здатності палива, коефіцієнтів корисної дії теплогенеруючого обладнання.

Зіставлення наведених значень вартості одиниці теплової енергії дозволив встановити, що мінімальна вартість одиниці тепла досягається при спалюванні дров.

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

Найкомфортніше і найменш трудомістке користування послугами центрального тепlopостачання, а у разі локального опалення використовувати електричний або газовий обігрів.

Найдорожче коштує тепло, одержане при використанні електроенергії та вугілля.

Одиниця тепла, отримана від використання електроенергії при двозонному тарифі, обходиться в 1,26 рази дорожче, ніж одиниця тепла, отримана при спалюванні природного газу. Найбільш дешевим паливом залишаються дрова, проте слід врахувати, що за останній рік вартість дров зросла майже вдвічі.

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

Обладнання, що застосовується для тепlopостачання, технології спалювання, якість палива може істотно відрізнятись, і, відповідно, відрізняються значення питомих шкідливих викидів, наведених в [7–11].

Тому для порівняльної оцінки застосуємо узагальнений показник емісії забруднюючої речовини, який є середньою питомою величиною викиду та не враховує особливостей хімічного складу палива.

Порівняльна оцінка питомих викидів, за середніми показниками питомих викидів, для котлів, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі, дровах, пелетах наведено в таблиці 2.

Таблиця 1

Вихідні дані та результати розрахунку наведених значень вартості одиниці теплової енергії, що надійшла для обігріву будівлі

№ п/п	Найменування, одиниця виміру енергоносія	Вартість	Теплотворна здатність	Вартість одиниці виробленої енергії	Тепловий ККД, %	Вартість одержаної енергії
1	Електроенергія, кВт·год (якщо є тільки електрообігрів)	1,68 грн / кВт·год	3,6 МДж/кВт·год	0,467 грн/МДж	100	0,467 грн/МДж
2	Електроенергія за двозонними тарифами, диференційованими за періодами години	1,4 грн / кВт·год	3,6 МДж/кВт·год	0,389 грн/МДж	100	0,389 грн/МДж
3	Теплоносій міських теплових мереж, Гкал	1748,47 грн./Гкал	4 190 МДж/гкал	0,417 грн/МДж	100	0,417 грн/МДж
4	Природний газ, м ³	10,50 грн/м ³	31,5 МДж/м ³	0,333 грн/МДж	90	0,37 грн/МДж
5	Вугілля кам'яне, т	11000 грн/т	25,5 МДж/кг	0,431 грн/МДж	85	0,507 грн/МДж
6	Пелети, т	6500 грн/т	17,5 МДж/кг	0,371 грн/МДж	85	0,437 грн/МДж
7	Дрова, м ³	2918 грн/т	15,2 МДж/кг	0,192 грн/МДж	85	0,226 грн/МДж

Таблиця 2

Питомі викиди котлів

№ п/п	Найменування палива	Питомі викиди, г/ГДж			
		Зважені тверді частки	СО	NO _x	SO ₂
1	Природний газ	-	249	64	-
2	Вугілля кам'яне	2310	1870	101	251
3	Дрова	152	4000	43	80
4	Пелети	145	1930	64	76

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 центральне тепlopостачання, електроопалення і газове опалення.

Для проведення порівняльної оцінки негативного впливу продуктів згоряння використано відносний показник питомих викидів, наведених до викидів монооксиду вуглецю, прийнятого як «еталон» [7,8].

З урахуванням значень середньодобових гранично-допустимих концентрацій в атмосферному повітрі населених пунктів визначено відносні показники питомих викидів, наведених до викидів монооксиду вуглецю (таблиця 3).

Таблиця 3

Відносні питомі викиди котлів, наведені до викидів монооксиду вуглецю

№ п/п	Найменування палива	Відносні питомі викиди, г/ГДж
1	Природний газ	3 350
2	Вугілля	370 000
3	Дрова	33 800
4	Пелети	31 400

Загалом, за результатами комплексної порівняльної оцінки найбільший інтерес становлять схеми тепlopостачання, коли будинок підключений до мереж електропостачання, що забезпечує можливість підключення електроопалювальних установок та коли будинок підключений до мереж природного газу, та обладнаний газовим теплогенеруючим обладнанням.

Одиниця тепла, отриманого в результаті використання електроенергії, коштує трохи дорожче, ніж при спалюванні природного газу. З іншого боку, при використанні електроенергії емісія забруднюючих речовин у навколишнє середовище в місці дислокації об'єкта тепlopостачання відсутня, а при використанні природного газу мають місце деякі викиди забруднюючих речовин, хоча за кількісною оцінкою значно менші, ніж при застосуванні твердих видів палива.

Висновки. Визначено та проаналізовано вартість одиниці отриманої енергії та питомі викиди, при застосуванні різних схем опалення та видів палива, які можуть бути додатковими критеріями для вибору схеми тепlopостачання будівель в осінньо-зимовий опалювальний сезон. Аналіз виконаних розрахунків показав, що для опалення індивідуального житлового будинку найбільш ефективним є використання газового опалення та електроопалення при використанні двозонного тарифу, з підвищенням споживання електроенергії вночі.

Запропоновано критерій оцінки оптимального, з погляду мінімальної вартості одиниці одержаної енергії та кількості, теплоносія, що дозволяє для

кожного населеного пункту з урахуванням особливостей місцевої тарифної політики ринку енергоносіїв, кліматичних особливостей, наявності інженерних мереж проводити обґрунтований вибір схеми теплопостачання житлових та промислових приміщень.

Список використаної літератури:

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року N 1071.
2. Плачкова С. Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 3. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетик]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3>.
3. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії / О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлов. Під ред. докт. техн. наук, проф. В. Лютко. Підручник для енергетичних і екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Івано-Франківськ, "Полум'я", 2000. 225 с.
4. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Энергозбереження та експлуатація систем теплопостачання. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 2002. 120 с.
5. Энергетика, довкілля, енергозбереження. Під заг. ред. проф. В.А. Маляренко. Х.: Рубікон, 2004. 368 с.
6. Boyle R., Greenwood Ch., Hohler A. etc. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2008. Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency. United Nations Environment Programme and New Energy Finance Ltd, 2008. 295 p.
7. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. ГКД 34.02.305-2002. Київ, 2002. 41 с.
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
9. Інформаційний сайт «Coefficient of perfomence». URL: <https://learnmetrics.com/coefficient-of-performance/>.
10. Інформаційний сайт «Coefficient of perfomence». URL: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/thermodynamics/thermodynamic-cycles/heating-and-air-conditioning/coefficient-of-performance-cop-refrigerator-air-conditioner/>.
11. Інформаційний сайт «Coefficient of perfomence». URL: <https://www.adams-air.com/houston/what-is-COP.php>.

References:

1. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2030 roku [The Energy Strategy of Ukraine for the Period till 2030]. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 24 lypnya 2013 roku N 1071.
2. Plachkova, S. H. Enerhetyka. Ystoryia, nastoiashchee y budushchee. Knyha 3. Razvytye teploenerhetyky y hydroenerhetyky. Available at: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3>.
3. Alternatyvni palyva ta inshi netradytsiini dzherela enerhii / O.Adamenko, V. Vysochanskyi, V. Lotko, M. Mykhailov. Pid red. dokt. tekhn. nauk, prof. V. Lotko. Pidruchnyk dlia enerhetychnykh i ekolohichnykh spetsialnostei vyshchykh navchalnykh zakladiv. Ivano-Frankivsk, "Polumia", 2000. 225 p.
4. Ratushniak H. S., Popova H. S. Enerhozberezhennia ta ekspluatatsiia system teplopostachannia. Navchalnyi posibnyk. Vinnytsia. VDTU, 2002. 120 p.
5. Enerhetyka, dovkillia, enerhozberezhennia. Pid zah. red. prof. V. A. Maliarenko. Kh. Rubikon, 2004. 368 p.
6. Boyle R. Greenwood Ch., Hohler A. etc. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2008. Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency. United Nations Environment Programme and New Energy Finance Ltd, 2008. 295 p.
7. Vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferu vid enerhetychnykh ustanovok. Metodyka vyznachennia. HKD 34.02.305-2002. Kyiv, 2002. 41 p.
8. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivelna klimatolohiia. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011.123 p.
9. Informatsiyni sait «Coefficient of perfomence». Available at: <https://learnmetrics.com/coefficient-of-performance/>.
10. Informatsiyni sait «Coefficient of perfomence». Available at: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/thermodynamics/thermodynamic-cycles/heating-and-air-conditioning/coefficient-of-performance-cop-refrigerator-air-conditioner/>.
11. Informatsiyni sait «Coefficient of perfomence». Available at: <https://www.adams-air.com/houston/what-is-COP.php>.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2022 р.