

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-6>

УДК 620.9, 536.7, 621.3

О. В. Лука, аспірант

ORCID: 0000-0002-4178-8856

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

e-mail: oleksiyluka141@gmail.com

ВПЛИВ МЕЖЕВИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Запропоновано концепцію єдиного узагальненого енергоспоживання побутових споживачів, яка дає змогу враховувати взаємозамінність різних видів енергії та уніфікувати їх облік. Основою є приведення енергії до єдиної форми через уведення коефіцієнтів потреби, зовнішніх умов та ринкової вартості. Розроблено модель взаємопов'язаності енергій, що споживаються. Метод дає змогу адекватно порівнювати енергоспоживання між різними об'єктами незалежно від структури енергоресурсів. Це відкриває нові можливості для енергетичного моніторингу, оптимізації споживання, визначення енергетичної ефективності та розроблення механізмів управління попитом. Представлений підхід може бути застосований в енергетичних аудитах, під час формування тарифів, аналізу динаміки споживання та для побудови моделей енергетичної поведінки побутових споживачів.

Ключові слова: енергоспоживання, тепла енергія, електрична енергія, природні умови, показники якості електроенергії, взаємопов'язаність енергій, тіло енергетичного споживання.

Постановка проблеми. Основним споживачем енергії в Україні є громадський сектор (якщо брати до уваги інфраструктуру, пов'язану з населенням) [1].

Якщо порівнювати споживання енергії населенням і споживання промисловістю за категоріями, то можна побачити, що населення майже відповідає по обсягах. Але населення на відміну від промисловості є споживачем, який майже не створює додаткової вартості. І вартість споживання енергії населенням не може бути відпущена на повну ринкову вартість. Держава контролює ці обсяги енергії, і виходить так, що енергія, спожита населенням, є більш дорогою для держави. Тому економія споживання енергії для постачання населення має особливий стан для енергетичної системи України.

Із графіку на рис. 1 видно, що обсяги споживання електричної енергії населенням (побутовим сектором) менше, ніж промисловістю, у середньому на 27%.

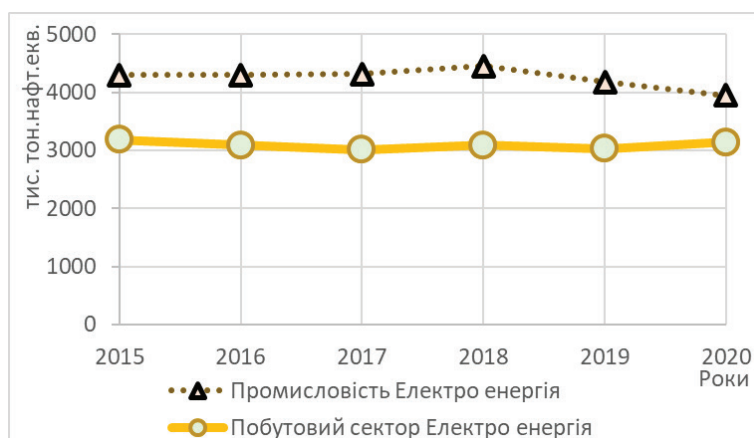


Рис. 1. Порівняння споживання електричної енергії по роках

Із графіку на рис. 2 видно, що обсяги споживання теплової енергії населенням менше, ніж промисловістю, у середньому на 41%.

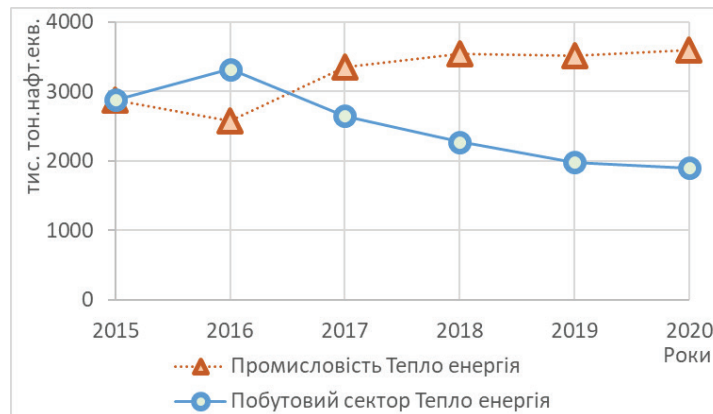


Рис. 2. Порівняння споживання теплової енергії по роках

Із графіку на рис. 3 видно, що обсяги загального споживання природного газу населенням більше, ніж промисловістю, у середньому на 203%.



Рис. 3. Порівняння споживання природного газу по роках

Із графіку на рис. 4 видно, що обсяги загального споживання енергії населенням майже такі самі, як і промисловістю [1].



Рис. 4. Порівняння споживання енергії загалом по роках

Населення в Україні має щільне скупчення в містах, тому саме міста є особливими споживачами різних видів енергії. Звідси виходить ціла низка проблем забезпечення споживачів енергією у містах. В умовах загальносвітової конкуренції на ринку енергії, виходячи з вимог економії енергоресурсів і дефіциту самих енергоресурсів в Україні, можна перелічити проблеми енергопостачання: оптимізація тепло-, газо- та електропостачання, оптимізація споживання електроенергії в комунально-побутовому секторі, підвищення ефективності централізованого теплопостачання. Оскільки проблема не нова, то шляхи вирішення таких завдань пропонувалися різними вченими [2–4].

Основна частина. Оскільки теплової енергії споживається досить багато в Україні, то виникає закономірне питання щодо її економії. Але в кліматичній зоні України не можна виконати промислові завдання або навіть задовільнити побутові потреби без забезпечення теплового комфорту в приміщеннях, тому зменшувати споживання енергії на забезпечення тепла не має можливості. Питання комфортної температури в зоні постійного перебування людини досліджували багато науковців [5; 6] і було закріплено в стандартах [7], а також Постановою Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 830 «Про затвердження Правил надання послуги з постачання теплової енергії і типових договорів про надання послуги з постачання теплової енергії», а самі обсяги подачі тепла і порядок поводження з тепловою енергією регламентовано у [8]. Але водночас не припиняються роботи з удосконалення нормативів і спроб обґрунтувати зменшення витрат тепла. Один із таких шляхів – знайти відповідні режими керування, або режими технологічних процесів вироблення і доставки теплової енергії, щоб витрати первинного енергоресурсу на отримання теплової енергії зменшилися [9–11].

Рішення щодо зміни теплового супротиву огорожуючих конструкцій будівель, проведення повної реконструкції теплових мереж вважаються дієвими, але настільки об’ємними по витратах коштів і витрат робочого часу в людино-годинах, що не можуть сприйматися як швидкодієві. Тому автор зосередився на іншому боці невідповідності теплового режиму споживачів. Річ у тім, що з військовою агресією ворог пошкодив певну кількість теплоенергетичного обладнання. І на статистиці теплопостачання крупного міста України було отримано таку картину: за зменшення рівня тепла в приміщеннях зі знаходженням людей населення використовувало всілякі способи, щоб компенсувати нестачу в тепловому потоці в приміщенні за рахунок інших доступних видів енергії. Було відзначено деяку пов’язаність різних видів енергії. Коли виявлялися недостатні рівні теплоти від теплової мережі, населення використовувало, наприклад, електрообігрівачі, газові обігрівачі й навіть твердопаливні котли. Але під час детального розгляду питання відзначена наявність такої залежності й у таких ненормальних режимах роботи, як протягом останніх трьох років.

Пов’язаність різних типів енергії для забезпечення потреб споживача

Статистичні дані показали наявність взаємопов’язаності різних типів енергії під час використання споживачами. Спочатку таку залежність було виявлено суто технічно. Автор уже описував таку залежність у роботі [12]. Протягом значного проміжку часу теплопостачальники відзначають залежність між тепловою енергією, що подана до споживача, та іншими типами енергії, які можуть замінити або доповнити теплову енергію. Автор спробував поглянути на проблему споживання інших видів енергії, які не призначені безпосередньо для опалення приміщень, базуючись на підході взаємозамінності різних енергій. Було запропоновано ідею: розглядати всю сукупність енергій, яку споживає споживач, у вигляді одного загальноенергетичного споживання. Автором була сформульована концепція єдиного узагальненого енергоспоживання. Така концепція отримала розвиток у його дисертаційному дослідженні. Загальний принцип концепції єдиного узагальненого енергоспоживання описано в роботі [12]. Але за час досліджень концепція була доповнена, тому є потреба нагадати загальний принцип її побудови.

Виходячи з того, що кожний тип енергії має свої властивості, притаманні саме йому (технологічні особливості, одиниці вимірювання, параметри використання і навіть вартість), то порівнювати різні види енергії дуже важко. До цього їх порівняння проводилося в умовних одиницях: тоннах умовного еквівалентного палива. Таке вимірювання становило певні незручності. Наприклад, не враховувалися такі параметри, як вартість постачання, швидкість використання та ін. Для того щоб привести до одного виміру різні величини, потрібна інша система оцінювання.

На жаль, усі типи енергії, що споживає споживач, не можуть бути просто просумовані. Різні типи енергій мають різні додаткові параметри. Тому було запропоновано створення деякої і тільки однієї функції яка б узгодила правила, за якими можна було би порівнювати різні типи енергії між собою. Причому цінність енергії для споживача, швидкість подачі й інші параметри також мають враховуватися. Найбільш очевидним варіантом є виведення кореляційної залежності одного типу енергії іншим. Ця ідея є основою запропонованої моделі взаємозв'язаного енергетичного пулу, що споживає споживач [12].

Запропоновано величину певного енергоносія або певної енергії враховувати через залежність:

$$Q_i = Q_v \cdot f(B_{\text{ринк}}; k_{\text{потр}}; k_{\text{зовн}}), \quad (1)$$

де $B_{\text{ринк}}$ – вартість певного виду енергії на ринку;

$k_{\text{потр}}$ – безрозмірний коефіцієнт потреби споживача в певному виді енергії;

$k_{\text{зовн}}$ – безрозмірний коефіцієнт потреби в певному виді енергії залежно від температури оточуючого середовища;

Q_v – загальний обсяг відпущеної споживачеві енергії певного типу.

За використання такого підходу можливо врахувати різну кількість типів енергії, що споживає споживач, і додати нові, які ще не є у використанні.

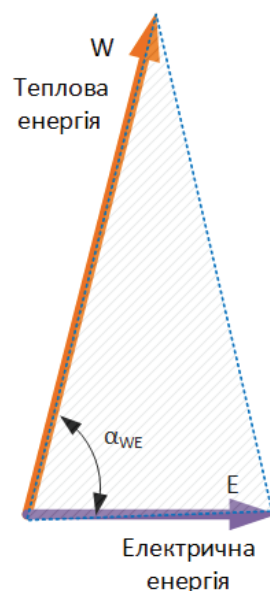


Рис. 5. Діаграма пов'язаності теплової та електричної енергії

Споживання теплової енергії у нашій країні є доволі високим. І якщо розглянути недостатній рівень теплової енергії, то споживачі його компенсують іншими типами енергії, які їм доступні. Виходячи з концепції взаємопов'язаності енергій, уводиться поняття «тіло енергетичного споживання» [12].

Але один із видів енергії, а саме електрична енергія, є найуніверсальнішою. Саме цю енергію і використовують насамперед для компенсації недоотриманої теплової. У термінах тіла загального енергоспоживання виконується вирівнювання тіла енергетичного споживання. Саме таке наднормативне споживання електричної енергії призводить до погіршення її якості.

Опираючись на концепцію взаємопов'язаності енергій, демонструючи її у графічному виконанні – «тіло енергетичного споживання» (рис. 6), стає очевидним, що зміни у споживанні видів енергії впливають на тіло енергоспоживання. Таке «тіло», його площа має бути певної величини для сезону, години доби, зовнішньої температури та ін.

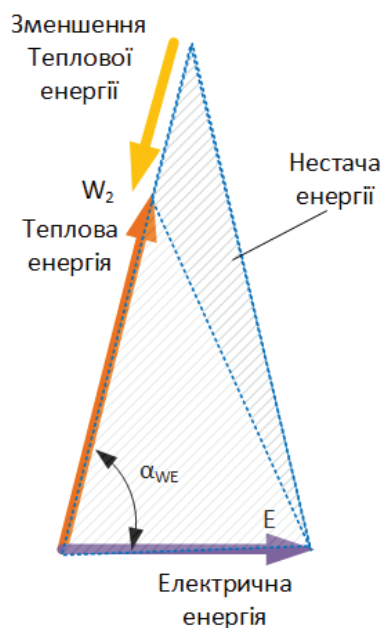


Рис. 6. Графічне представлення зменшення обсягів теплової енергії

Але за теорією тіла енергоспоживання площа тіла має бути скомпенсована іншим видом енергії (рис. 7).

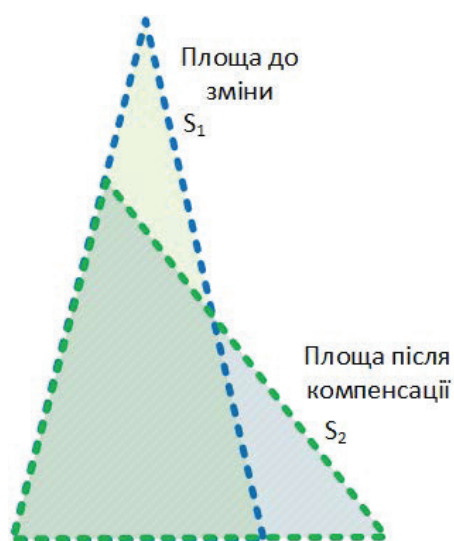


Рис. 7. Вирівнювання площі тіла енергоспоживання за рахунок компенсації

У нашому прикладі це електрична енергія (рис. 8).

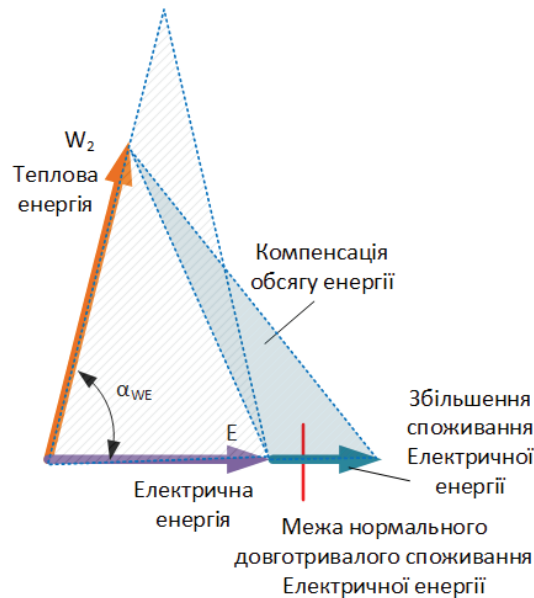


Рис. 8. Збільшення споживання електричної енергії для компенсації площі тіла енергоспоживання

Але потрібно звернути увагу, що компенсація обсягу енергії електричною енергією відбувається поза її межі довготривалого використання (рис. 8). І використання таких обсягів електричної енергії призводить до погіршення її якості [13; 14].

Таким чином, концепція взаємопов'язаності енергій дає змогу обґрунтувати умови, за якими контроль споживання одного типу енергії дає змогу проводити контроль інших видів енергії споживача за якісними показниками.

Оцінка за якісними характеристиками

Під час спостереження за обсягами енергоспоживання на реальних об'єктах було звернено увагу на те, що обсяги енергії, спожитої споживачем, не є основним критерієм. У реальності споживання енергій не є рівномірним у часі (рис. 9). Протягом місяця, тижня і навіть доби кількість енергії за різними типами буде споживатися в різних обсягах [15].



Рис. 9. Графік електроспоживання за добу робочого дня тижня

Рівень споживання залежить від цілої низки чинників. Єдиним механізмом обмеження енергоспоживання в електричній мережі України нині є відключення від електроспоживання. Саме такі дії можуть призвести до обмеження роботи або навіть призупинення роботи промис-

лових підприємств [6; 13; 14]. Тому використовувати обмеження енергоспоживання методами відключення не вихід.

Але під час моніторингу енергосистеми було зосереджено увагу на якісних показниках електричної енергії. З'ясувалося, що є певна межа споживання електричної енергії, за наближення до якої у відключенні споживача ще немає необхідності, а от якісні параметри електрики вже не відповідають нормативам. За аналогією з якісними показниками для електричної енергії було простежено залежності і для якісних параметрів інших типів енергії. Залежність якісних параметрів одного типу енергії від іншого також було виявлено.

За якісними показниками електроенергії житлових масивів можна отримати залежності для вторинного моніторингу якості теплопостачання.

Додатковий канал зворотного зв'язку дає змогу прискорити реакцію на зміну в моделі управління системами регулювання центрального теплопостачання.

Висновки. На даних потоку енергоспоживання різних типів енергії за концепцією пов'язаного енергоспоживання можна вирішити не тільки завдання загально енергетичного характеру, такі як виявлення різних чинників, взаємовплив енергій, виявлення збоїв у системі теплопостачання з метою їх подальшому запобіганню, здійснення оперативного контролю якості теплопостачання з корегуванням по непрямим показникам. З іншого боку, своєчасна корекція обсягів теплопостачання може призводити до покращення стану якості електричної енергії у мережі споживача

Список використаних джерел

1. Динамічні ряди показників енергетичних балансів за 2014–2020 роки. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/enerhetychnyy-balans-ukrayiny-0> (дата звернення: 20.01.2025).
2. Якість електричної енергії. Т. 2. Контроль якості електричної енергії / О.Г. Гриб та ін. ; за ред. О.Г. Гриба. Харків : ПП «Граф-Ікс», 2014. 244 с.
3. Popescu, Marius-Constantin & Mastorakis, Nikos. (2010). Aspects of thermal power plant automation. WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS. 9. 295-304.
4. Andarini R. The role of building thermal simulation for energyefficient building design Energy procedia. 2014. V. 47. P. 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.217>
5. Polyvianchuk, A., Semenenko, R., Kapustenko, P., Klemeš, J.J., & Arsenyeva, O. (2023). The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine. Energy, 263, 125876.
6. Arabkoohsar, A. (2019). Non-uniform temperature district heating system with decentralized heat pumps and standalone storage tanks. Energy, 170, 931–941. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.209>
7. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [чинний від 01.01.2014] (Національні стандарти України). Київ : Держстандарт України, 2013. 135 с.
8. ДБН В.2.5-39:2008 Теплові мережі [чинний від 07.01.2009] (Національні стандарти України). Київ : Держстандарт України, 2008. 72 с.
9. Політика енергоефективності та енергозбереження як чинник національної консолідації: проблеми формування та реалізації : монографія/ Є.В. Перегуда та ін. Київ ; Тернопіль : Економічна думка, 2018. 202 с.
10. Zhu C., Xie X., Jiang Y. A multi-section vertical absorption heat exchanger for district heating systems. International Journal of Refrigeration. 2016. Vol. 71. P. 69–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.08.010>
11. von Rhein J., Henze G.P., Long N., Fu Y. Development of a topology analysis tool for fifth-generation district heating and cooling networks. Energy Conversion and Management. 2019. Vol. 196. P. 705–716. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.066>
12. Якість електричної енергії як функція зв'язаного енергоспоживання міських енергомереж / О.Г. Гриб та ін. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Гідравлічні машини та гідроагрегати». 2022. № 2. С. 60–65.
13. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии : монография / В.А. Онищенко и др. ; под ред. В.А. Онищенко. Харьков : ПП «Граф-Ікс», 2013. 329 с.



14. «Велике випробування»: експертка розповіла про наслідки відключень електрики для бізнесу. URL: <https://suspilne.media/334816-velike-viprobuvanna-ekspertka-rozpovila-pro-naslidki-vidklucen-elektriki-dla-biznesu/> (дата звернення: 21.01.2025).

15. Як змінюється споживання електроенергії за добу – «Укренерго». URL: <https://berdychiv-rada.gov.ua/2023/05/%D1%8F%D0%BA-%D0%B7%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%8E%D1%94%D1%82%D1%8C%D1%81%D1%8F-%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B5/> (дата звернення: 20.01.2025).

Стаття надійшла до редакції 17.04.2025

O. Luka

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

THE IMPACT OF HEAT SUPPLY LIMIT VALUES ON ELECTRIC POWER QUALITY

Summary

This paper proposes a concept of unified generalized energy consumption for household users, which accounts for the interchangeability of different types of energy and allows for their standardized assessment and analysis. Traditional approaches to evaluating energy consumption are based on direct measurements of consumed energy resources – electricity, natural gas, thermal energy, fuel, etc. – which do not provide an adequate assessment of actual energy needs and consumption efficiency under changing external conditions or energy supply structures. The proposed approach involves converting various forms of energy into a unified equivalent using three groups of coefficients: demand (reflecting the suitability of a specific type of energy for a given function), external conditions (temperature, humidity, technical constraints, etc.), and market value (consumer price of the energy resource). Based on this, a generalized representation of energy consumption is introduced in the form of an “energy consumption body” – an integrated set of energy carriers that collectively satisfy the household consumer’s energy needs. A model of energy connectivity is developed, enabling a mathematical description of resource substitution and identification of dominant consumption channels. This provides new opportunities for energy monitoring, comparative assessment of objects with different energy sources, consumption dynamics analysis, efficiency evaluation, and the development of demand-side management policies. The concept has promising practical applications in energy audits, tariff setting, modeling of consumer behavior, and the development of energy consumption forecasting systems.

Keywords: energy consumption, thermal energy, electrical energy, natural conditions, power quality indicators, energy interconnection, body of energy consumption.