

Оптимізація вибору заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель та споруд на основі техноценологічного підходу

С. П. Денисюк¹, Д. Г. Дерев'янюк¹, В. І. Василенко²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²HERZ Україна, Київ, Україна

Corresponding author. E-mail: dereviankodenys@gmail.com

Paper received 14.05.21; Accepted for publication 08.06.21.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2021-255IX32-09>

Анотація: розглянуто особливості проведення рангового аналізу для прогнозу енергоспоживання будівель та споруд в Україні. Формалізовано оптимізаційні задачі у рамках оптимізації ценозів з відповідними обмеженнями. Для відбору та ранжування заходів у рамках окремих кластерів запропоновано використовувати техноценологічний підхід. Перевагою запропонованого підходу для вибору груп заходів по підвищенню енергетичної ефективності у будівлях є оптимальне відображення процесу функціонування об'єктів техноценозу в майбутньому з урахуванням можливих змін технології, інфраструктури, а також використання ресурсів.

Ключові слова: оптимізація, техноценоз, енергетична ефективність, будівлі

Вступ: Енергозбереження відноситься до числа вищих пріоритетів державної енергетичної політики України, складаючи основу енергетичної стратегії до 2035 року. Підвищення енергоефективності збільшує рентабельність, конкурентоспроможність, кількість робочих місць, вивільняє кошти для розвитку бізнесу. В [1] передбачено, що до 2025 року здебільшого буде завершено реформування енергетичного комплексу України, досягнуто першочергових цільових показників з безпеки та енергоефективності, забезпечено його інноваційне оновлення та інтеграцію з енергетичним сектором ЄС. Рівень використання потенціалу енергозбереження в нашій державі є незадовільний, незважаючи на ряд прийнятих законодавчих та інших нормативно-правових актів, спрямованих на ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), зменшення обсягу їх споживання та імпорту.

Одним із способів підвищення енергоефективності є енергозбереження. Об'єктами енергозбереження та підвищення енергоефективності можуть бути технічні та економічні системи будівель та споруд, підприємств та організацій, галузева, регіональна та національна економіки.

Аналіз стану проблеми: Впродовж останніх років впровадження та використання енергоефективних технологій в будівлях, незалежно від комунальних служб чи споживачів, зросла в декілька разів. Енергоефективні технології визначено як заходи з модернізації огорожувальних конструкцій, інженерних систем будівель. Споживачі визнали, що підвищення рівня енергоефективності - це необхідний інструмент, який може значно скоротити витрати на енергозабезпечення та приносити прибуток в майбутньому. Крім того, споживачі також частково покладаються на енергоефективні технології, щоб задовольнити зростаючі потреби в енергоресурсах та зменшити свої витрати. Розвиток енергоефективних технологій пропонує ряд технічних, екологічних та економічних переваг. Більше того, це дозволяє покращити комфортність перебування в будівлях та привести їх характеристики до чинних вимог. Існуючі енергоефективні технології використовуються для будівель найрізноманітніших сфер. Такі заходи, як термічна санація, реконструкція, модернізація інженерних мереж, використання альтернативних джерел

енергії, все частіше застосовуються для будівель, а також з кожним роком виходять на новий рівень розвитку.

Через надзвичайну різноманітність запропонованих сьогодні технологій та їх ефектів вибір необхідного комплексу заходів з підвищення енергоефективності є досить відповідальним рішенням. Впливи таких заходів можуть бути як позитивними так і негативними, як і з технічної, так і з економічної точки зору. Разом з тим, мінімальні вимоги до енергоефективності будівель встановлюються на основі даних, розрахованих для еталонних будівель, з урахуванням вимог до теплових характеристик огорожувальних конструкцій та енергоефективності інженерних систем (включаючи устаткування) будівель відповідно до економічно доцільний рівень, що враховує рівень дисконтованих витрат на енергоефективність щодо розрахункового терміну корисного використання кожного еталону будівлі і диференційований залежно від функціонального призначення, висоти будівель і типу будівельних робіт.[2, 3, 7]

Основні результати роботи: Об'єкти бюджетної сфери та муніципальної інфраструктури в Україні є досить великими споживачами тепла, води, електроенергії та палива. За різними оцінками, сумарне споживання паливно-енергетичних ресурсів в цих сферах становить 25-30% від кінцевого споживання [2]. При цьому, бюджетні об'єкти державного підпорядкування в порівнянні з іншими, як правило, споживають більше електроенергії, регіональні і муніципальні - більше тепла і води. В середньому в великих і середніх містах на частку бюджетної сфери припадає близько 9-11% від усього енергоспоживання міста, об'єкти державної бюджетної сфери можуть додати до цієї частки ще близько 5-6%. Структура споживання енергоресурсів муніципальними об'єктами і підприємствами в значній мірі визначається специфікою і профілем їх діяльності. До групи бюджетних організацій входять різні установи освіти, охорони здоров'я, культури і мистецтва, фізкультурні і спортивні установи, об'єкти МВС і Міністерства оборони, адміністративні та адміністративно-виробничі установи. В склад об'єктів бюджетної сфери в основному входять різні будівлі і будови, функціональні і допоміжні споруди, в ряді випадків - власні системи

життєзабезпечення (котельні, системи водо-, електропостачання та ін.).

Специфіка використання енергоресурсів на цих об'єктах приведена в [8]. Режим експлуатації і область використання енергоресурсів на цих об'єктах в значній мірі збігаються, що дозволяє сформулювати досить загальний пакет технічних рішень щодо економії енергоресурсів. Комплекс заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності досить різноманітний і може бути розділений на самі різні групи. За витратами їх можливо класифікувати на маловитратні (організаційні), середньовитратні (з окупністю до 5 років) і високовартісні. Ця класифікація застосовується в ряді методичних посібників і нормативних актів.

За функціональністю енергозберігаючі заходи можуть бути класифіковані як "пасивні" та "активні" [8]. При цьому в комплекс енергозберігаючих заходів за різними об'єктами можуть входити найрізноманітніші за спрямованістю заходи: організаційні заходи (введення правил, регламентів, стандартів, нормативів, зміна графіку функціонування об'єкту і т.д.), технічні заходи (реконструкція будівлі, встановлення додаткового обладнання, використання тепла, що відходить та ін.), різні мотиваційні заходи і механізми (елементи стимулювання, пропаганда і т.д.).

Розробка системного підходу – це необхідність, зумовлена суттєвим ускладненням задач структурної організації та управління в енергетиці в умовах реформування, зростаючого попиту на енергетичні послуги в їх кількісному і якісному вигляді, статусом споживача, який став активним суб'єктом організаційно-господарських відносин, новими вимогами, що висувуються суспільством до концепції інтелектуалізації енергетики – концепції Smart Grid [2, 3, 6].

Тому, разом із сформованими системними дослідженнями технічних систем доцільно їх вивчення як спільнот виробів – техноценозів, що передбачає застосування ряду понять, які використовуються об'єктивною закономірністю, що має загальний характер [4, 5].

Термін «техноценоз» і ценологічний підхід до дослідження складних технічних систем визначається як штучна система, спільнота виробів зі слабкими зв'язками і єдиними цілями, обмежена в часі і просторі. Універсальність ценологічного підходу і сформульованого на його основі закону оптимальної побудови техноценозу дозволяє застосовувати їх для бюджетних організацій та установ [2, 4, 5]. Дослідження техноценозу – це дослідження цілого, конкретного об'єкта, що має інтегративні властивості, дослідження, що припускає рух від цілого до частин при вивченні дуже складних імовірнісних технічних систем [5].

Метою техноценологічного дослідження аналізу є статистичний аналіз, крім того оптимізація техноценозу (рис. 1). Рангові аналіз включає процедури інтервального оцінювання, параметричного нормування, прогнозування та нормування споживання ресурсів. Поглиблений аналіз рангових параметричних розподілів дає можливість значно підвищити ефективність рангового аналізу. Зазначимо, що він здійснюється в таких процедурах як дифлекс-аналіз, GZ-аналіз, ZP-аналіз і ASR-аналіз [8].

Однак слід зазначити, що техноценоз, безумовно, система техногенного походження, а для проведення оптимізації техноценозу (рис. 1) відповідно з побудованими графіками розподілу необхідно визначити оптимальний розподіл. Багаторічний досвід дослідження техноценозів в різних областях людської діяльності показує що, оптимальною є така конфігурація системи, яка аналітично описується двопараметричним апроксимуючим виразом рангового розподілу. Енергоспоживання об'єкта $W(x)$ у якості основи для побудови рангового параметричного H -розподілу визначається, як:

$$W(x) = \frac{W_1}{r^\beta}$$

де r – ранг об'єкту; β – показник, який визначає ступінь крутизни кривої розподілу; (1) $W_1 = W_{\max}$ – константа, за яку приймається максимальне значення найбільш крупного споживача.



Рис. 1. - Алгоритм проведення рангового аналізу для прогнозу енергоспоживання бюджетних організацій та установ

$$\beta = \log_r \frac{W_1}{W(x)}$$

Найкращим вважається такий стан техноценозу, при якому параметр знаходиться в межах $0,5 \leq \beta \leq 1,5$. Відповідно до зазначеного виразу можна визначити деякий діапазон оптимальних станів системи і графічно відобразити його у вигляді якоїсь смуги на графіку рангового розподілу [2].

Саму оптимізаційну задачу всередині ценозів можна формалізувати наступним чином:

$$Z(R_i, PSQ_i, ENV_i, PI_i) \rightarrow \text{extr},$$

де R_i – індекс надійності функціонування технічних систем об'єкту, PSQ_i – індекс якості електропостачання об'єкту, ENV_i – індекс «екологічності» об'єкту, PI_i – індекс рентабельності об'єкту.

Сформульована у такому вигляді оптимізаційна задача матиме наступні обмеження:

$$0 \leq f_i(R_i, ENV_i) < 1$$

$$f_i(PSQ_i, PI_i) \geq 1$$

Наведений на рис. 2 ранговий параметричний розподіл техноценозу по споживанню електричної енергії

бюджетними організаціями та установами Солом'янського району за 2016 рік, наявно ілюструє дієвість запропонованого підходу.

Дослідження ценозів як цілісності зводять до їх системного опису ієрархічною системою показників (що обов'язково для ідентифікації ценоза) і до структурного ценологічного опису.

На етапі статистичного аналізу і побудови емпіричної моделі процесу енергоспоживання здійснюється повномасштабна статистична обробка даних по споживанню енергетичних ресурсів, яка включає в себе інтервальне оцінювання, а також ранговий та кластерний аналіз. Рангові аналіз дозволяє упорядкувати інформа-

цію, здійснити прогнозування енергоспоживання окремими об'єктами і інфраструктурою в цілому, інтервальне оцінювання виявляє в динаміці і наочно представляє об'єкти з аномальним енергоспоживанням. Кластерний аналіз дозволяє розбити об'єкти по групах і здійснити нормування енергоспоживання об'єктів в кожній групі з детальним статистичним описом отриманих норм [3].

Побудова рангового-параметричного розподілу здійснюється на основі даних по енергоспоживанню. Ранговий видовий розподіл зручно зображувати в графічній формі. Він представляє собою сукупність точок, вісь абсцис відповідає рангу виду, а вісь ординат – числу особин, яким цей вид представлений.

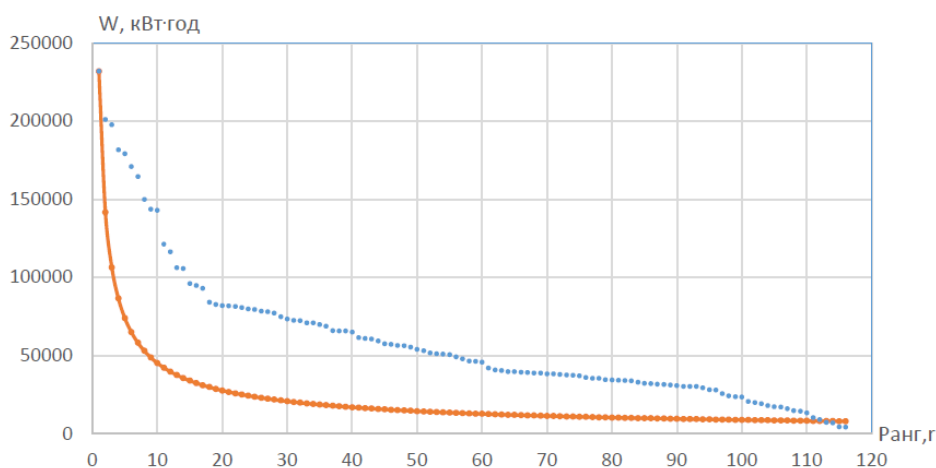


Рис. 2 - Ранговий параметричний розподіл техноценозу по споживанню електричної енергії бюджетними організаціями та установами Солом'янського району за 2016 рік, точки – емпіричні дані, суцільна лінія – апроксимальна крива

Основним змістом рангового аналізу вважається методика побудови рангових розподілів і їх подальше використання з метою оптимізації ценоза. Для виконання оптимізації системи виконується порівняння ідеальної кривої з реальною, після вивчення співвідношення кривих можна зробити висновок: що необхідно змінити в ценозі, щоб точки реальної кривої прагнули потрапити на ідеальну криву. Для цього визначаються способи, засоби, механізми поліпшення ценозу з метою усунення аномальних відхилень. При наближенні експериментальної кривої розподілу до ідеальної кривої виду, тим стабільніше система.

Висновки. Перевагою запропонованого підходу для вибору груп заходів по підвищенню енергетичної ефективності у будівлях є оптимальне відображення процесу функціонування об'єктів техноценозу в майбутньому з урахуванням можливих змін технології, інфраструктури, а також використання ресурсів. При використанні методу облік факторів виконується, спочатку

введенням в алгоритм моделі управляючих впливів, далі, реалізацією стохастичних зворотних зв'язків, і як наслідок одночасною розробкою кількох можливих варіантів розвитку техноценозу, а в подальшому при роботі з моделлю, постійним дослідженням адекватності результатів моделювання. Недоліком слід зазначити, що метод, який заснований на статистичній моделі, як і подібні методи, з високою точністю розраховують значення короткострокового прогнозування (згідно з дослідженнями точний прогноз можна отримати на 1 – 2 роки, після цього помилка різко зростає). Другим недоліком є неможливість реалізації критеріїв, які засновані на порівнянні варіантів управління енергоспоживання. Ці недоліки можливо усунути. Для цього необхідне створення динамічної адаптивної моделі, що відбиває процес електроспоживання на глибину від 5 до 7 років і більше.

ЛІТЕРАТУРА

1. «Нова Енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
2. Денисюк С.П. Техноценологічний підхід як метод дослідження електроспоживання об'єктів. / Денисюк С.П., Василенко В.І. // Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті. Матеріали XVIII міжнародної науковопрактичної конференції. – 2017. – С. 50 – 55.
3. Denysiuk, S. Optimisation features of energy processes in energy systems with Distributed Generation / Denysiuk, S., Derevianko, D. // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 - Proceedings, 2020, pp. 211–214, 9160212.
4. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов. Ценологические исследования. Вып. 29-М.; Томский гос. ун-т: Центр системных исследований, 2005. – 384 с.
5. Кудрин Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические H-распределения

- и законы Лотки, Цифа, Парето, Мандельброта // Техногенная самоорганизация. Вып. 25 : Ценологические исследования. М.: Центр системных исследований, 2004. 248 с. Режим доступа: <http://mens.by/style/shine/470-mustach-eseburns>
6. Указ президента України Про стратегію сталого розвитку "Україна – 2020". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5/2015#Text>
7. МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ, БУДІВНИЦТВА ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ НАКАЗ від 11.07.2018 № 170 Про затвердження Методики визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0823-18#Text>
8. Denysiuk S. The use of technocenological approach in decision making for energy efficiency measures implementation in buildings and structures / Denysiuk S., Derevianko D., Vasylenko V. // Sciences of Europe (Prague, Czech Republic), - VOL 1, № 69 (2021), - pp.65-69. ISSN 3162-2364

REFERENCES

1. «Nova Enerhetychna stratehiia Ukrainy do 2035 roku: bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist» Rezhym dostupu: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
2. Denysiuk S.P. Tekhnotsenolohichni pidkhd yak metod doslidzhennia elektrospozhyvannia ob'ektiv. / Denysiuk S.P., Vasylenko V.I. // Vidnovliuvalna enerhetyka ta enerhoefektyvnist u KhKhI stolitti. Materialy KhVIII mizhnarodnoi naukopraktychnoi konferentsii. – 2017. – S. 50 – 55.
3. Denysiuk, S. Optimisation features of energy processes in energy systems with Distributed Generation / Denysiuk, S., Derevianko, D. // 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2020 - Proceedings, 2020, pp. 211–214, 9160212.
4. Hnatiuk V. Y. Zakon optymalnoho postroenyia tekhnotsenozov. Tsenolohycheskye yssledovanyia. Vyp. 29-M.; Tomskyi hos. un-t: Tsent systemnykh yssledovanyi, 2005. – 384 s.
5. Kudryn B. Y. Matematyka tsenozov: vydovoe, ranhovydovoe, ranhovoe po parametru hyperbolycheskye N-raspredelenia y zakony Lotky, Tsypfa, Pareto, Mandelbrota // Tekhnohennaia samoorhanyzatsiia. Vyp. 25 : Tsenolohycheskye yssledovanyia. M.: Tsent systemnykh yssledovanyi, 2004. 248 s. Rezhym dostupu: <http://mens.by/style/shine/470-mustach-eseburns>
6. Ukaz prezidenta Ukrainy Pro stratehiu staloho rozvytku "Ukraina – 2020". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5/2015#Text>
7. МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ, БУДІВНИЦТВА ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ НАКАЗ від 11.07.2018 № 170 Про затвердження Методики визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0823-18#Text>
8. Denysiuk S. The use of technocenological approach in decision making for energy efficiency measures implementation in buildings and structures / Denysiuk S., Derevianko D., Vasylenko V. // Sciences of Europe (Prague, Czech Republic), - VOL 1, № 69 (2021), - pp.65-69. ISSN 3162-2364

Decision making optimization of the energy efficiency measures in buildings and structures based on the techno-technological approach

S. Denysiuk, D. Derevianko, V. Vasylenko

Abstract: the peculiarities of conducting a rank analysis for the forecast of energy consumption of buildings and structures in Ukraine are considered. The optimization problems within the framework of optimization of cenoses with corresponding restrictions are formalized. It is proposed to use a technocenological approach to select and rank activities within individual clusters. The advantage of the proposed approach for the selection of groups of measures to improve energy efficiency in buildings is the optimal reflection of the process of functioning of the objects of the technocenosis in the future, taking into account possible changes in technology, infrastructure and resource use.

Keywords: optimization, technocenosis, energy efficiency, buildings