

## ЗАСТОСУВАННЯ БЕНЧМАРКІНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ПРИКЛАДІ ЖИТЛОВО КОМУНАЛЬНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

В. П. Розен, С. С. Великий

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Анотація.** В статті представлено порівняння Європейського методу розрахунку класу енергоефективності на прикладі гуртожитків НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського з нормами в країнах Австрії та Чехії. А також представлені основні ідеї Бенчмаркінгу енергоефективності та показаний початковий етап ранжування об'єктів за відповідними факторами.

**Ключові слова:** бенчмаркінг енергоефективності, ранжування, метод парних порівнянь, правило Кондорсе, правило Копеланда.

### Вступ

Країни Європейського союзу слугують світовим еталоном серед впровадження інновацій та стандартів в напрямі ефективного використання енергії. Намагання України приєднатися до Європейського союзу, призведуть до появи нових економічних та політичних можливостей. Як передбачає “Нова Енергетична стратегія України: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, до 2025 року буде, в основному, завершено реформування енергетичного комплексу України, досягнуто першочергових цільових показників з безпеки та енергоефективності, забезпечено його інноваційне оновлення та інтеграцію з енергетичним сектором ЄС[1]. Тому до числа державних пріоритетів відноситься енергоефективність, створюючи основу енергетичної стратегії України. Підвищення рівня енергоефективності призводить до підвищення рентабельності, конкурентоспроможності, що в свою чергу призводить до отримання коштів для розвитку промисловості. Проте досягнення стандартів (EN, ISO) які пропонуються країнами ЄС, безпосередньо на території країни, є досить непростю задачею.

Україна займає низьке місце в порівнянні рівня енергоефективності з країнами Європейського союзу. Найбільш поширеною мірою порівняння рівня енергоефективності в часі та між країнами є енергоємність, що виражається як обсяг споживання енергії на одиницю виробленої продукції. Однак цей показник не придатний ні для міжнародного порівняння, ні для відслідковування рівня енергоефективності в часі. Напри-

клад, енергоємність металургії в 10 разів перевищує енергоємність харчової галузі. Частка металургії, найбільш енергоємної через технологічні характеристики галузі промисловості, в Україні складає 60,0%, і тільки 20,0% – у ЄС [1]. Під час простого порівняння енергоємності промисловості в Україні та ЄС (без урахування структури промислового виробництва) українська промисловість апіорі є значно більш енергоємною. Більше того, енергоємність може знизитися внаслідок змін у структурі економіки, наприклад, сектор послуг зростатиме швидше, ніж енергоємні галузі.

### Аналіз останніх публікацій та досліджень

Методика розрахунку рівня енергоефективності має певні аналоги [2], проте як базовий метод, який формує механізм управління ефективністю, обраний бенчмаркінг [3]. Бенчмаркінг енергоефективності може застосовуватися не тільки для порівняння енергоефективності країн, а також будівель або провести порівняння за енергоефективністю цехів на промисловому підприємстві [4].

Проте не слід відрізняти Бенчмаркінг ефективності якій представлений в роботах [5] з Бенчмаркінгом енергоефективності [6] робота в цих напрямках дещо відрізняється.

### Мета досліджень

Показати напрям подальшого розвитку європейського досвіду оцінювання на прикладі запропонованого методу визначення рівня енергоефективності будівель. Запропонувати власного методу бенчмаркінгу енергоефективності та висвітлення його основних ідей. На прикладі даних

теплових та енергетичних витрат гуртожитків навчального закладу здійснити порівняльний аналіз з встановленими нормами в країнах Австрії та Чехії.

### Основна частина

#### 1. Основні поняття Бенчмаркінгу енергоефективності та представлення норм класів енергоефективності для країн Австрії та Чехії.

Термін «бенчмаркінг» з'явився у 1972р. В Інституті стратегічного планування Кембриджу (США). Сьогодні існують різні визначення поняття «бенчмаркінг» («benchmark» – оцінка на фіксованому об'єкті, наприклад, оцінка на стовпі, що зазначає висоту над рівнем моря), що не мають однозначного перекладу на українську мову.

У Японії «benchmarking» співвідноситься за змістом з японським словом «dantotsu», що означає «зусилля, занепокоєння, турботу кращого (лідера) стати ще кращим (лідером)».

По суті бенчмаркінг – це процес еталонного зіставлення. У бізнес-середовищі існує безліч трактувань бенчмаркінгу. Класичним визначенням бенчмаркінгу є слова засновника цього методу удосконалювання управління, керівника Глобальної мережі бенчмаркінгу (Global Benchmarking Network) Роберта Кемпа: «Бенчмаркінг – це пошук кращих методів, які ведуть до поліпшення діяльності».

Європейський стандарт EN 15217 [7] в якому містяться методи для розрахунку класу енергоефективності є одним з прикладів невідповідного намагання пристосувати його що до України. Проте через малу кількість допоміжних факторів, які б показували реальний стан енергоефективності безпосередньо для певної групи об'єктів. А також давали б змогу проаналізувати наявні фактори та внести ряд змін для підвищення рівня енергоефективності.

Насамперед порівняємо метод європейського розрахунку рівня енергоефективності будівель в Україні з нормами країн Австрії та Чехії. За приклад будівель беруться гуртожитки навчального закладу НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, а саме данні річних витрати електроенергії та теплоти по відношенню до корисної площі.

Представлена інформація в таблицях 1 і 2 показують шкалу маркування для країн Австрії та Чехії [8].

Таблиця 1

Шкала класів енергетичної ефективності будівель в Австрії.

Клас енергоефективності	Енергоспоживання, кВт*год./( $m^2 \cdot p_{ik}$ )	Примітка
A++ A+	менше 10-15	Стандарт пасивного дома
A	менше 25	Дім з ультра низьким енергоспоживанням
B	менше 50	Дім з низьким енергоспоживанням
C	менше 100	Дім, відповідний будівельним нормам і правилам
D E F G	150-250 і більше	Старі будівлі, які не пройшли санацію

Таблиця 2

Шкала енергетичної ефективності житлових та нежитлових будівель, що використовується для енергетичного сертифіката в Чехії.

Клас	Тип будівлі							
	Односімейний будинок	Квартирні блоки	Готелі та ресторани	Офіси	Госпіталі	Навчальні будівлі	Спорт. споруди	Магазини, торгові центри
A	<51	<43	<102	<62	<109	<47	<53	<67
B	51-97	43-82	102-200	62-123	109-210	47-89	53-102	67-121

Продовження таблиці 2

C	98-142	83-120	201-294	124-179	211-310	90-130	103-145	122-183
D	143-191	121-162	295-389	180-236	311-415	131-174	146-194	184-241
E	192-240	163-206	390-488	237-293	416-520	175-220	195-245	242-300
F	241-286	206-245	289-590	294-345	521-625	221-297	246-297	301-362
G	>286	>245	>590	>345	>625	>297	>297	>362

На графіку 1 розраховано значення рівня енергоефективності для гуртожитків в навчальному закладі.



Рис. 1. Графік рівня енергоефективності гуртожитків НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Як видно з графіка більшість значень не перевищують 50 кВт\*год./( $m^2$ \*рік) що свідчить про відповідність рівня В для Австрії і В для Чехії. Клас енергоефективності гуртожитків В що є хорошим показником але роки побудови даних будівель в проміжку 1927-1980 рр. що свідчить про невідповідність визначеного класу енергоефективності, а також середня температура в зимовий період не є далекою від комфортної. При цьому країни Австрії та Чехії знаходяться в одному кліматичному поясі.

Отже ми маємо рівень визначений за стандартом EN 15217 значно відрізняється від наявного стану будівлі, що свідчить про малу кількість вибраних факторів для визначення рівня енергоефективності.

## 2. Методи ранжування об'єктів та порівняння з Європейськими методами визначення класу енергоефективності.

Саме для уникнення цієї проблеми використовується Бенчмаркінг енергоефективності, а саме його частина в якій попередньо визначаються всі фактори які можуть в будь-якій мірі вплинути на енерговикористання. І наступним кроком є проведення рейтингового оцінювання за визначеними факторами. В якості об'єктів які беруть участь в процесі можуть бути не тільки будівлі, а також будь який промисловий об'єкт. Проведення рейтингового оцінювання може проходити за певними правилами ранжування (Борда, Кондорсе тощо) або в сукупності декількох правил та порівняння результату.

Бенчмаркінг енергоефективності також може проводитися за декількома варіантами: порівняння певної кількості об'єктів з еталонним об'єктом та визначення необхідних заходів для досягнення еталону; порівняння певної кількості об'єктів між собою та визначення необхідних заходів для досягнення до кращого. Під поняттям еталону слід розуміти найкращий об'єкт який за всіма визначеними стандартами має вищу оцінку. Це дозволить підвищити рівень енергоефективності не тільки гірших об'єктів на підприємстві, а також кращих які далекі від еталону.

Для прикладу проведемо ранжування за уточненим методом парних порівнянь. Перевага даного метода над іншими методами парних порівнянь (правило Кондорсе, Копеланда) в тому що враховується наскільки велика перевага порівнюваних об'єктів.

Ранжування гуртожитків проводилось за трьома коефіцієнтами витрати електроенергії та теплоти по відношенню до корисної площі гуртожитку, об'єму гуртожитку, кількості проживаючих в гуртожитку. В таблиці 3 показаний порядок гуртожитків від кращого до гіршого за трьома коефіцієнтами.

Таблиця 3

Порядок гуртожитків за трьома коефіцієнтами.

кВт*год./( $m^2$ *рік)	кВт*год./( $чол.$ *рік)	кВт*год./( $m^3$ *рік)
Гурт. № 14	Гурт. № 14	Гурт. № 9
Гурт. № 9	Гурт. № 6	Гурт. № 14
Гурт. № 3	Гурт. № 22	Гурт. № 3
Гурт. № 6	Гурт. № 21	Гурт. № 17
Гурт. № 13	Гурт. № 16	Гурт. № 6
Гурт. № 19	Гурт. № 13	Гурт. № 19
Гурт. № 15	Гурт. № 12	Гурт. № 1
Гурт. № 11	Гурт. № 17	Гурт. № 4
Гурт. № 17	Гурт. № 8	Гурт. № 15
Гурт. № 22	Гурт. № 7	Гурт. № 20
Гурт. № 1	Гурт. № 1	Гурт. № 11
Гурт. № 12	Гурт. № 19	Гурт. № 22
Гурт. № 21	Гурт. № 10	Гурт. № 13
Гурт. № 4	Гурт. № 20	Гурт. № 21
Гурт. № 16	Гурт. № 4	Гурт. № 16
Гурт. № 7	Гурт. № 18	Гурт. № 12

Гурт. № 8	Гурт. № 15	Гурт. № 18
Гурт. № 20	Гурт. № 11	Гурт. № 8
Гурт. № 10	Гурт. № 3	Гурт. № 7
Гурт. № 18	Гурт. № 9	Гурт. № 10

Запропоноване правило враховує різницю і сприяє більш «справедливому» ранжуванню об'єктів в нашому випадку гуртожитків. Так як в цьому методі перевага об'єкта  $OBJ_i$  над об'єктом  $OBJ_k$  по  $j$ -ому критерію визначається «відстанню» між цими об'єктами в упорядкованому списку (табл. 3)  $OBJ$  по  $j$ -ому критерію.

$$q_i(OBJ_{ik}, OBJ_{il}) = \begin{cases} l - k, & \text{если } l \succ k \\ 0, & \text{если } l \prec k \end{cases} \quad (1)$$

Число  $q_i(OBJ_{ik}, OBJ_{il})$  визначає ступінь переваги  $OBJ_{ik}$  над  $OBJ_{il}$  по  $j$ -ому критерію. Тоді, перевагу  $OBJ_{ik}$  над  $OBJ_{il}$  за всіма критеріями можна виразити числом:

$$Q_i(OBJ_{ik}, OBJ_{il}) = \sum_{j=1}^n q_i(OBJ_{ik}, OBJ_{il}), \quad (2)$$

Обчисливши числа  $Q_i(OBJ_{ik}, OBJ_{il})$  для всіх пар  $OBJ_{ik}, OBJ_{il}$ , визначимо рейтинг  $\bar{Q}(OBJ_i)$  наступним чином:

$$\bar{Q}(OBJ_i) = \sum_{j=1}^m Q_{ij}, j \neq i, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

Результуючий рейтинг представлений в таблиці 4.

Таблиця 4

Рейтинг ранжування гуртожитків НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського за уточненим методом парних порівнянь.

Номер гурт.	$\bar{Q}(OBJ_i)$
Гурт. № 14	544
Гурт. № 6	424
Гурт. № 9	353
Гурт. № 3	307
Гурт. № 17	280
Гурт. № 13	253

Гурт. № 19	246
Гурт. № 22	244
Гурт. № 21	185
Гурт. № 1	179
Гурт. № 15	163
Гурт. № 16	150
Гурт. № 12	147
Гурт. № 11	124
Гурт. № 4	122
Гурт. № 20	79

Гурт. № 8	75
Гурт. № 7	67
Гурт. № 10	29
Гурт. № 18	23

Якість ранжування підвищується при підвищенні кількості факторів ранжування, а також ці фактори повинні безпосередньо мати вплив на енергоефективність.

Результати ранжування гуртожитків НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського показані на графіку 2.

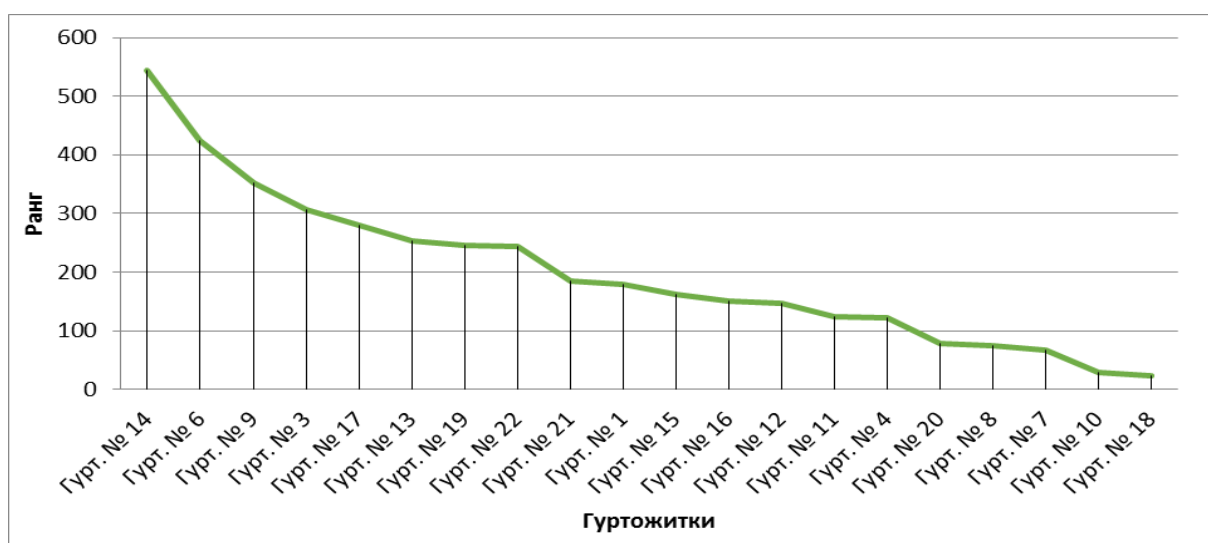


Рис. 2. Графік ранжування гуртожитків за уточненим методом парних порівнянь.

Для кращої наочності розставимо показники енергоефективності, які були розраховані попередньо, у порядку зростання. А також порівняємо з результатами ранжування.

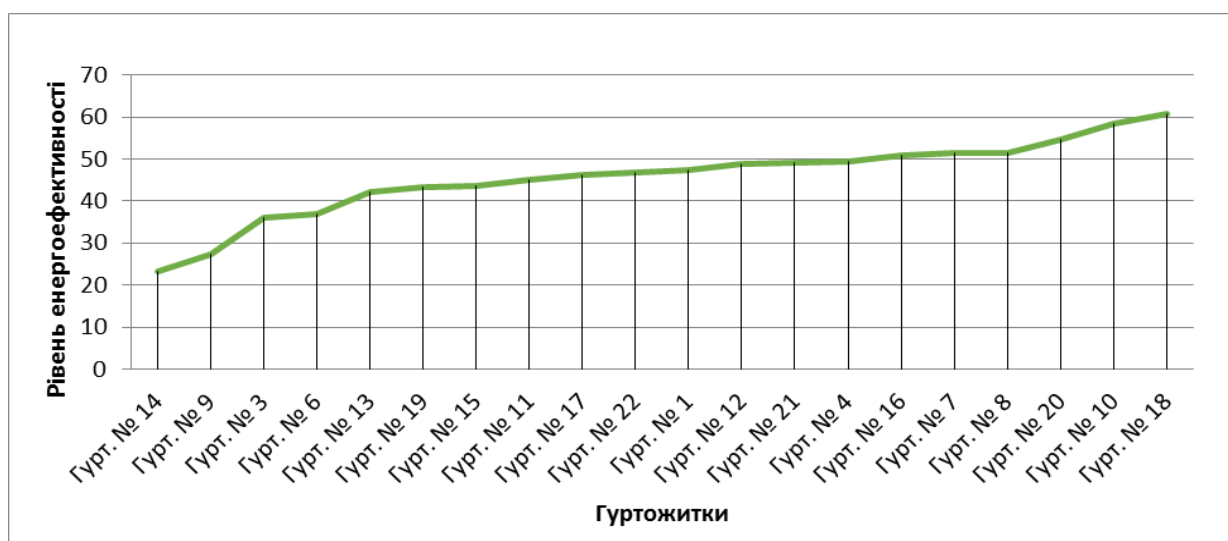


Рис. 3. Графік рівня енергоефективності гуртожитків у порядку зростання.

З порівняння графіків видно що порядок розташування корпусів різний і заходи з підвищення енергоефективності повинні застосовуватись в різному напрямку для кожного гуртожитку. Застосування Бенчмаркінгу енергоефективності можливе для будь якого промислового об'єкту, проте через проблеми співробітництва та складністю отримання достовірних факторів які впливають на енергоефективність, робота ведеться в сфері житлово-комунального сектору, а саме в гуртожитках НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

### Висновки

Проведено порівняння Європейських норм визначення класу енергоефективності з нормами гуртожитків університету України та визначення відмінності, що свідчить про малу кількість визначених факторів які впливають на рівень енергоефективності. Для більш якісного визначення недоліків певних об'єктів в сфері енергоефективності запропоновано використання процесу Бенчмаркінгу енергоефективності. Показана часткова ідея проведення Бенчмаркінгу енергоефективності, а саме приведеній приклад ранжування гуртожитків за визначеними коефіцієнтами.

### Список використаної літератури

1. Проект енергетична стратегія України до 2035 року "Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність" [Електронний ресурс] // Київ. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245165746&cat\\_id=245165726](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245165746&cat_id=245165726)
2. Додонов, Б. Моніторинг енергоефективності України 2016 [Електронний ресурс] / Б. Додонов // Київ. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://newsep.com.ua/media/news/854/files/Моніторинг%20енергоефективності%20України%202016.pdf>.
3. Гончарук, А. Г. Механизм управления эффективностью промышленных предприятий [Текст] / А. Г. Гончарук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – С. 148–151.
4. Методология бенчмаркинга для повышения уровня энергоэффективности промышленных предприятий Украины [Текст] / В. П. Розен, Б. Л. Тишевич, Е. Н. Иншеков, П. В. Розен // PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE. – 2012. – № 2. – С. 73–84.
5. Коваленко, О. В. Сутність та особливості бенчмаркінгу в антикризовому управлінні підприємством [Текст] / О. В. Коваленко. // Ме-

ханізм регулювання економіки. – 2009. – С. 140–145.

6. Розен, В. П. Визначення основних факторів, які впливають на зменшення теплових та електричних витрат в навчальних корпусах [Текст] / В. П. Розен, С. С. Великий. // Вісник НТУУ "КПІ" Серія "Гірництво". – 2016. – № 30. – С. 96–104.

7. EN 15217 Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings [Електронний ресурс] // European committee for standardization. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set1/WI\\_01+03\\_prEN\\_15217\\_Expressing\\_energy\\_performance\\_energy\\_certification.pdf](http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set1/WI_01+03_prEN_15217_Expressing_energy_performance_energy_certification.pdf).

8. Кудревич, О. О. Сертификация энергетической эффективности зданий [Електронний ресурс] / Кудревич, О. О. // Минск. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://effbuild.by/publications/download/0/274/>.

### References

1. The Energy Strategy of Ukraine till 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness" ["Proekt enerhetychna stratehiya Ukrainy do 2035 roku "Bezpeka, Enerhoefektyvnist", Konkurentospromozhnist""], available at: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245165746&cat\\_id=245165726](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245165746&cat_id=245165726)
2. Dodonov, B., The Monitoring Energy Efficiency of Ukraine 2016 ["Monitorynh enerhoefektyvnosti Ukrainy 2016"], available at: <http://newsep.com.ua/media/news/854/files/Моніторинг%20енергоефективності%20України%202016.pdf>.
3. Goncharuk, A. (2009), The mechanism of efficiency management of industrial enterprises ["Mekhanizm upravleniya effektivnost'yu promyshlennykh predpriyatiy "], Herald of Khmelnytsky National University, pp. 148–151.
4. Rozen, V., Tyshevych, B., Ynshekov, E., Rosen, P. (2012), Benchmarking methodology to increase the level of energy efficiency of industrial enterprises in Ukraine ["Metodologiya benchmarkinga dlya povysheniya urovnya energoefektivnosti promyshlennykh predpriyatiy Ukrainy"], PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE, No. 2, pp. 73–84.
5. Kovalenko, O. (2009), The essence and special role of benchmarking in crisis management management ["Sutnist' ta osoblyvosti benchmarkingu v antykrizovomu upravlinni pidpryyemstvom"], Mechanism of economic regulation, pp. 140–145.
6. Rosen, V., Velykyi, S. (2016), Definitions of key factors that influence on reducing costs heat and

electricity in the educational building ["Vyznachennya osnovnykh faktoriv, yaki vplyvayut' na zmenshennya teplovykh ta elektrychnykh vytrat v navchal'nykh korpusakh"], Herald "KPI" Series "Mining", No. 30, pp. 96–104.

7. EN 15217 Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings available at:

[http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set1/WI\\_01+03\\_prEN\\_15217\\_Expressing\\_energy\\_performance\\_energy\\_certification.pdf](http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set1/WI_01+03_prEN_15217_Expressing_energy_performance_energy_certification.pdf).

8. Kudrevich, A., Certification of energy efficiency of buildings ["Sertifikatsiya energeticheskoy effektivnosti zdaniy"], available at: <http://effbuild.by/publications/download/0/274/>.

## APPLICATION OF ENERGY EFFICIENCY BENCHMARKING ON THE EXAMPLE OF THE HOUSING COMMUNAL SECTOR OF UKRAINE

V. Rosen, S. Velykyi

(National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»)

**Abstract.** The article deals with the importance of efficient use of electricity in Ukraine. The purpose of the article is to show the trend in the further development of European assessment experience in case of using the proposed method for determining the level of energy efficiency of buildings. The incorrectness of the European method for determining energy efficiency in relation to Ukraine is stated. One of the incorrect methods focuses on the determination of the energy efficiency class of buildings on the basis of the European standard. The object for calculating the class of energy efficiency is the dormitories of the NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». The results of calculations are compared with the reference value of the energy efficiency class of buildings in Austria and the Czech Republic. In addition, the method for conducting a comparative analysis of energy efficiency is proposed, this method applying the approach used in benchmarking energy efficiency. The basic concepts and ideas of benchmarking are shown, which will make it possible to demonstrate the actual picture of the state of energy efficiency in the housing and communal sector. As a result, the differences in the process of determining energy efficiency of the presented number of dormitories are considered, which proves the advantages of this comparative analysis over the European method for determining the energy efficiency class of buildings.

**Key words:** energy efficiency benchmarking, ranking, paired comparisons, Condorcet rule, Copeland rule.

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕНЧМАРКИНГА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЖИЛИЩНО КОММУНАЛЬНОГО СЕКТОРА УКРАИНЫ

В. П. Розен, С. С. Великий

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Аннотация.** В статье представлено сравнение Европейского метода расчета класса энергоэффективности на примере общежитий НТУУ КПИ им. Игоря Сикорского с нормами в странах Австрии и Чехии. А также представлены основные идеи бенчмаркинга энергоэффективности и показан начальный этап ранжирования объектов по соответствующим факторам.

**Ключевые слова:** бенчмаркинг энергоэффективности, ранжирование, метод парных сравнений, правило Кондорсе, правило Копеланд.

Отримано 24.03.2017



**Розен Віктор Петрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації і управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». вул. Борщагівська, 115/3, Київ, Україна, E-mail: [auek@ukr.net](mailto:auek@ukr.net), тел. +38 (044)204-8225

**Victor Rosen**, Dr. of Science, Professor, Head of the Department of automation and control of electrical engineering complexes, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», st. Borschagovskaya, 115/3, Kyiv, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0002-0440-4251



**Великий Сергій Сергійович**, аспірант кафедри автоматизації і управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». вул. Борщагівська, 115/3, Київ, E-mail: [ser\\_vel@ukr.net](mailto:ser_vel@ukr.net), тел. +38 (098)282-8177

**Serhii Velykyi**, postgraduate of the Department of automation and control of electrical engineering complexes, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», st. Borschagovskaya, 115/3, Kyiv, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0002-5304-0597