

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАРУБІЖНИХ ТА ВІТЧИЗНЯНИХ ІНДИКАТОРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЇХ РОЗРАХУНКУ

*Кліматичні зміни, рівень забруднення навколишнього середовища, оцінка вичерпності традиційної сировини для генерації енергії, усвідомлення того факту, що негативний вплив на навколишнє середовище спричинений антропогенною діяльністю, світові економічні кризи та пошук забезпечення щасливого та безпечного життя майбутніх поколінь стали рушієм розвитку енергоефективності. Але для того, щоб усвідомити індивідуальні напрями завдань у підвищенні рівня енергоефективності, варто визначити підходи до її оцінки. Цікавим є те, що дана сфера вбирає в себе не тільки поняття «енергії», а і має зв'язок та деякою мірою обмеження зі сферами економіки, екології та права.*

*У даній роботі виконано аналіз понять та підходів, що використовуються під час оцінювання рівня енергоефективності міжнародного обсягу та у середині країни. Результати проведеного аналізу показали, що у світовій практиці використовується оцінка енергоефективності за кінцевим споживанням у чотирьох сферах діяльності: виробництво, транспорт, сфера послуг та домогосподарства. У кожному з підсекторів оцінюється індикатор енергоспоживання у порівнянні із попереднім роком. А індекс на рівні сектору – середньозважена сума індикаторів його підсекторів. Для отримання якісніших результатів, використовуються різні види коригування. Одними з них є кліматичні поправки та коригування за паритетом купівельної спроможності. Для підвищення рівня енергоефективності всередині країни, можливо застосовувати перелічені практики на регіональному рівні.*

**Ключові слова:** енергоефективність, показник, індикатор енергоефективності, індекс енергоефективності, регіональна оцінка енергоефективності, міжнародна оцінка енергоефективності, енергоємність.

### Вступ

Під енергоефективністю мається на увазі отримання того ж результату при менших затратах. Не дивлячись на той факт, що енергоефективність походить від слів «енергія» та «ефективність», дане поняття містить у собі економічний, правовий та екологічний аспекти, котрі мають різні важелі впливу на рівень даного поняття. Саме тому, енергоефективність представляє собою цілу систему, котра повинна оцінюватись належним чином та регулюватися. Для оцінювання стану енергоефективності, перш за все необхідно визначити критерії, що використовуються під час його оцінювання.

Однією з передумов розвитку галузі енергоефективності були негативні кліматичні зміни. Глобальне потепління має наступні негативні наслідки: інтенсивні теплові хвилі, урагани і тайфуни, танення льодовиків, підняття рівня світового океану, його нагрівання та закислення, посухи та пилові бурі [1]. Так, коли у 1988 році Міжурядовою групою експертів було науково підтверджено, що глобальне потепління на 90% спричинене діяльністю людини [2], світ почав усвідомлювати важливість мінімізації негативних впливів своєї діяльності. Найбільшими забруднювачами повітря є: сектор енергетики (73.2%), сільське, лісове господарство та землекористування (18.4%), промисловість (5.2%), відходи (3.2%) – рисунок 1 [3]. За даними ООН, у 2019 році, близько 4 млн людей у світі померли від забруднення повітря [4].

Іншим рушієм виокремлення поняття енергоефективності стали нафтові кризи. Після першої нафтової кризи («нафтове ембарго») 1973 року, коли Об'єднані арабські країни-експортери нафти відмовились від постачання нафти країнам, що підтримували Ізраїль у Війні Судного дня. До таких країн відносились країни США та Західної Європи, після чого, у пошуках енергетичної незалежності, ці країни створили енергетичні агенства: у 1974 в Європі було засноване Міжнародне енергетичне агенство (МЕА або IEA) [5] та Управління енергетичною інформацією (U.S. EIA) у США [6]. Тому, оцінка рівня енергоефективності має багатогранний характер.

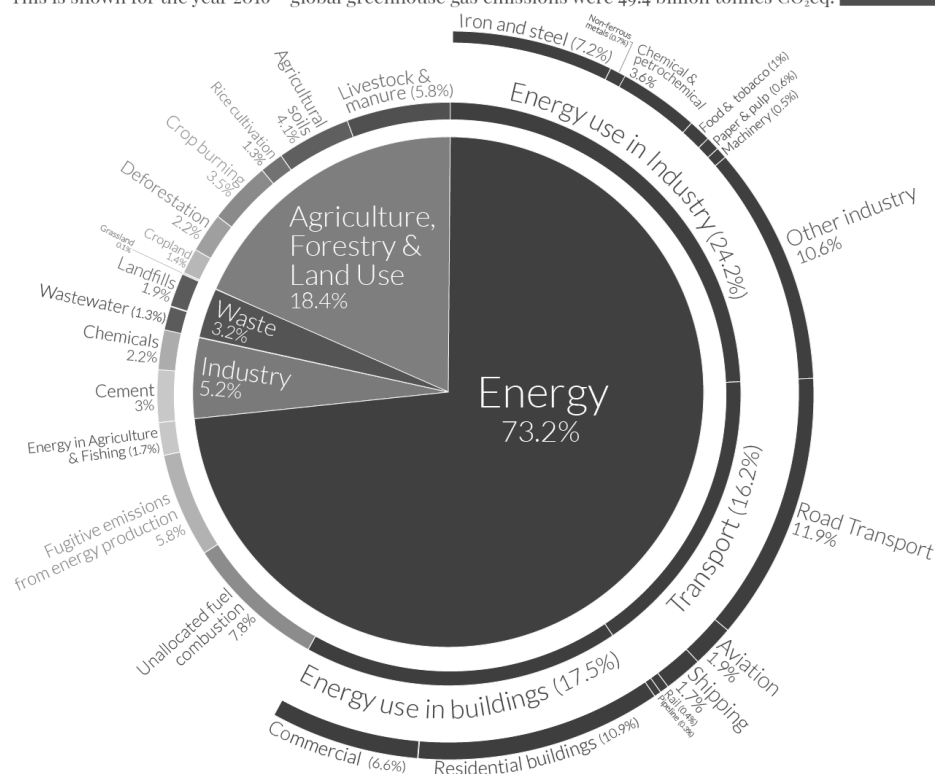
**Метою** дослідження є підвищення рівня енергоефективності регіонів шляхом визначення понять та методів оцінки рівня енергоефективності за міжнародним досвідом та порівнянні його з вітчизняним. **Завдання:** виконати аналіз визначення понять, що використовуються при оцінці рівня енергоефективності, дослідити методи розрахунку для оцінки рівня енергоефективності, а також бази даних з енергоефективності міжнародного та вітчизняного рівня. **Об'єктом** дослідження є процес оцінювання енергоефективності міжнародного та вітчизняного рівнів. **Предмет дослідження** –

понятійний апарат під час оцінювання рівня енергоефективності, методи розрахунку енергоефективності, бази даних енергоефективності.

## Global greenhouse gas emissions by sector

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO<sub>2</sub>eq.

Our World  
in Data



OurWorldInData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.  
Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020). Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Рисунок 1 – Світові викиди CO<sub>2</sub> за секторами (2016 рік). Джерело: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

### Матеріали та результати досліджень

#### 1. Визначення понять під час оцінювання рівня енергоефективності

##### Енергоефективність, енергозбереження та енергоємність. У чому різниця?

Різницю між «енергоефективністю» та «енергозбереженням» розглянуто у багатьох попередніх роботах та інформаційних ресурсах. Тому, просто підкреслимо різницю. *Енергоефективність* відображає меншу кількість споживання енергії при однаковій енергетичній послугі (наприклад, заміна лампи накалювання на світлодіодну – енергоефективне споживання енергії на освітлення). У той час, *енергозбереження* має на меті обмеження споживання енергії шляхом економії (наприклад, як зараз відбуваються відключення електроенергії в Україні з-за нестачі ресурсів). Також, варто розмежовувати поняття «енергоефективність» та «енергоємність». Якщо енергоефективність можливо розглянути як енергоспоживання різних рівнів по відношенню до окремих енергетичних «активностей» (напр. споживання енергії у кВт/м<sup>2</sup> житла) з погляду «знизу-вверх» (від нижчого рівня споживання до вищого, або більш глобального), то енергоємність – погляд «зверху-вниз» або агрегований погляд на використання енергії в економіці. Одним із загальноприйнятих показників для визначення енергоємності є постачання первинної енергії, поділена на ВВП, однак, для врахування особливостей країн, МЕА виділили інші методи розрахунку енергоємності [7].

#### 2. Показник, індикатор, індекс енергоефективності

Вимірники енергоефективності вбирають в собі різні види діяльності та фізичних величин, що ускладнює оцінку на загальних рівнях. З-за цього, складно відслідкувати окремі тенденції.

Досить часто, вимірники стану енергоефективності називають «індикатором» або «показником», не розмежовуючи це поняття. За результатами дослідження, що проведене у роботі [8], ці поняття можливо виокремити наступним чином. Термін «показник» потрібно розглядати як «кількісний вимірник стану, розвитку певного об'єкта (суб'єкта), процесу чи явища», у той час як «індикатором» можна вважати «ключові показники, що систематично відстежуються, оцінюються та аналізуються, які дають змогу прогнозувати та відобразити тенденції розвитку» [8]. Тобто, показник може приймати ширший спектр значень, у той час як індикатор частіше є виділеним значенням із вибірки показників.

Схоже визначення індикатора (у контексті індикатора сталого розвитку) наведено у роботі [9]: «Індикатор сталого розвитку – це показник, частіше кількісний, що відображає економічний, соціальний та/або екологічний розвиток у визначеному регіоні, має такі властивості, як простота інтерпретації, широкий розмах, чутливість к змінам, кількісна визначеність, та дозволяє робити прогнози та своєчасно виявляти тенденції». Водночас, окрім понять «показник» та «індикатор», [9,10] відмежовують поняття «індекс». «Індекс – це агрегований або зважений індикатор, що базується на декількох інших індикаторах або даних» [9]. Ієрархічна піраміда зв'язків між цими трьома поняттями наведена на рисунку 2. За первинні дані на рисунку 2 можливо прийняти показники. Зведемо попередні судження у таблицю 1.

Таблиця 1 Порівняння понять «показник», «індикатор», «індекс»

Термін	Схожість	Відмінність
Показник	Характеризують стан, розвиток певного об'єкта, процесу чи явища	Охоплює ширший спектр значень, які може приймати. Кількісний вимірник стану, розвитку певного об'єкта (суб'єкта), процесу чи явища. Тобто, вимірюється у певних одиницях (кВт, Дж, л/км тощо)
Індикатор		Охоплює вузьчий ніж показник спектр значень. Частіше використовується як ключові показники, що систематично відстежуються, оцінюються та аналізуються. Рідко вимірюється у фізичних величинах, частіше у відносних одиницях та має вищу ієрархію за показник.
Індекс		Агрегований або зважений індикатор, що базується на декількох інших індикаторах або даних. Величина вимірювання – відносні одиниці. Найвищий рівень оцінки в ієрархічній системі вимірників індикаторів. «Використання індексів має місце там, де добре зрозумілі причинно-наслідкові зв'язки» [9].

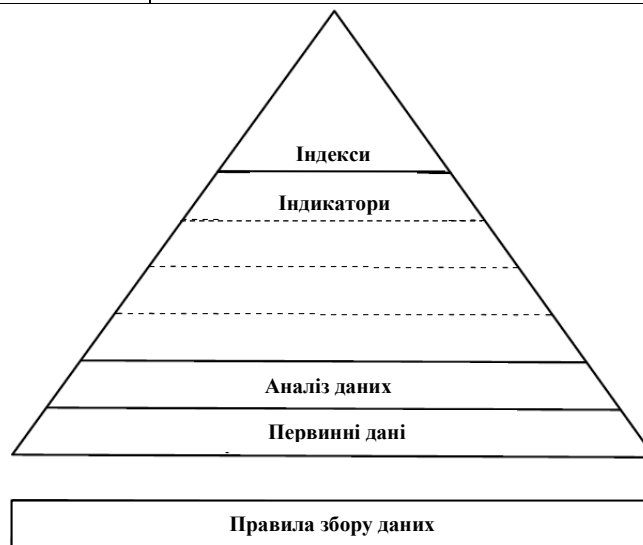


Рисунок 2 – Інформаційна піраміда [9]

### 3.Бази даних енергоефективності та методи розрахунку індикаторів енергоефективності

**База даних ODYSSEE.** База даних ODYSSEE розроблена у рамках проекту ODYSSEE-MURE організацією Enerdata. Вона відображає індикатори енергоефективності та показники кінцевого енергоспоживання, а також їх «драйвери» (індекси) у промисловості, транспортному та житловому секторах. Обсяг за країнами: усі країни Євросоюзу, а також Швейцарія та Сербія [11]. Індикатори у даній базі розглядаються як макро-індикатори, що визначають загальний рівень економіки, а також індикатори за секторами споживання: промисловості, транспорту, житловому секторі, секторі обслуговування та сільського господарства. Вони використовуються для двох цілей: відслідковування змін в

енергоефективності та вимірювання енергозбереження. Загалом, налічується 200 індикаторів за країною. Вони поділяються на **три загальні групи** за типом одиниць вимірювання [12]:

1. Найпоширеніші індикаторами виражають співвідношення споживання енергії з показником економічної діяльності (або одиниці споживання), що виміряна у фізичних величинах (тонна, працівник, м<sup>2</sup>), у базі даних ODYSSEE вони зветься питомим або одиничним/кінцевим споживанням енергії. Також, такий тип індикаторів виражений через викиди CO<sub>2</sub>. Приклади: літр/100км, споживання побутового електроприладу (кВт\*год/рік).

2. Показники розповсюдження на ринку енергозберігаючих технологій або практик. Приклад: частка пасажирського громадського транспорту, частка LED ламп.

3. На сукупному рівні енергетичні показники пов'язують споживання енергії з показниками діяльності, що вимірюється в грошовій формі (ВВП, додана вартість). Вони називаються енергоемністю в ODYSSEE. Приклад: кВт-год/€, тне/€2015.

**Індекс енергоефективності** в базі даних ODYSSEE, що зветься ODEX, відображає зміни енергоефективності у окремому секторі (транспортний, житловий тощо) та всієї економіки (всі кінцеві споживачі). Принцип розрахунку полягає у розбитті секторів споживання  $k$  ( $k \in 1 \dots N$ ) на під-сектори  $i$  ( $i \in 1 \dots N$ ) та обрахунку індикатора енергоефективності кожного підсектору. Індикатор у підсекторі – це відношення кінцевого споживання у поточному році, до кінцевого споживання у попередньому році, або базовому (формула 1)<sup>1</sup>. Далі, індекс всього підсектору розраховується як сума індикаторів підсекторів, що помножені на їх частки споживання у поточному році (формула 2) [12]. Тобто, для розрахунку індексу енергоефективності найбільше застосовні індикатори першого типу.

$$E_{it}^k = \frac{UC_{it}^k}{UC_{i(t-1)}^k} \quad (1)$$

де:

$E_{it}^k$  – індекс споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  у році  $t$ , в.о.

$UC_{it}^k$  – кінцеве споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  у році  $t$ , кВт, л/км, Дж тощо.

$UC_{i(t-1)}^k$  – кінцеве споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  у попередньому році  $t-1$  або базовому році, кВт, л/км, Дж тощо.

$$ODEX_k = \sum_{i=1}^N (E_{it}^k \cdot w_{it}^k) \quad (2)$$

де:

$ODEX_k$  – індекс енергоефективності  $k$ -го сектору, або усієї економіки, в.о.

$E_{it}^k$  – індекс споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  у році  $t$ , в.о.

$w_{it}^k$  – коефіцієнт ваги, що визначається за часткою споживання  $i$ -го підсектору в секторі  $k$  у році  $t$  (напр. 40% = 0.4), в.о.

У результаті, рівень енергоефективності за розрахунками у формулі 2 відображає (100-ODEX) відсотків енергоефективності (напр., якщо ODEX=90, рівень енергоефективності підвищився на 100-90=10%).

За індикаторами другого типу досить часто оцінюють **обсяги енергозбереження**. Вони розраховуються як різниця споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  між вибраним роком порівняння та поточним роком, що помножена на показник розповсюдження (індикатор другого типу). Наприклад, зменшення споживання холодильників з 400кВт на 100кВт у країні, де налічується 1 млн холодильників, обсяг енергозбереження становитиме 100ГВт (формула 3) [12].

$$ES = (UC_{itbase}^k - UC_{it}^k) \cdot L \quad (3)$$

де:

$ES$  – обсяг енергозбереження, кВт, л/км, Дж тощо,

$UC_{it}^k$  – питоме споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  у році  $t$ , кВт, л/км, Дж тощо,

$UC_{itbase}^k$  – питоме споживання  $i$ -го підсектору сектору  $k$  у вибраному (базовому) році, кВт, л/км, Дж тощо,

$L$  – показник розповсюдження, на ринку енергозберігаючих технологій або практик.

Також, обсяги енергозбереження можливо отримати не використовуючи показники розповсюдження (оскільки їх часто важко знайти) – формула 4 [12].

$$ES^k = UC_t^k \cdot \left( \frac{100}{ODEX_t^k} - 1 \right) \quad (4)$$

де:

$ES^k$  – обсяг енергозбереження сектору  $k$ , кВт, л/км, Дж тощо,

$UC_t^k$  – споживання енергії сектору  $k$  в році  $t$ , кВт, л/км, Дж тощо,

<sup>1</sup> Формули з [12] скориговані з точки зору авторів для кращого розуміння.

$ODEX_t^k$  – індекс енергоефективності сектору  $k$  у році  $t$ , в.о.

Показники третього типу (енергоємність) відповідають на питання: «Скільки одиниці енергії потрібно для отримання однієї одиниці ВВП (або доданої вартості)?» Однак, для врахування різниці у цінах між країнами для справедливого порівняння використовується коригування за паритетом купівельної спроможності.

Наприклад, ВВП на душу населення у Німеччині був майже в 3 рази більшим ніж у Португалії у 2015 році. Однак різниця полягає не у більшому обсязі економічної активності в Німеччині, а вищим загальним рівнем цін. Виражена в паритетах купівельної спроможності, різниця між Німеччиною та Португалією становить лише 1.7, а не 3 [12].

При попередніх розрахунках секторів споживання, також враховують кліматичні поправки.

**База даних Міжнародного енергетичного агентства (МЕА).** Членами-засновниками МЕА були 17 країн: Австрія, Бельгія, Канада, Данія, Німеччина, Ірландія, Італія, Японія, Люксембург, Нідерланди, Норвегія (за спеціальною угодою), Іспанія, Швеція, Швейцарія, Туреччина, Велика Британія та США [5]. Станом на 2022 рік, Міжнародне енергетичне агентство вбирає в себе дані за 31 країною-членом МЕА та 11 країн-асоціацій. Країни члени: Австралія, Австрія, Бельгія, Канада, Чеська Республіка, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Греція, Угорщина, Ірландія, Італія, Японія, Корея, Литва, Люксембург, Мексика, Нідерланди, Нова Зеландія, Норвегія, Польща, Португалія, Словацька Республіка, Іспанія, Швеція, Швейцарія, Республіка Туреччина, Королівство Великої Британії, Сполучені Штати. Країни-партнери: Аргентина, Бразилія, Китай, Єгипет, Індія, Індонезія, Марокко, Сінгапур, Південна Африка, Таїланд, Україна. Ці дані говорять про позитивне розповсюдження політики МЕА.

За таким же принципом, що і у базі даних ODYSSEE, МЕА відслідковує глобальні економічні тренди та проводить оцінювання кінцевого споживання за секторами: промисловість, транспортний сектор, житловий сектор, сектор послуг; а також, відповідними підсекторами. Однак, розрахунок індексу енергоефективності все ж має деяку різницю. Аналіз декомпозиції, що використовує МЕА, виконується за трифакторною методикою Log Mean Divisia Index I (LMDI I). Розрахунок цього методу наведений у формулах 5-8 [13].

$$E_t - E_0 = \Delta E = \Delta E^A + \Delta E^S + \Delta E^I \quad (5)$$

$$\Delta E^A = \sum_i L(E_t^i, E_0^i) \cdot \ln \left( \frac{A_t}{A_0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta E^S = \sum_i L(E_t^i, E_0^i) \cdot \ln \left( \frac{S_t^i}{S_0^i} \right) \quad (7)$$

$$\Delta E^I = \sum_i L(E_t^i, E_0^i) \cdot \ln \left( \frac{I_t^i}{I_0^i} \right) \quad (8)$$

де:

$E_t$  – загальне споживання енергії для всіх секторів та кінцевого споживання в році  $t$ ,

$E_0$  – споживання у базовому році,

$E_t - E_0 = \Delta E$  – зміна у споживанні у порівнянні із базовим роком,

$\Delta E^A$ ,  $\Delta E^S$ ,  $\Delta E^I$  – відповідно показники активності (напр. м<sup>2</sup>, пасажиро-мілі), структурні ефекти та енергоємні, що вплинули на різницю із базовим роком,

$E_t^i$  – енергоспоживання  $i$ -го підсектору, або  $i$ -те кінцеве споживання в році  $t$ ,

$L(a, b) = \frac{a-b}{\ln a - \ln b}$ , де  $a, b > 0$  та  $a \neq b$ , та  $\ln a$  – логарифм натуральний,

$A_t$  – загальний рівень активності всіх секторів та кінцевих споживань в році  $t$ ,

$A_0$  – загальний рівень активності всіх секторів та кінцевих споживань у базовому році,

$S_t^i = \frac{A_t^i}{A_t}$  – частка активності  $i$ -го сектору/кінцевого споживання в році  $t$ ,

$I_t^i = \frac{E_t^i}{A_t}$  – енергоємність  $i$ -го сектору/кінцевого споживання в році  $t$ .

Починаючи з грудня 2021 року, база даних МЕА включає дані декомпозиції CO<sub>2</sub> за допомогою фіксованого адитивного чотирифакторного розкладання, де 2000й рік вибраний за базовий. Формули (9-13) цієї методики наведені нижче [13]:

$$C_t - C_0 = \Delta C = \Delta C^A + \Delta C^S + \Delta C^I + \Delta C^Y \quad (9)$$

$$\Delta C^A = \sum_i L(C_t^i, C_0^i) \cdot \ln \left( \frac{A_t}{A_0} \right) \quad (10)$$

$$\Delta C^S = \sum_i L(C_t^i, C_0^i) \cdot \ln \left( \frac{S_t^i}{S_0^i} \right) \quad (11)$$

$$\Delta C^I = \sum_i L(C_t^i, C_0^i) \cdot \ln \left( \frac{I_t^i}{I_0^i} \right) \quad (12)$$

$$\Delta C^Y = \sum_i L(C_t^i, C_0^i) \cdot \ln \left( \frac{Y_t^i}{Y_0^i} \right) \quad (13)$$

де:  
 $C_t$  – загальні викиди для всіх секторів та кінцевих споживань в році  $t$ ,  
 $C_0$  – загальні викиди для всіх секторів та кінцевих споживань у базовому році,  
 $C_t - C_0 = \Delta C$  – зміна у викидах по відношенню до базового року,  
 $\Delta C^A, \Delta C^S, \Delta C^I, \Delta C^Y$  – це відповідно показники активності, структурні ефекти, енергоємні ефекти та ефекти енергоємності вуглецю, що вплинули на різницю із базовим роком,  
 $C_t^i$  – енергоспоживання  $i$ -го підсектору, або  $i$ -те кінцеве споживання в році  $t$ ,  
 $L(a, b) = \frac{a-b}{\ln a - \ln b}$ , де  $a, b > 0$  та  $a \neq b$ , та  $\ln a$  – логарифм натуральний,  
 $A_t$  – загальний рівень активності всіх секторів та кінцевих споживань в році  $t$ ,  
 $A_0$  – загальний рівень активності всіх секторів та кінцевих споживань у базовому році,  
 $S_t^i = \frac{A_t^i}{A_t}$  – частка активності  $i$ -го сектору/кінцевого споживання в році  $t$ ,  
 $I_t^i = \frac{E_t^i}{A_t^i}$  – енергоємність  $i$ -го сектору/кінцевого споживання в році  $t$ ,  
 $Y_t^i = \frac{C_t^i}{E_t^i}$  – карбоноємність  $i$ -го сектору/кінцевого споживання в році  $t$ .

**Кліматичні поправки.** Для того, щоб скоригувати кінцеве споживання за кліматичними варіаціями, MEA та ODYSSEE застосовують кліматичні поправки, за допомогою коефіцієнту градусодоби HDD [13] (формула 5):

$$HDD = \sum_{k=1}^n (T_{base} - T_k) \quad (5)$$

$$T_{base} > T_k$$

де:  
 $HDD$  – коефіцієнт градусодоби,  
 $T_{base}$  – базова температура; температура зовнішнього повітря, що характерна для заданої місцевості, °C  
 $T_k$  – середня температура дня  $k$ , °C  
 $n$  – загальна кількість днів за заданий період.  
 Тоді споживання, скориговане за кліматом, розраховується за формулою 6 [13]:

$$E_i^{TC} = E_i^{act} \cdot \frac{\overline{HDD}}{HDD_i} \quad (6)$$

де:  
 $E_i^{TC}$  – споживання енергії скориговане за кліматом в  $i$ -му році,  
 $E_i^{act}$  – фактичне споживання енергії в  $i$ -му році,  
 $\overline{HDD}$  – середнє значення градусодоб за визначений період (наприклад з 2000 року),  
 $HDD_i$  – загальна кількість градусодоб в  $i$ -му році.

**Енергетичне інформаційне агенство (U.S. Energy Information Administration)** [14], що розташоване у США, та **Eurostat** також поділяють погляди у підходах до оцінювання рівня енергоефективності з MEA [15].

Головне агенство з питань енергоефективності в Україні – [«Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України»](#) (або Держенергоефективності) було засноване в 2014 році [16], а статистичні дані за країною надає Укрстат [17]. Після 2014, Україна почала ще активніше рухатись до Європейського простору та доєдналась до MEA завдяки програмі EU4Energy [18].

До того ж, практики з оцінювання енергоефективності, що запропоновані MEA, ODYSSEE, Енергетичним інформаційним агенством та Eurostat, відображені у міжнародному стандарті ISO 17742:2015 IDT [19], а в Україні – у ДСТУ ISO 17742:2017 [20].

## Висновок

Сучасні бази даних з енергоефективності та наведені стандарти відображають секторальний підхід до оцінювання енергоефективності за країнами. Поділ секторів за різними рівнями деталізації, розрахунок індикаторів та індексів енергоефективності, застосування методів коригування, наприклад, таких як кліматичні поправки, коригування за паритетом купівельної спроможності, підходи до вибору базового року для порівняння – дозволяють порівнювати рівні енергоефективності та обсяги серед країн на високому рівні. Для підвищення рівня енергоефективності окремої країни, ці методи можливо застосовувати на регіональному рівні з подальшим рейтингуванням або застосуванням бенчмаркінгу.

## Список використаної літератури

1. Міхеев А. О., Наслідки глобального потепління. *Буковинський державний медичний університет*: веб-сайт. URL: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/naslidky-globalnogo-poteplinnya/> (дата звернення: 11.02.2023)
2. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
3. Emissions by sector. *Our World in Data*: веб-сайт. URL: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> (дата звернення: 11.02.2023)
4. Pollution Action Note – Data you need to know. *United Nations Environment Programme*: веб-сайт. URL: <https://www.unep.org/interactive/air-pollution-note/> (дата звернення: 11.02.2023)
5. From oil security to steering the world toward secure and sustainable energy transitions. *International Energy Agency* [Online]. URL: <https://www.iea.org/about/history> (дата звернення 03.02.2023)
6. About EIA. Legislative timeline. U.S. Energy information administration [Online]. URL: [https://www.eia.gov/about/legislative\\_timeline.php](https://www.eia.gov/about/legislative_timeline.php) (дата звернення 03.02.2023)
7. Energy efficiency vs energy intensity. *Climate Policy Watcher* [Online]. URL: <https://www.climate-policy-watcher.org/energy-strategies/energy-efficiency-vs-energy-intensity.html> (дата звернення 11.02.2023)
8. Ільчук О. С., Розен В. П. Індикативний аналіз рівня травматизму на виробництві. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – Випуск № 26. – 2014 р. – С. 156-162.
9. Згуровський, М. З. Основы устойчивого развития общества: курс лекций в 2 ч. / М. З. Згуровський, Г. А. Статюха. — К.: НТУУ «КПІ», 2010. — Ч. 1. — 464 с. — Библиогр. в конце гл. — 1000 экз.
10. Bruno Lapillonne. Definition of energy efficiency index ODEX in ODYSSEE data base. *Enerdata* [Online]. URL: <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/odex-indicators-database-definition.pdf> (дата звернення 11.02.2023)
11. ODYSSEE database. *ODYSSEE-MURE* [Online]. URL: <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html> (дата звернення 11.02.2023)
12. Definition of data and energy efficiency indicators in ODYSSEE data base. *ODYSSEE-MURE* [Online]. URL: <https://www.odyssee-mure.eu/private/definition-indicators.pdf> (дата звернення 14.02.2023)
13. Energy efficiency indicators. Database documentation. *International Energy Agency* [Online]. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9044eb73-94c0-415e-9be6-77f583d99a0d/IEA-EnergyEfficiencyIndicatorsdatabase-DocumentationDecember2022.pdf> (дата звернення 14.02.2023)
14. Use of energy explained. Energy indicators. *U.S. Energy Information Administration* [Online]. URL: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/energy-indicators.php> (дата звернення 14.02.2023)
15. Energy, transport and environment statistics. *Eurostat* [Online]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478276/KS-DK-20-001-EN-N.pdf/06dddaf8d-1745-76b5-838e-013524781340?t=1605526083000> (дата звернення 14.02.2023)
16. Положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України: Постанова Кабінету Міністрів України від 26 листопада 2014 р. № 676. – Київ, 2014. – № 676.
17. Енергетика/Energy. *Державна служба статистики України*: веб-сайт. URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publenerg\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publenerg_u.htm) (дата звернення 14.02.2023)
18. EU4Energy. *International Energy Agency* [Online]. URL: <https://www.iea.org/programmes/eu4energy> (дата звернення 14.02.2023)
19. ISO 17742:2015 Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities. *ISO* [Online]. URL: <https://www.iso.org/standard/60374.html> (дата звернення 14.02.2023)
20. ДСТУ ISO 17742:2017. Розрахунок енергоефективності та обсягів енергозбереження для країн, регіонів і міст. – Введ. 13.07.18. – ДП «УкрНДНЦ. – Київ, 2018. – 44 с.

V. Rozen<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-0440-4251

S. Dokshyna<sup>1</sup>, Ph.D student, ORCID 0000-0001-8136-8779

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FOREIGN AND DOMESTIC ENERGY EFFICIENCY INDICATORS AND THEIR CALCULATION

*Climate change, the level of environmental pollution, the assessment of the exhaustion of traditional raw materials for energy generation, the awareness of the fact that the negative impact on the environment is caused by anthropogenic activities, the world economic crises and the search for ensuring a happy and safe life for future generations became the driving force for the development of energy efficiency. But in order to understand the individual directions of tasks in increasing the level of energy efficiency, it is worth defining approaches to its assessment. It is interesting that this field includes not only the concept of "energy", but also has a connection and to some extent limitations with the fields of economics, ecology and law.*

*This paper analyzes the concepts and approaches used in assessing the level of energy efficiency internationally and in the middle of the country. The results of the analysis showed that in global practice, energy efficiency assessment based on final consumption is used in four spheres of activity: production, transport, services and households. In each of the subsectors, the energy consumption indicator is evaluated in comparison with the*

previous year. And the index at the sector level is the average weighted sum of the indicators of its subsectors. To obtain better results, various types of adjustments are used. Climate corrections and purchasing power parity adjustments are one of them. To increase the level of energy efficiency within the country, it is possible to apply the listed practices at the regional level.

**Key words:** energy efficiency, metric, energy efficiency indicator, energy efficiency index, regional energy efficiency assessment, international energy efficiency assessment, energy intensity.

#### References

1. Mikhieiev A.O., *Naslidky hlobalnogo poteplinna. Bukovynskiy derzhavnyi medychniy universytet*. [Online]. Available: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/naslidky-globalnogo-poteplinna/> Accessed on: February 11, 2023
2. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
3. Emissions by sector. *Our World in Data*. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> Accessed on: February 11, 2023
4. Pollution Action Note – Data you need to know. *United Nations Environment Programme*. [Online]. Available: <https://www.unep.org/interactive/air-pollution-note/> Accessed on: February 11, 2023
5. From oil security to steering the world toward secure and sustainable energy transitions. *International Energy Agency*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/about/history> Accessed on: February 3, 2023
6. About EIA. Legislative timeline. U.S. Energy information administration. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/about/legislative/timeline.php> Accessed on: February 3, 2023
7. Energy efficiency vs energy intensity. *Climate Policy Watcher*. [Online]. Available: <https://www.climate-policy-watcher.org/energy-strategies/energy-efficiency-vs-energy-intensity.html> Accessed on: February 11, 2023
8. Ilchuk O. S., Rozen V. P. (2014) Indicative analysis of the level of injuries at work. *Visnyk NTUU «KPI». Seriya «Hirnyctvo»* [in Ukrainian]. № 26. P. 156-162.
9. Zghurovskiy, M. Z., Statiukha H.A. (2010) Fundamentals of sustainable development of society: a course of lectures in 2 parts. *NTUU «KPI»* [in Ukrainian]. Part 1, 464 p.
10. Bruno Lapillonne. Definition of energy efficiency index ODEX in ODYSSEE data base. *Enerdata*. [Online]. Available: <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/odex-indicators-database-definition.pdf> Accessed on: February 11, 2023
11. ODYSSEE database. *ODYSSEE-MURE*. [Online]. Available: <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html> Accessed on: February 11, 2023
12. Definition of data and energy efficiency indicators in ODYSSEE data base. *ODYSSEE-MURE*. [Online]. Available: <https://www.odyssee-mure.eu/private/definition-indicators.pdf> Accessed on: February 14, 2023
13. Energy efficiency indicators. Database documentation. *International Energy Agency* [Online]. Available: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9044eb73-94c0-415e-9be6-77f583d99a0d/IEA-EnergyEfficiencyIndicatorsdatabase-DocumentationDecember2022.pdf> Accessed on: February 14, 2023
14. Use of energy explained. Energy indicators. *U.S. Energy Information Administration*. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/energy-indicators.php> Accessed on: February 14, 2023
15. Energy, transport and environment statistics. *Eurostat*. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478276/KS-DK-20-001-EN-N.pdf/06ddaf8d-1745-76b5-838e-013524781340?t=1605526083000> Accessed on: February 14, 2023
16. Polozhennia pro Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 26 lystopada 2014 r [in Ukrainian]. (2014) № 676. Kyiv.
17. Enerhetyka [in Ukrainian] /Energy. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy* [in Ukrainian] [Online]. Available: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publenerg\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publenerg_u.htm) Accessed on: February 14, 2023
18. EU4Energy. *International Energy Agency*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/programmes/eu4energy> Accessed on: February 14, 2023
19. ISO 17742:2015 Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities. *ISO*. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/60374.html> Accessed on: February 14, 2023
20. DSTU [in Ukrainian] ISO 17742:2017. Calculation of energy efficiency and energy saving volumes for countries, regions and cities. (2018) – *Vved. 13.07.18. – DP «UkrNDNTs* [in Ukrainian]. Kyiv. 44 p.

Надійшла: 20.02.2023

Received: 20.02.2023