

УДК 620.92

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2023-104-4>

ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ

Дрешпак Наталія Станіславівна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри електротехніки

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-4453-1378

Стаття присвячена проблемі оцінювання наслідків використання відновлювальних джерел енергії з погляду їх потенційного впливу на довкілля. Визначено поняття оцінки життєвого циклу, розкрито етапи реалізації процедури оцінки життєвого циклу згідно з методологією LCA. Розглянуто особливості оцінки життєвого циклу в енергетичному секторі. Проаналізовано результати дослідження оцінки життєвого циклу різних джерел енергії, що використовуються в національній енергетичній системі Чехії.

Оцінювання життєвого циклу (англ. Life Cycle Assessment, LCA) є відомою методологією досліджень, яка передбачає їх вивчення з урахуванням наявних зв'язків з навколишнім середовищем. Часто ці зв'язки дослідники не враховують або беруть до уваги неповною мірою, що призводить до помилкових висновків стосовно властивостей цих явищ і їхнього впливу на довкілля.

Стратегії декарбонізації, створені з моделями національних енергетичних систем, передбачають упровадження низьковуглецевих технологій. Хоча ці технології забезпечують зменшення викидів парникових газів, вони призводять до непрямих викидів через будівництво та можуть спричинити інші впливи на довкілля, як-от екотоксичність і виснаження ресурсів. Отже, помилково вважати, що відновлювані джерела енергії цілковито вільні від викидів. Використання низьковуглецевих технологій для скорочення викидів парникових газів може «перекласти навантаження» на інші впливи на довкілля.

Таким чином, оцінка життєвого циклу (LCA) є потужним інструментом підтримки ухвалення рішень, який оцінює вплив продукту або процесу на довкілля на всіх етапах (від видобутку матеріалу до утилізації відходів). Із часом LCA дедалі більше будуть застосовувати для оцінки впливу енергетичних технологій на довкілля.

Ключові слова: оцінювання життєвого циклу, вплив на довкілля, відновлювані джерела енергії, викиди парникових газів, стратегії декарбонізації.

Dreshpak Nataliia. Life cycle assessment in the energy sector

The article is devoted to the problem of assessing the consequences of the use of renewable energy sources considering their potential impact on the environment. The concept of life cycle assessment is defined, and the stages of implementation of the life cycle assessment procedure according to the LCA methodology are revealed. The features of life cycle assessment in the energy sector are considered. The results of the life cycle assessment study of different types of energy sources, used in the national energy system of the Czech Republic, are analyzed.

Life Cycle Assessment (LCA) is a well-known research methodology that involves studying the existing relationships with the environment. Often, researchers do not take these connections into account or take them into account incompletely, which leads to incorrect conclusions regarding the properties of these phenomena and their impact on the environment.

Decarbonization strategies, created with models of national energy systems, involve the implementation of low-carbon technologies. Although these technologies reduce greenhouse gas emissions, but they result in indirect emissions through construction and can cause other environmental impacts such as ecotoxicity and resource depletion. Thus, it is a mistake to consider renewable energy sources as completely emission-free. Using low-carbon technologies to reduce greenhouse gas emissions can “shift the burden” on the other environmental impacts.

Thus, life cycle assessment (LCA) is a powerful decision support tool that assesses a product's or process's environmental impact at all stages (from material extraction to waste disposal). Over time, LCAs will be increasingly used to assess the environmental impact of energy technologies.

Key words: life cycle assessment, environmental impact, renewable energy sources, greenhouse gas emissions, decarbonization strategies.

Вступ. Оцінювання життєвого циклу (англ. Life Cycle Assessment, LCA) є відомою методологією досліджень, яка передбачає їх вивчення з урахуванням наявних зв'язків із навколишнім середовищем. Часто ці зв'язки дослідники не враховують або враховують неповною мірою, що призводить до отримання помилкових

висновків стосовно властивостей цих явищ і їхнього впливу на довкілля. Тому ігнорування системного підходу до проведення наукових досліджень завжди викликало сумнів щодо справедливості й обґрунтованості отриманих наукових результатів. Варто зазначити, що застосування системного підходу потребує

суттєвого розширення досліджень у різних напрямках, що не завжди підтримується самими дослідниками, які хочуть отримати чудові результати дослідження, не забезпечивши водночас необхідної доказової бази. Прикладів ігнорування системного підходу безліч.

Добре, що останнім часом урахуванню зв'язків між окремими явищами почали приділяти більшу увагу. Те, що цей процес відбувається, можна спостерігати на наполегливому впровадженні розвиненими країнами оцінювання життєвого циклу.

Отже, оцінювання життєвого циклу (англ. *Life Cycle Assessment* (далі – LCA)) визначається як процедура збору й аналізу потоків інформації щодо ефективності використання ресурсів і можливих екологічних впливів продукту на довкілля протягом усього його життєвого циклу [1].

У результаті проведеного аналізу цього поняття доходимо висновку, що розглядається продукт людської діяльності з погляду використання його ресурсу ц екологічного впливу на довкілля. Водночас беруться до уваги всі етапи життєвого циклу. Ясно, що причина застосування такого підходу полягає в тому, що і ресурси, і характер впливу на довкілля в різні періоди життєвого циклу змінюються. Тому реєстрація впливу предмета на довкілля в короткому проміжку часу не дає повної картини цього впливу та часто призводить до хибних висновків. Тобто необхідно враховувати повний життєвий цикл.

Матеріали та методи. У роботі розглядається методика LCA оцінювання екологічних наслідків виробництва електроенергії через використання відновлюваних джерел енергії. Аналізуються переваги методики LCA, що враховує наявні з навколишнім середовищем зв'язки, дозволяє виявити екологічний вплив за стадіями життєвого циклу енергетичного продукту, оцінити його. Наведені у статті аналітичні дані, отримані за результатами досліджень у Чехії, можуть бути використані з метою забезпечення сталого розвитку енергетики України, формування світогляду щодо проблем і перспектив реформування енергетичного сектору, пов'язаних із впровадженням низьковуглецевих технологій.

Результати. За методикою LCA вивчаються всі стадії життєвого циклу продукту – «від колиски до могили», охоплюючи процеси видобутку сировини, використання енергії та матеріалів, виробництва продукту, його розповсюдження та споживання, ремонту та технічного обслуговування, поводження

з відходами, вторинної переробки продукції або її утилізації [1].

Недоліки, пов'язані з оцінкою можливостей і переваг предмета в конкретних умовах, проявлялись навіть у розробленні міжнародних стандартів. Розробники хотіли зафіксувати вдалі характеристики предметів, що підлягали розгляду, незважаючи на їх тимчасовий прояв. LCA змінює цю картину, уводячи особливий підхід до збирання й аналізу інформації, пов'язаної із застосуванням предмета. Цей новий підхід почав проявлятися в розробленні нових ISO, які замінили стандарти, чинні раніше [1].

Оцінка життєвого циклу використовується на всіх рівнях стратегічного управління для проектування характеристик енергоефективності й екологічності продукції чи процесів. Сфера застосування оцінки зрозуміла із цієї фрази. Її характеристики продукції, і управління її використанням залежать від того, у якому життєвому циклі вона перебуває. В обчисленні кліматичного сліду харчової продукції враховуються кліматичні впливи на всіх етапах виробничо-збутового ланцюга, зокрема виготовлення сировини, переробки, охолодження та транспортування. Наприклад, в [1] наведено показники викидів парникових газів у кг CO₂ еквівалента на кг продукції за різними технологіями виробництва (у «традиційному» й «органічному» виробництві).

Виходячи з того, що LCA визначається як процедура збору й аналізу потоків інформації, процедура складається із чотирьох етапів (рис. 1) [2]. Визначення цих етапів дозволяє формалізувати процедуру, увести єдине їх трактування незалежно від призначення предмета, розмаїття його характеристик.

На першому етапі – **Мета та сфера застосування** (англ. *Goal and Scope Definition*) – визначаються мета, часові та просторові межі та методи здійснення LCA. Ключовим елементом дослідження є вибір об'єкта дослідження – функціональної одиниці (технології, продукції чи послуги), вплив якої буде оцінюватися та порівнюватися. Варто звернути увагу на те, що оцінюванню підлягає вплив самого об'єкта дослідження.

Другий етап – **Аналіз життєвого циклу** (англ. *Life Cycle Inventory Analysis, LCI*) – передбачає збір і аналіз вхідних / вихідних потоків даних для проведення наступного етапу дослідження. Інформація (про величину споживаної енергії та застосованих матеріалів, кількості забруднюючих речовин тощо) збирається щодо кожного процесу всього життєвого циклу об'єкта дослідження.

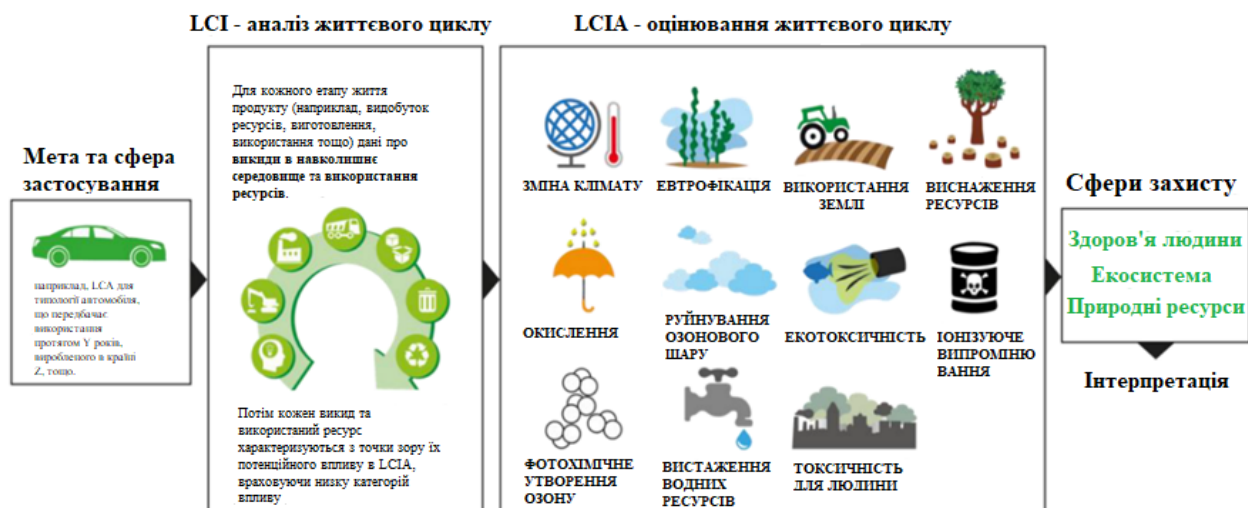


Рис. 1. Етапи реалізації методології LCA

Третій етап – **Оцінювання життєвого циклу** (англ. *Life Cycle Impact Assessment, LCIA*) – проводиться за результатами інвентаризаційного аналізу з метою оцінки значущості різних потенційних впливів на навколишнє середовище. Цей етап вважається найскладнішим у процедурі LCA.

Четвертий етап – **Інтерпретація результатів** (англ. *Life Cycle Interpretation*) – передбачає розроблення рекомендацій з оптимізації використання ресурсів і мінімізації шкідливих впливів продукту на навколишнє середовище протягом усього його життєвого циклу.

П'ятий етап – **Оцінка впливу життєвого циклу (LCIA)** – включає чотири додаткові підетапи (класифікація, характеристика, нормалізація та зважування), які викладено нижче (табл. 1) [2].

Отже, загальний негативний вплив предмета на довкілля в разі застосування LCA виражається конкретним числом, яке можна порівнювати з аналогічними числами, отриманими для інших предметів, що виконують аналогічні функції. Наприклад, можна зіставити негативний вплив сонячних панелей і атомних електростанцій, які використовуються для генерації електроенергії. Перевагу отримує варіант з меншим значенням негативного впливу. Числа, які зіставляють, характеризують також «ступінь» отриманої переваги.

У 2014 р. Європейською комісією була створена Мережа даних життєвого циклу (далі – LCDN), спрямована на забезпечення глобальної інфраструктури для розміщення даних LCA, отриманих за результатами досліджень різних організацій (промислових підприємств,

Таблиця 1

Підетапи «Оцінки впливу життєвого циклу» (LCIA)

Крок	Приклад
Крок 1 – Класифікація На ньому негативний вплив відносять до відповідної категорії впливу.	Наприклад, всі входи/виходи, які призводять до викидів парникових газів (CO ₂ , метану тощо), відносять до категорії впливу на зміну клімату. Цих категорій може бути декілька.
Крок 2 – Характеристика Розраховують кожний внесок у відповідну категорію впливу. Цей внесок приводять до еквівалента, що діє в цій категорії.	Наприклад, для категорії зміни клімату це еквівалентна кількість викиду CO ₂ .
Крок 3 – Нормалізація Тут загальне значення впливу за кожною категорією ділять на кількість осіб, які зазнали негативного впливу.	Наприклад, коефіцієнт зміни клімату становить декілька тисяч кг CO ₂ екв./особу.
Крок 4 – Зважування На ньому за допомогою вагових коефіцієнтів (у сумі дорівнюють 1), отриманих для кожної категорії, визначають загальний негативний вплив предмета на всі категорії.	Наприклад, ваговий коефіцієнт зміни клімату становить приблизно 21%, що представляє відносну релевантність цього впливу порівняно з іншими категоріями.

національних проєктів LCA, дослідницьких центрів тощо) [2]. Наприклад, база даних LCIA Method Data set містить показники інтенсивності впливу різних видів парникових газів, що виділяються під час спалювання викопного палива, щодо вуглекислого газу (вираженого в кг CO₂-еквівалента в категорії зміни клімату) [2]. Для формування вихідних даних у дослідженні LCA в енергетичному секторі також часто використовують такі відомі бази даних, як Sphera або LCI ecoinvent.

Отже, у розвинутих країнах була проведена значна робота з упровадження методики LCA. У результаті були отримані відповіді, які не завжди збігалися зі зробленими раніше висновками. Приклад такого розходження висновків розглянемо нижче.

Стратегії декарбонізації, створені з моделями національних енергетичних систем, передбачають упровадження низьковуглецевих технологій [3]. Хоча ці технології забезпечують зменшення викидів парникових газів, вони призводять до непрямих викидів через будівництво та можуть спричинити інші впливи на довкілля, як-от екотоксичність і виснаження ресурсів. Отже, помилково вважати, що відновлювані джерела енергії цілком вільні від викидів. Використання низьковуглецевих технологій для скорочення викидів парникових газів може «перекласти навантаження» на інші впливи на довкілля.

За останні роки у світі виконано досить багато досліджень на основі методу LCA, які присвячені оцінці екологічного впливу різних джерел енергії [3]. У країнах ЄС вплив на навколишнє середовище, пов'язаний із відновлювальними та невідновлювальними джерелами енергії, оцінено, наприклад, у Німеччині, Чехії, Польщі та Греції, Іспанії. Окрім того, за межами Європи дослідження були проведені в Мексиці, Канаді та Китаї.

Вищезазначені проблеми, пов'язані з неправильними висновками, є особливо актуальними для виробництва електроенергії, де просторові (розташування електростанцій) і часові (урахування часу виникнення впливу) моделі можуть впливати на економіку та навколишнє середовище [3]. Приклади впливу просторової мінливості включають: місцеві екологічні умови, щільність населення, місцеві комбінації електроенергії, відстані постачання та розподілу палива, а також доставки електроенергії споживачам. Викиди в навколишнє середовище від виробництва електроенергії залежать від подинних, щоденних і тижневих циклів попиту, сезонних циклів (тобто екологічних умов, попиту, рівня інфляції, зміни регіональної енергетичної

системи). Отже, маючи точніші результати розрахунку впливу, особи, які ухвалюють рішення, можуть систематично зменшувати вплив на навколишнє середовище протягом життєвого циклу різних енергетичних технологій.

Розглянемо деякі результати застосування методики LCA в Чехії, де аналізували вплив на довкілля різних джерел електроенергії [4]. Варто зазначити, що викиди парникових газів у Чеській Республіці порівняно із середнім рівнем країн Європейського Союзу залишаються високими: 12,4 т еквівалента CO₂ у Чехії порівняно із середнім показником 8,7 т еквівалента CO₂ у країнах ЄС.

У [4] наведено енергетичний баланс вироблення електроенергії, звідки можна зробити висновок, що більшу частину енергії виробляють ТЕС, на другому місці – атомні електростанції. Електростанції, що працюють із використанням ВДЕ, забезпечують 11% від загального обсягу виробленої енергії. До 2030 р. Чехія планує збільшити частку відновлюваних джерел у структурі виробництва електроенергії до 22%.

Отже, перший етап – **Визначення цілі та сфери застосування LCA**.

Дослідження мало на меті використання методу LCA для оцінки потенційного впливу на навколишнє середовище різних джерел електроенергії в Чехії за методологією The Product Environmental Footprint (PEF) 2.0 [4]. PEF 2.0 – це останній рекомендований Європейською комісією метод, застосований у базі даних LCI ecoinvent.

Функціональна одиниця визначалась як 1 кВт·год електроенергії, що виробляється відповідним джерелом. Дослідження передбачало огляд усіх категорій джерел енергії (невідновлюваних і відновлюваних, централізованих і децентралізованих) [4].

Життєві цикли розглянутих джерел енергії були розділені на три фази, а саме: будівництво (позначено *Construction*), період експлуатації (позначено *Operation*) і період виведення з експлуатації (позначено *Decommissioning*). Водночас ураховувався очікуваний термін служби різних типів електростанцій.

Другий етап – **Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу (LCI)** – передбачає збір даних про всі значні вхідні матеріальні й енергетичні потоки та викиди в навколишнє середовище, пов'язані із життєвим циклом виробництва електроенергії. Первинні дані отримано за період 2015–2018 рр. від більшості операторів електростанцій, а також із вторинних баз даних Sphera або Ecoinvent, отриманих на основі експертних оцінок і літературних джерел.

Дослідження передбачало **Оцінку впливу життєвого циклу** різних джерел енергії за наступними 5-ма категоріями, як-от [4]:

- зміна клімату;
- використання енергетичних ресурсів (вугілля, природний газ);
- використання корисних копалин і металів;
- споживання води;
- викиди неорганічної речовини (твердих частинок).

На четвертому етапі здійснювалась **Інтерпретація результатів LCA**.

Отже, перша категорія – **зміна клімату**. На рис. 2 порівнюються різні види енергії з погляду їхнього впливу на довкілля, вираженого в кг CO₂-еквівалента [4]. Як ми бачимо, найбільший вплив пов'язаний із середнім викидом 953 г CO₂/кВт·год протягом усього терміну служби вугільної електростанції. Результати показують, що вплив вугільних ресурсів приблизно вдвічі більший, ніж природний газ. Відновлювані джерела енергії (фотоелектричні, вітрові, гідроелектростанції), а також атомна енергія мають набагато менший вплив на категорію зміни клімату.

Як бачимо з рис. 3, більшість впливів викопного палива (кам'яного вугілля, бурого вугілля та природного газу) пов'язані з періодом експлуатації електростанції, особливо спалюванням палива [4]. Для вітрової та фотоелектричної енергетики найбільш значний вплив на категорію зміни клімату справляє етап будівництва. Отже, *жодне джерело електроенергії не має нульового вуглецевого сліду* з погляду життєвого циклу.

Друга категорія – **використання енергетичних ресурсів**. На рис. 4. показано порівняння різних джерел енергії з погляду використання енергетичних ресурсів [4]. З рис. 4 видно, що найбільш значні впливи пов'язані із джерелами викопного палива, тобто 8,9 МДж/кВт·год для електростанцій, що працюють на бурому вугіллі, та 11,6 МДж/кВт·год для інших вугільних електростанцій. Вплив бурого вугілля приблизно на 16% вищий, ніж природного газу.

З рис. 5 видно, що з погляду використання енергії всі впливи викопного палива пов'язані з періодом експлуатації, тобто процесом видобутку та підготовки палива [4]. Що стосується відновлюваних джерел енергії, їхній вплив в основному пов'язаний із виробництвом матеріалів, які використовуються для будівництва електростанцій.

Третя категорія – **використання корисних копалин і металів**. На рис. 6 показано порівняння джерел енергії та їхній вплив на використання корисних копалин і металів. Для порівняння використовується показник Sb-екв. – показник виснаження абіотичних ресурсів [4].

Результати дослідження показують, що життєвий цикл фотоелектричної енергії має найбільш значний вплив на цю категорію, тобто 0,01 г екв. Sb/кВт·год. З рис. 7 видно, що фотоелектрична енергетика впливає на використання мінеральних ресурсів і металів, особливо на етапі будівництва, тобто виробництва будівельних матеріалів (під час видобутку й обробки різних металів). Щодо вітрової енергії, вплив на використання мінералів і металів також

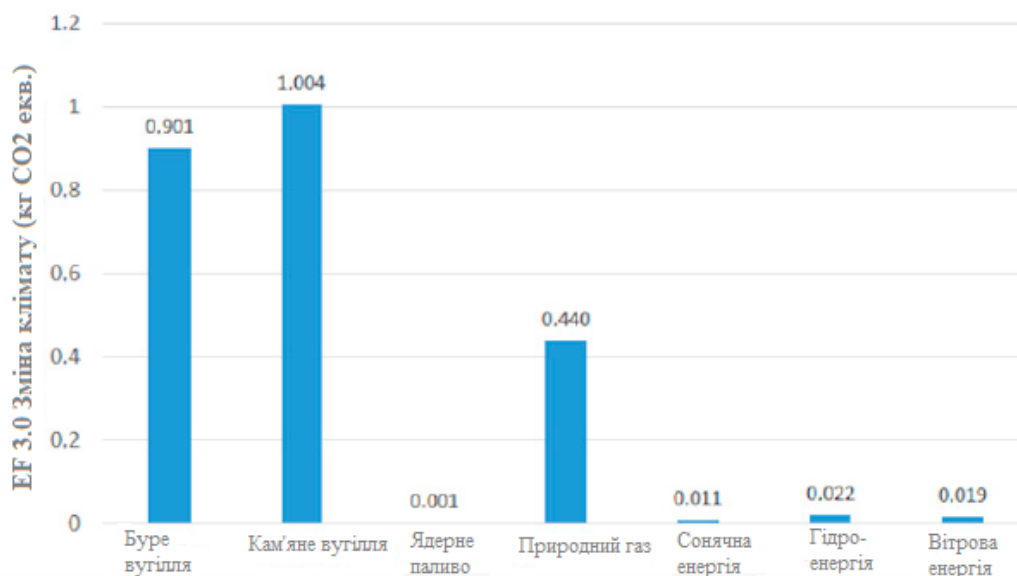


Рис. 2. Вплив різних джерел енергії на категорію зміни клімату

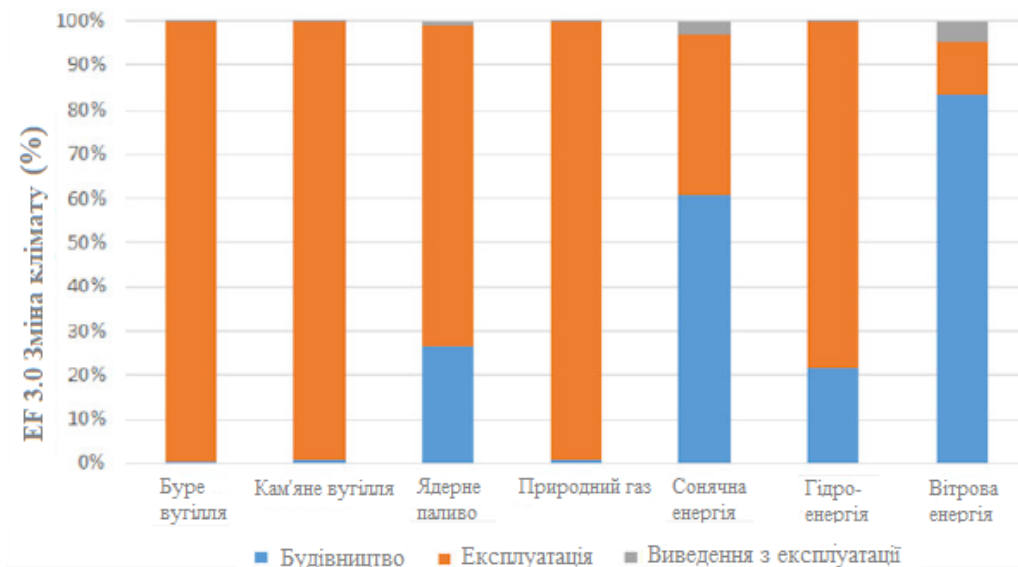


Рис. 3. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на категорію зміни клімату

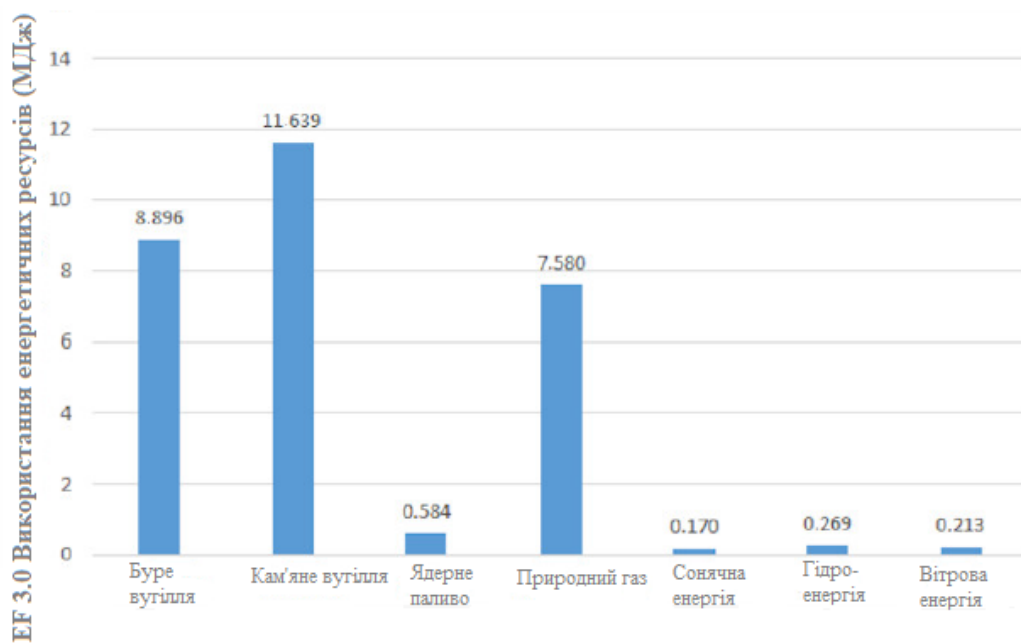


Рис. 4. Вплив різних джерел енергії на використання енергетичних ресурсів

стосується переважно виробництва будівельних матеріалів. Основним чинником, що цьому сприяє, є видобуток і виробництво міді.

Четверта категорія – викиди неорганічної речовини (або твердих частинок). Порівняння впливу окремих джерел енергії, виражене як кількість випадків захворювання, показано на рис. 8 [4]. Найважливіші впливи стосуються життєвого циклу вугільних електростанцій, тобто тих, що використовують кам'яне та буре вугілля. З усіх оцінених джерел найменший

вплив має виробництво електроенергії фотоелектричними й атомними електростанціями.

Що стосується життєвого циклу вугільних електростанцій (рис. 9), то такі впливи здебільшого стосуються періоду експлуатації (тобто періоду, протягом якого спалюється вугілля) [4]. Вплив ВДЕ в основному пов'язаний з етапом будівництва, особливо виготовленням конструктивних елементів. Виведення з експлуатації має незначний вплив на довкілля (порівняно з іншими етапами).

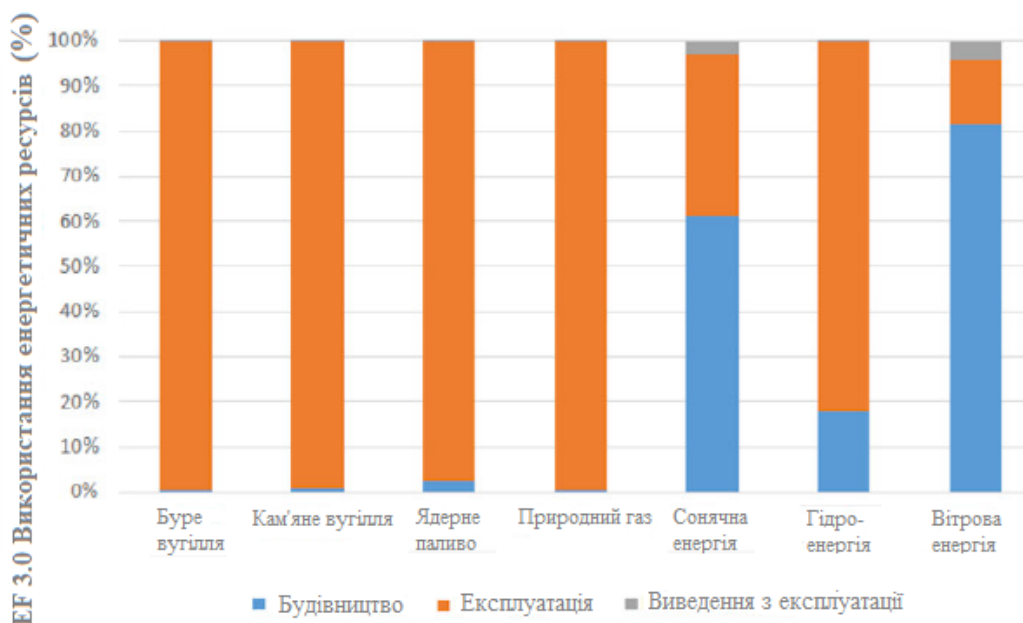


Рис. 5. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на використання енергетичних ресурсів

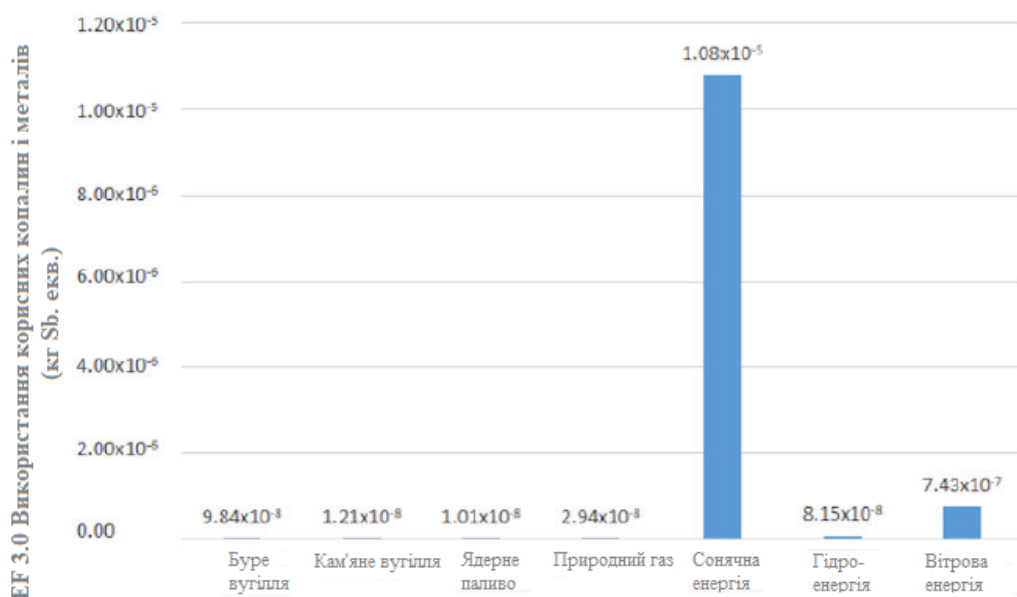


Рис. 6. Вплив різних джерел енергії на використання корисних копалин і металів

Остання категорія – споживання води. Порівняння різних джерел енергії та їх вплив на споживання води (виражене в кубічних метрах) наведено рис. 10 [4]. Результати дослідження показують, що найбільш суттєві впливи пов'язані із життєвим циклом фотоелектричних джерел.

З рис. 11 виходить, що стосовно фотоелектричних і вітрових джерел найбільші ефекти спостерігаються під час виробництва конструкційних елементів (зокрема, видобутку металу

та виробництва електронних компонентів) [4]. За використання ядерних джерел більшість впливів на довкілля пов'язані з роботою електростанцій, зокрема із трьома конкретними процесами: виробництвом і підготовкою ядерного палива, виробництвом борної кислоти та випаровуванням води із градирні.

Висновки. З результатів оцінки життєвого циклу різних джерел енергії, що використовуються в енергетичній системі Чехії, можна констатувати, що під час розроблення

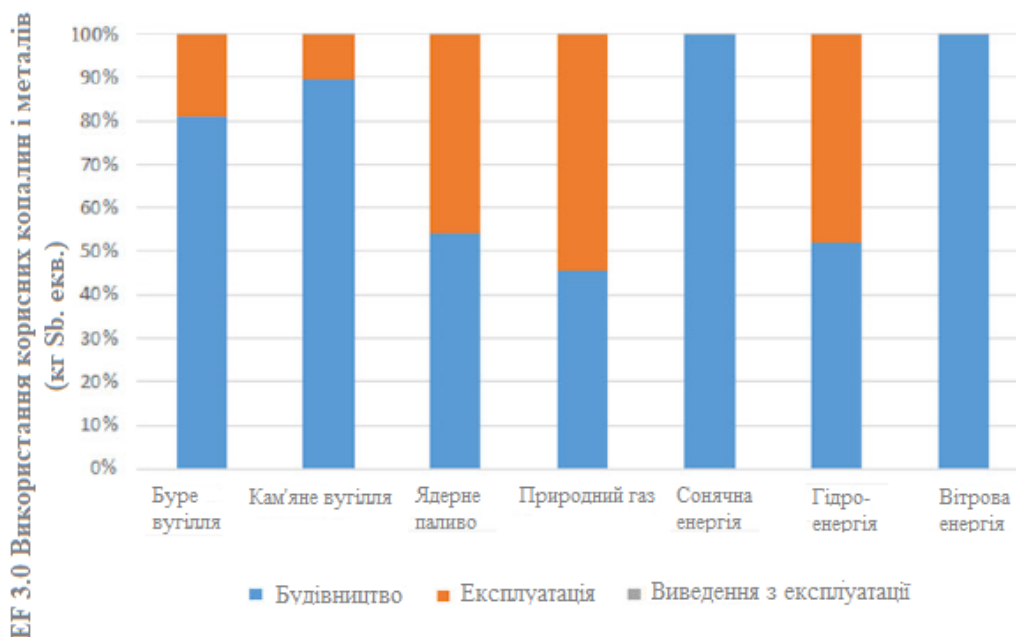


Рис. 7. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на використання корисних копалин і металів

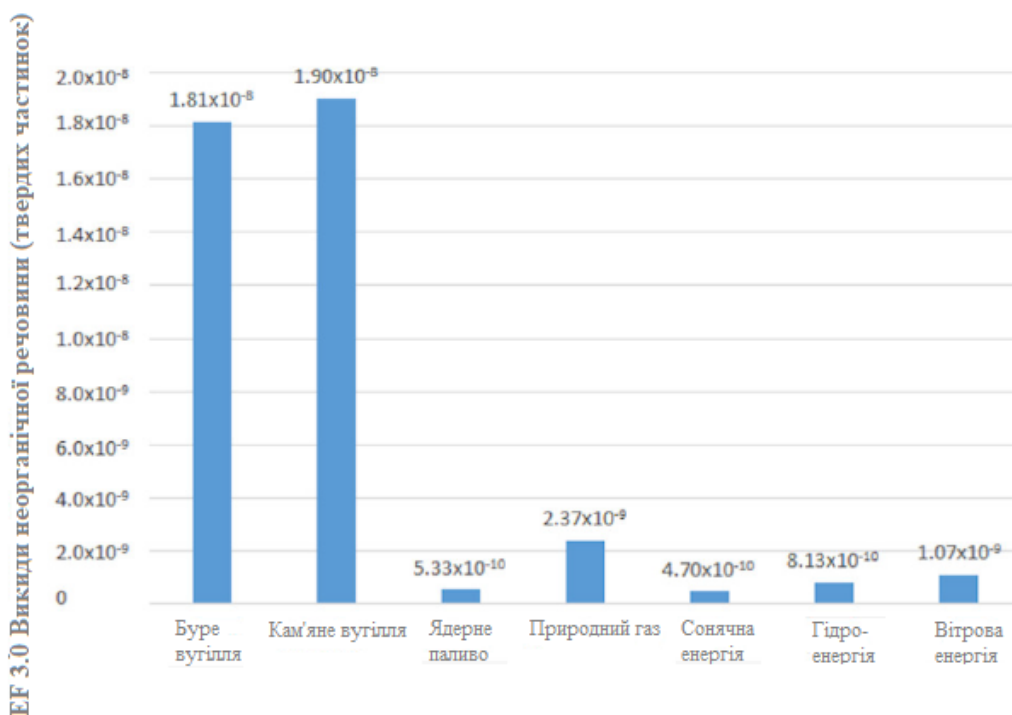


Рис. 8. Вплив різних джерел енергії на викиди неорганічної речовини (або твердих частинок)

національних стратегій скорочення викидів парникових газів необхідно враховувати всі категорії впливу на довкілля, не зосереджуючись лише на зміні клімату.

Невідновлювальні джерела енергії впливають на довкілля (особливо під час експлуатації). Вплив відновлювальних джерел енергії

стосується передусім їх будівництва. Етап виведення з експлуатації має найменший вплив на довкілля, порівняно з іншими етапами.

Вугільні електростанції найбільше сприяють глобальному потеплінню, використанню енергії та викидам неорганічних речовин в атмосферу. Виробництво електроенергії на

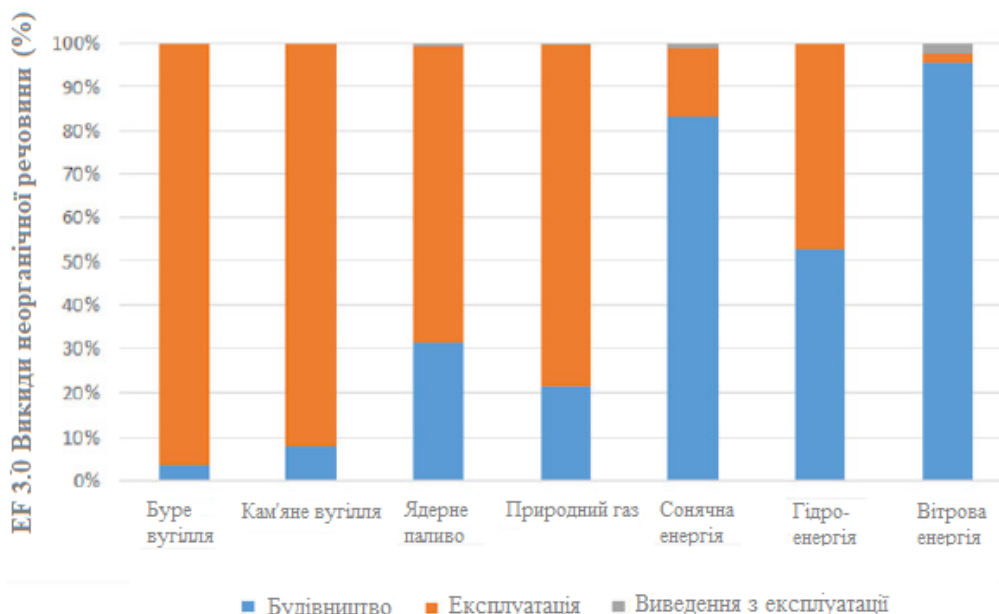


Рис. 9. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на викиди неорганічної речовини

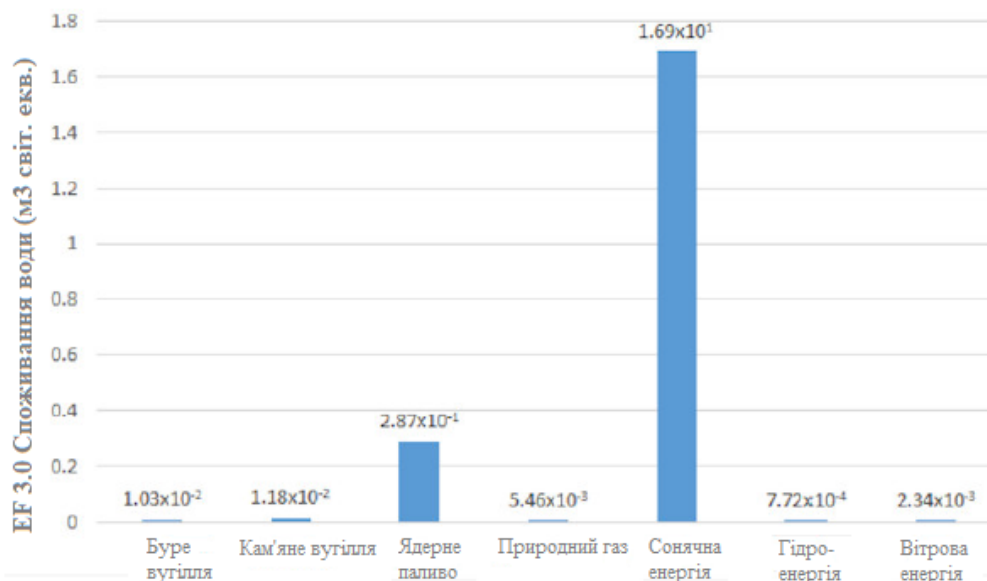


Рис. 10. Вплив різних джерел енергії на споживання води

фотоелектричних електростанціях призводить до надмірного споживання води, а також використання мінералів і металів.

Атомна енергетика, гідроелектричні та вітрові електростанції меншою мірою відповідають впливу вищевказаних категорій. Однак ці три типи електростанцій не можна остаточно рекомендувати з огляду на їхній потенційний вплив на довкілля та безпеку, оскільки дослідження не враховувало питання утилізації

відпрацьованого ядерного палива, а також сховища ядерних відходів.

Отже, оцінка життєвого циклу (LCA) є потужним інструментом підтримки ухвалення рішень, який оцінює вплив продукту або процесу на довкілля на всіх етапах (від видобутку матеріалу до утилізації відходів). Із часом LCA дедалі більше будуть застосовувати для оцінки впливу енергетичних технологій на довкілля.

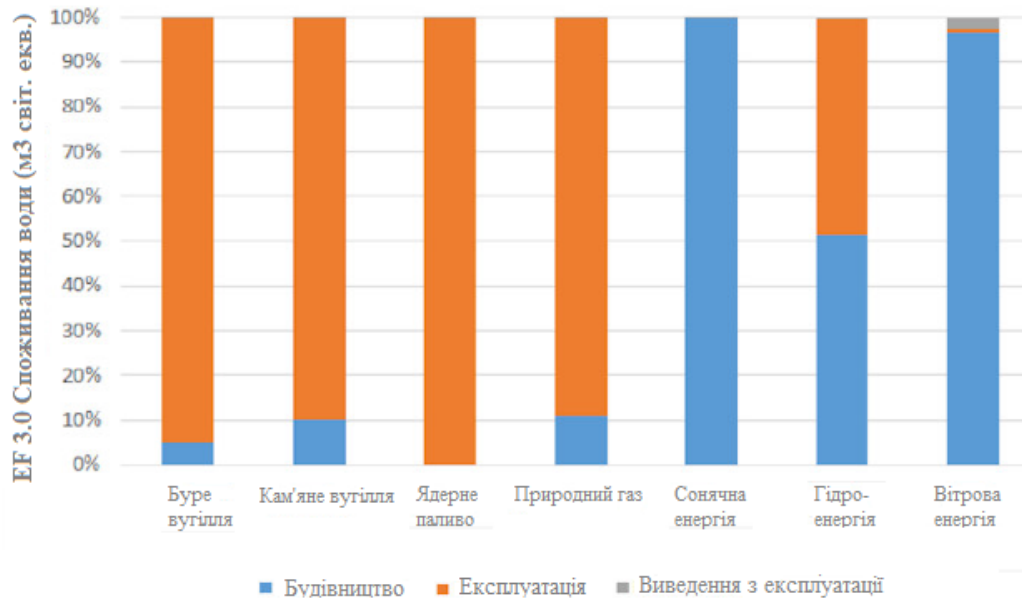


Рис. 11. Вплив різних фаз життєвого циклу (будівництво, експлуатація та виведення з експлуатації) джерел енергії на споживання води

ЛІТЕРАТУРА:

1. Палєхова Л.Л. Управління сталим розвитком : навчальний посібник. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. 330 с.
2. European platform on Life cycle assessment. EC : website. URL: <https://www.plantengineering.com/articles/iso-50001-benefits-for-manufacturers/> (дата звернення: 26.05.2022).
3. Jordaan S. Life cycle assessment of electricity generation: A systematic review of spatiotemporal methods. *Advances in Applied Energy*. 2021. Vol. 3. P. 1–15. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792421000500> (дата звернення: 17.07.2022).
4. Šerešová M. Life cycle performance of various energy sources used in the Czech Republic. *Energies*. 2020. Vol. 13 (21). P. 1–17. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5833> (дата звернення: 17.07.2022).

REFERENCES:

1. Palekhova, L. (2020). Management of sustainable development: a guide to basic concepts. Tutorial. Published by Dnipro University of Technology. URL: <https://mk.nmu.org.ua/ua/source> (accessed on 17.07.2022).
2. EC (2013). European platform on Life cycle assessment. URL: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html> (accessed on 17.07.2022).
3. Jordaan, S. (2021). Life cycle assessment of electricity generation: A systematic review of spatiotemporal methods. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792421000500> (accessed on 17.07.2022).
4. Šerešová, M. (2020). Life cycle performance of various energy sources used in the Czech Republic. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5833> (accessed on 17.07.2022).