

Навчальний посібник до практичних занять:

**«Оцінювання життєвого
циклу електротехнічних
систем»**

Сергій ХУДОЛІЙ

«Оцінювання життєвого циклу електротехнічних систем»

Худолій С.С. Навчальний посібник до практичних занять: «Оцінювання життєвого циклу електротехнічних систем» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2023. – 43 с.

Навчальний посібник до практичних занять: «Оцінювання життєвого циклу електротехнічних систем» орієнтований на студентів, які зацікавлені у вивченні теми оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) для електричних систем і пристроїв або подібних тем екологічної оцінки, базується на міждисциплінарному підході, який поєднує знання з різних галузей, включаючи науку про навколишнє середовище, інженерію, стійкість та аналіз даних. До цих галузей відносяться:

1. Науки про навколишнє середовище та сталий розвиток
2. Енергетика та екологічна інженерія;
3. Електричні системи та пристрої;
4. Аналіз даних і моделювання середовища;
5. Екологічні норми та політика;
6. Екологічне проектування та виробництво;
7. Економічний аналіз ;

Загалом, всебічна освіта в цих областях підготує студентів до розуміння, аналізу та внеску в сферу ОЖЦ для електричних систем і пристроїв, допомагаючи вирішити зростаючу важливість стійкості та оцінки впливу на навколишнє середовище в електротехнічній промисловості.

Навчальний посібник може використовуватися в освітньо-професійній програмі підготовки студентів « 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», для дисциплін: «Енергоефективність та надійність електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем», «Надійність та технічне обслуговування електротехнічного устаткування». Посібник розроблений за підтримки грантової програми DAAD «Україна цифрова: Забезпечення академічної успішності в умовах кризи, 2023». При роботі над посібником використовувалися стандарти світової практики та сучасні цифрові технології.

Зміст

1	Оцінювання життєвого циклу. Стандарти та структура	5
2	Принципи оцінювання життєвого циклу продукції як інструмент впливу на мінімізацію відходів	9
2.1	Комплексність	10
2.2	Мислення про життєвий цикл	11
2.3	Категорії впливу на навколишнє середовище	12
2.4	Якість і прозорість даних	13
2.5	Функціональна одиниця	14
2.6	Розподіл	15
2.7	Аналіз чутливості	16
2.8	Географічна та часова специфіка	17
2.9	Порівнянність	19
2.10	Постійне вдосконалення	20
2.11	Залучення зацікавлених сторін	21
2.12	Міждисциплінарний підхід	22
2.13	Висновки	23
3	Оцінювання життєвого циклу сонячних панелей	24
3.1	Оцінювання життєвого циклу сонячних панелей	24
4	Оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення	30
4.1	Оцінка життєвого циклу програмного забезпечення	30
5	Використання програмного забезпечення SimaPro в задачах оцінювання життєвого циклу електротехнічного устаткування	35

Перелік ілюстрацій

1.1	Оцінка життєвого циклу	5
1.2	Міжнародні стандарти	6
3.1	Варіанти встановлення сонячних панелей	24
3.2	Складові компоненти сонячної панелі	24
3.3	Встановлення сонячної панелі	25
3.4	Технічне обслуговування сонячних панелей	25
3.5	Утилізація сонячних панелей	25
5.1	Вікно майстра налаштувань SimaPro Analyst	36
5.2	Вікно інтерфейсу з вибору налаштувань SimaPro Analyst	37
5.3	Вікно майстра налаштувань процесів SimaPro Analyst.	38
5.4	Приклад мережі в SimaPro Analyst.	39
5.5	Вікно сценаріїв відходів SimaPro Analyst.	39
5.6	Вікно статусу розрахунків SimaPro Analyst методом Монте Карло.	40
5.7	Вікно графічного представлення результатів обчислень SimaPro Analyst.	40

Розділ 1

Оцінювання життєвого циклу. Стандарти та структура

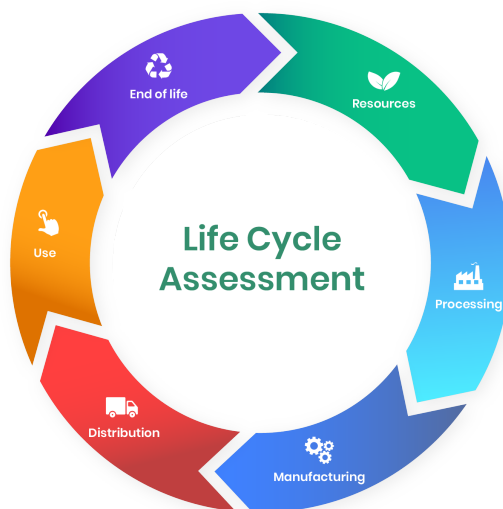


Рис. 1.1: Оцінка життєвого циклу

Оцінка життєвого циклу (англ. Life Cycle Assessment - LCA) рис. 1.1 [1] електричних систем є важливим аспектом забезпечення ефективності, надійності та стійкості електричної інфраструктури. Оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) електричних систем передбачає аналіз різних етапів життєвого циклу цих систем, від виробництва та встановлення до експлуатації, технічного обслуговування та остаточної утилізації або переробки. На кожному з цих етапів враховуються найбільш значущі фактори, наприклад:

1. Виробництво (англ. Manufacturing) – етап який включає виробництво електричних компонентів і систем, в тому числі видобуток сировини, виробничі процеси та транспортування. ОЖЦ оцінює вплив на навколишнє середовище, споживання енергії та викиди, пов'язані з виробництвом.
2. Встановлення (англ. Installation) електричних систем також може мати екологічні та економічні наслідки. Враховуються такі фактори, як транспортування обладнання, енергія, яка використовується під час монтажу, і вплив будівельних робіт на навколишнє середовище.
3. Експлуатація (англ. Operation) ця фаза включає споживання енергії та ефективність електричних систем під час їх нормальної роботи. Оцінка енергоефективності, споживання ресурсів і викидів на цьому етапі має вирішальне значення. Відновлювані джерела енергії та енергозберігаючі технології можуть значно покращити екологічні показники.
4. Технічне обслуговування (англ. Maintenance) - регулярне технічне обслуговування необхідне для оптимального функціонування електричних систем. ОЖЦ враховує ресурси, енергію та викиди, пов'язані з діяльністю з технічного обслуговування, включаючи ремонт і заміну компонентів.

5. Кінець терміну служби (англ. End of Life) - електричні системи зрештою досягають кінця терміну служби. ОЖЦ оцінює процеси утилізації або переробки, беручи до уваги такі фактори, як утилізація небезпечних матеріалів, переробка компонентів і загальний вплив на навколишнє середовище.
6. Економічний аналіз: (англ. Economic Analysis) - передбачає оцінку витрат, пов'язаних із кожним етапом життєвого циклу, включаючи початкову закупівлю, встановлення, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію.
7. Стійкість (англ. Sustainability) - метою оцінки життєвого циклу електричних систем є прийняття обґрунтованих рішень, які сприяють стійкості. Це може передбачати вибір більш енергоефективних технологій, зменшення відходів і мінімізацію впливу на навколишнє середовище.
8. Відповідність нормативним вимогам (англ. Regulatory Compliance) - у багатьох регіонах діють правила та стандарти щодо впливу електричних систем на навколишнє середовище. Дотримання цих правил є ключовим аспектом ОЖЦ.
9. Постійне вдосконалення (англ. Continuous Improvement) ОЖЦ — це не одноразова оцінка, а постійний процес. Це допомагає визначити області для вдосконалення протягом життєвого циклу електричних систем, дозволяючи коригувати та оптимізувати.
10. Дані та інструменти (англ. Data and Tools) - проведення комплексної оцінки життєвого циклу вимагає доступу до даних про матеріали, споживання енергії, викиди та інші фактори. Доступні різні програмні інструменти та методики, які допомагають у розрахунках ОЖЦ.

Таким чином, оцінка життєвого циклу електричних систем є цілісним підходом до оцінки їх впливу на навколишнє середовище та економіки від виробництва до утилізації. Цей аналіз необхідний для прийняття обґрунтованих рішень, які сприяють стійкості, енергоефективності та відповідальному управлінню ресурсами в електротехнічній промисловості.



Рис. 1.2: Міжнародні стандарти

Стандарти, пов'язані з оцінкою життєвого циклу (ОЖЦ) електричних систем і продуктів, можуть відрізнятися залежно від регіону та галузі. Однак деякі загальновизнані міжнародні стандарти рис. 1.2 та рекомендації, які стосуються ОЖЦ в контексті електричних систем, включають:

1. ISO 14040 та ISO 14044 [2]- міжнародні стандарти, які містять загальні принципи та вказівки для проведення досліджень ОЖЦ. ISO 14040 окреслює основу для проведення ОЖЦ, тоді як ISO 14044 містить детальні вказівки щодо етапів і вимог до дослідження ОЖЦ.
2. ISO 14025 [3] - стандарт зосереджений на екологічних деклараціях про продукцію (EPD), які часто використовуються в ОЖЦ для надання прозорості та стандартизованої інформації про екологічні характеристики продукції, включно з електротехнікою.
3. ISO 14062 [4] - стандарт надає вказівки щодо інтеграції екологічних аспектів у процеси проектування та розробки продукту, що є актуальним для проектування екологічно чистих електричних систем і продуктів.
4. IEC 62430 [5] - стандарт стосується оцінки екологічно свідомого проектування та процесів виробництва електричних та електронних виробів. Він окреслює вимоги до документації та передачі екологічно важливої інформації протягом усього життєвого циклу продукту.
5. ISO 50001 [6] - стандарт не стосується конкретно ОЖЦ, він забезпечує основу для систем управління енергією, яка має велике значення для оцінки енергоефективності в електричних системах і може бути інтегрована в процеси ОЖЦ.
6. ****Екомаркування ЄС:**** Європейський Союз заснував Екомаркування ЄС, яке є добровільним знаком, який надається продуктам і послугам, які відповідають певним екологічним критеріям, у тому числі тим, що стосуються електричних та електронних виробів.
7. Стандарти IEEE [7] - Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) розробляє ряд стандартів, що стосуються електричних систем і технологій. Хоча ці стандарти не стосуються конкретного ОЖЦ, вони часто включають вказівки та рекомендації щодо екологічних практик в електротехнічній промисловості.
8. Спеціальні галузеві стандарти - залежно від конкретного типу електричної системи або продукту можуть існувати галузеві стандарти та вказівки. Наприклад, енергоефективність електроприладів часто оцінюється відповідно до таких стандартів, як ENERGY STAR у Сполучених Штатах [8].

Вибір конкретного стандарту для оцінки впливу електричних систем і пристроїв на навколишнє середовище, часто залежить від різних факторів, включаючи конкретні цілі оцінки, регіональні норми та галузеву практику. Однак серед згаданих мною стандартів ISO 14040 та ISO 14044 є основоположними та широко використовуються для проведення оцінок життєвого циклу (ОЖЦ) електричних систем і пристроїв, а також інших продуктів і систем.

Стандарти ISO 14040 та ISO 14044 забезпечують комплексну структуру та вказівки для проведення ОЖЦ. Ці стандарти визнані та дотримуються на міжнародному рівні, що робить їх загальним вибором для організацій, які прагнуть оцінити вплив своєї продукції на навколишнє середовище, включаючи електричні системи та пристрої.

Крім того, стандарт IEC 62430 розроблено спеціально для оцінки екологічно свідомого проектування та процесів виробництва електричних та електронних виробів. Він актуальний для організацій електротехнічної та електронної промисловості та може доповнювати ISO 14040 та ISO 14044 при оцінці екологічних показників електричних пристроїв протягом усього їх життєвого циклу.

Зрештою, вибір найбільш підходящого стандарту також може залежати від місцевих нормативних актів, галузевих вимог і конкретних цілей ОЖЦ.

Україна часто узгоджує свої стандарти та правила з найкращими міжнародними практиками та стандартами, особливо коли йдеться про екологічне управління та управління якістю.

Регулюванням та впровадженням відповідних стандартів в Україні, особливо в контексті ОЖЦ для електричних систем та пристроїв, займаються Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут стандартизації та сертифікації» (ДП «УкрНДНС») [9] та Державна інспекція України з питань захисту прав споживачів (ДСТУ) [10]. Також, є Галузеві асоціації та експерти, які можуть надати розуміння найкращих практик і стандартів, в цій галузі.

Важливо зазначити, що конкретні стандарти та правила можуть змінюватися з часом і можуть відрізнятися залежно від вашого місцезнаходження та характеру електричних систем або продуктів, які ви оцінюєте. Тому потрібно контактувати та консультуватися з відповідними галузевими асоціаціями, державними установами та експертами в цій галузі, щоб забезпечити дотримання останніх стандартів і вказівок, застосовних до вашої конкретної ситуації.

Розділ 2

Принципи оцінювання життєвого циклу продукції як інструмент впливу на мінімізацію відходів

Оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) — це систематична та комплексна методологія, яка використовується для оцінки впливу продукту або системи на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу [11]. Процес ОЖЦ керується кількома основними принципами:

1. **Комплексність** (англ. *Comprehensiveness*) ОЖЦ враховує всі етапи життєвого циклу продукту, від видобутку сировини та виробництва до розповсюдження, використання, технічного обслуговування та утилізації чи переробки після завершення терміну служби. Він спрямований на охоплення повного спектру впливу продукту на навколишнє середовище.
2. **Мислення про життєвий цикл** (англ. *Life Cycle Thinking*) ОЖЦ заохочує цілісну перспективу, підкреслюючи, що рішення, прийняті на одному етапі життєвого циклу продукту, можуть мати наслідки на інших етапах. Він заохочує розглядати довгострокову стійкість, а не зосереджуватися виключно на негайних впливах.
3. **Категорії впливу на навколишнє середовище** (англ. *Environmental Impact Categories*) ОЖЦ оцінює кілька категорій впливу на навколишнє середовище.
4. **Якість даних і прозорість** (англ. *Data Quality and Transparency*) ОЖЦ покладається на точні та прозорі дані для своїх оцінок. Якість даних і джерела мають бути добре задокументовані та прозорі, щоб забезпечити достовірність результатів.
5. **Функціональна одиниця** (англ. *Functional Unit*) ОЖЦ визначає функціональну одиницю, яка представляє конкретну функцію або перевагу, яку надає продукт. Це дозволяє проводити значущі порівняння між різними продуктами, які виконують однакову функцію.
6. **Розподіл** (англ. *Allocation*) - у випадках, коли продукт або процес створює кілька супутніх продуктів або послуг, методи розподілу використовуються для справедливого розподілу впливу на навколишнє середовище між супутніми продуктами. Розподіл має ґрунтуватися на чітких та обґрунтованих принципах.
7. **Аналіз чутливості** (*Sensitivity Analysis*) ОЖЦ розпізнає невизначеності та варіації в даних, припущеннях моделювання та виборі меж. Аналіз чутливості проводиться, щоб оцінити вплив цих невизначеностей на результати та зробити оцінку більш надійною.
8. **Географічна та часова специфіка** (*Geographical and Temporal Specificity*) ОЖЦ можна адаптувати для врахування географічних та часових варіацій. Місцеві фактори, такі як джерела енергії та умови навколишнього середовища, можуть впливати на результати. Тому дослідження ОЖЦ часто включають дані, що стосуються конкретного регіону.
9. **Порівнянність** (англ. *Comparability*) - результати ОЖЦ повинні бути представлені в чіткому та стандартизованому форматі, щоб полегшити порівняння між продуктами або системами.

Екологічні декларації продукції (EPD) та оцінка впливу на навколишнє середовище (EIA) є поширеними засобами представлення результатів ОЖЦ.

10. Постійне вдосконалення (англ. Continuous Improvement) ОЖЦ — це не одноразовий аналіз, а інструмент для постійного вдосконалення. Це має інформувати про прийняття рішень, проектування продукту та розробку політики для зменшення впливу на навколишнє середовище з часом.
11. Залучення зацікавлених сторін (англ. Stakeholder Engagement) - залучення зацікавлених сторін, включаючи споживачів, галузевих експертів і політиків, має важливе значення для забезпечення відповідності результатів ОЖЦ суспільним цінностям і пріоритетам.
12. Міждисциплінарний підхід (англ. Interdisciplinary Approach) ОЖЦ спирається на різні дисципліни, включаючи екологію, техніку, економіку та соціальні науки. Співпраця між експертами з різних галузей має вирішальне значення для комплексної оцінки.

Завдяки цим принципам і систематичним підходом ОЖЦ, можливо проводити ретельну оцінку екологічних характеристик продукту [11] [12]. Це допомагає зацікавленим сторонам приймати обґрунтовані рішення щодо мінімізації впливу на навколишнє середовище. Тому розглянемо більш детально зазначені принципи для більш детального аналізу та ефективного практичного використання в наступних практичних завданнях.

2.1 Комплексність

Комплексність (англ. Comprehensiveness) є одним із фундаментальних принципів оцінки життєвого циклу (ОЖЦ). Це підкреслює важливість урахування всіх значних впливів на навколишнє середовище, пов'язаних з продуктом або системою протягом усього життєвого циклу. Цей принцип гарантує, що ОЖЦ забезпечує комплексне та цілісне уявлення про екологічні наслідки різних етапів життєвого циклу продукту, від видобутку сировини до утилізації чи переробки в кінці терміну служби.

Комплексність передбачає оцінку як прямих, так і непрямих впливів на навколишнє середовище. Прямі впливи – це впливи, безпосередньо пов'язані з продуктом, наприклад викиди від вихлопу автомобіля. Непрямі впливи, також відомі як впливи «вниз за течією» або «ланцюга постачання», охоплюють екологічні наслідки процесів, які підтримують життєвий цикл продукту, наприклад енергію, що використовується для виробництва компонентів, або вплив на навколишнє середовище виробництва сировини.

ОЦЖ враховує кумулятивні впливи, які є результатом різноманітних екологічних факторів протягом тривалого часу. Це допомагає визначити потенційні довгострокові наслідки продукту чи системи.

Комплексність визначає межі системи ОЖЦ, які процеси та впливи включені в оцінку, а які виключені. Чіткий і прозорий опис меж системи має вирішальне значення для достовірності та відповідності оцінки.

ОЖЦ оцінює низку категорій впливу на навколишнє середовище, включаючи, але не обмежуючись, викиди парникових газів, забруднення повітря та води, виснаження ресурсів і руйнування середовища існування.[13] [14] Комплексність гарантує врахування всіх відповідних категорій впливу. Комплексність ОЖЦ має важливе значення для прийняття обґрунтованих рішень щодо продуктів і систем, надаючи цілісне уявлення про їхню екологічну ефективність. Це дає змогу зацікавленим сторонам визначати сфери, де можна покращити ситуацію, щоб зменшити вплив на навколишнє середовище, підвищити стійкість і сприяти відповідальному споживанню та виробництву.

2.2 Мислення про життєвий цикл

Мислення про життєвий цикл (англ. Life Cycle Thinking LCT) — це фундаментальна концепція, яка лежить в основі оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) і більш широких міркувань сталого розвитку. LCT наголошує на застосуванні цілісного та системного підходу при оцінці продуктів, процесів або систем, враховуючи весь їхній життєвий цикл від видобутку до утилізації[15]. Ось більш глибокий погляд на ключові аспекти мислення життєвого циклу в контексті ОЖЦ:

1. Цілісна перспектива (англ. Holistic Perspective) LCT заохочує зацікавлених сторін виходити за межі окремих етапів життєвого циклу продукту та враховувати взаємозв'язок цих етапів. Він визнає, що рішення, прийняті на одному етапі, можуть мати значні наслідки на інших етапах і що зусилля щодо сталого розвитку повинні стосуватися всього життєвого циклу.
2. Три етапи життєвого циклу (англ. Three Stages of Life Cycle) LCT зазвичай поділяє життєвий цикл продукту на три основні етапи:
 - Від колиски до воріт (Cradle-to-Gate) - етап охоплює виробництво сировини та виробничі процеси аж до моменту виходу з воріт виробництва. Він включає видобуток ресурсів, транспортування та вплив, пов'язаний з виробництвом.
 - Від воріт до воріт (Gate-to-Gate) - етап зосереджується виключно на процесах виробництва та складання на підприємстві, за винятком впливу, пов'язаного з видобутком та розподілом сировини.
 - Від воріт до ями (Gate-to-Grave) - етап розглядає весь життєвий цикл, включаючи фазу використання, технічне обслуговування, транспортування та утилізацію чи переробку після завершення терміну служби. Він забезпечує більш комплексну оцінку екологічних і соціальних впливів продукту.
3. Екологічні та соціальні аспекти (англ. Environmental and Social Considerations) LCT виходить за рамки екологічних міркувань і охоплює соціальні аспекти. Він включає оцінку таких факторів, як умови праці, вплив на здоров'я людини та соціальна справедливість протягом життєвого циклу.
4. Функціональна одиниця (англ. Functional Unit) LCT визначає функціональну одиницю як конкретну функцію або перевагу, яку надає продукт. Це гарантує доречність і порівняльність оцінок, навіть якщо продукти мають різний дизайн або характеристики. Наприклад, при порівнянні різних типів освітлення функціональною одиницею може бути «тисяча годин освітлення».
5. Компроміси та гарячі точки (англ. Trade-offs and Hotspots) LCT допомагає визначити компроміси та гарячі точки протягом життєвого циклу продукту. Компроміс виникає, коли покращення одного аспекту стійкості (наприклад, зменшення викидів парникових газів) може мати негативні наслідки в іншій сфері (наприклад, збільшення споживання води). Гарячі точки — це етапи або процеси в життєвому циклі з особливо значним екологічним або соціальним впливом.
6. Постійне вдосконалення (англ. Continuous Improvement) LCT сприяє культурі постійного вдосконалення. Оцінюючи життєвий цикл продукту, організації можуть визначити сфери, де можна посилити зусилля щодо сталого розвитку, підвищити ефективність використання ресурсів і зменшити вплив на навколишнє середовище з часом.
7. Залучення зацікавлених сторін (англ. Stakeholder Engagement) Залучення зацікавлених сторін, включаючи споживачів, постачальників і регуляторів, має важливе значення для включен-

ня різних точок зору та пріоритетів у процес прийняття рішень. LCT заохочує відкритий і прозорий діалог із зацікавленими сторонами.

2.3 Категорії впливу на навколишнє середовище

Категорії впливу на навколишнє середовище в оцінці життєвого циклу (Environmental Impact Categories) — це набір конкретних екологічних проблем або проблемних областей, які використовуються для оцінки екологічної ефективності продукту, процесу або системи. Ці категорії впливу допомагають кількісно визначити та оцінити вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з різними етапами життєвого циклу, від видобутку сировини до утилізації чи переробки в кінці терміну служби [11] [16]. Ось кілька поширених категорій впливу на навколишнє середовище, які використовуються в ОЖЦ:

1. Потенціал глобального потепління (англ. Global Warming Potential GWP) - ця категорія впливу вимірює потенційний внесок продукту або діяльності в глобальну зміну клімату. Зазвичай він виражається через викиди еквівалента вуглекислого газу (CO₂e) і включає такі парникові гази, як вуглекислий газ (CO₂), метан (CH₄) і закис азоту (N₂O).
2. Потенціал підкислення (англ. Acidification Potential) - оцінює вивільнення кислотних речовин у навколишнє середовище, що може призвести до кислотних дощів і завдати шкоди екосистемам. Його часто виражають через викиди діоксиду сірки (SO₂) і оксидів азоту (NO_x).
3. Потенціал евтрофікації (англ. Eutrophication Potential) - оцінює вивільнення поживних речовин (наприклад, азоту та фосфору) у водойми, що може призвести до надмірного росту рослин і водоростей, виснаження кисню та шкоди водним екосистемам.
4. Потенціал руйнування озонового шару (англ. Ozone Depletion Potential) - ця категорія вимірює потенціал руйнування озонового шару Землі, головним чином через вивільнення таких речовин, як хлорфторвуглеці (CFC) і галони.
5. Вичерпання ресурсів (англ. Resource Depletion) - категорії виснаження ресурсів оцінюють споживання обмежених природних ресурсів. Вони можуть включати витрати викопного палива (наприклад, вугілля, нафти та природного газу) та вичерпання мінеральних ресурсів (мінерали і метали).
6. Споживання води (англ. Water Consumption) - визначає кількість прісної води, яка використовується протягом життєвого циклу виробу. Це може допомогти визначити потенційний вплив на місцеві водні ресурси та екосистеми.
7. Землекористування (англ. Land Use) - вплив землекористування оцінює площу землі, необхідну для різних етапів життєвого циклу, наприклад, сільськогосподарські землі для виробництва сировини або землі для розміщення відходів.
8. Вплив на здоров'я людини (англ. Human Health Impact) категорії впливу, пов'язані зі здоров'ям людини, наприклад потенційні респіраторні захворювання або канцерогенні ефекти через вплив забруднюючих речовин.
9. Екотоксичність (англ. Ecotoxicity) - оцінює потенційну шкоду для екосистем і водних організмів, спричинену викидом токсичних речовин у навколишнє середовище. Це може включати токсичність певних хімічних речовин.
10. Біорізноманіття (англ. Biodiversity) - категорії впливу на біорізноманіття враховують потенційну втрату видів або екосистем через зміни землекористування або руйнування середовища існування, пов'язані з життєвим циклом продукту.

11. Фотохімічне утворення озону (англ. Photochemical Ozone Formation) - категорія оцінює потенціал утворення приземного озону, шкідливого забруднювача повітря, в результаті викидів від продукту або процесу.

Важливо зазначити, що вибір конкретних категорій впливу в ОЖЦ залежить від цілей і обсягу оцінки, а також регіональних і галузевих міркувань. Різні ОЖЦ можуть зосереджуватися на підмножині цих категорій або додаткових областях впливу, які мають відношення до конкретного продукту чи процесу, що досліджується.

Категорії впливу на навколишнє середовище використовуються для кількісної оцінки та передачі інформації про наслідки людської діяльності для навколишнього середовища, сприяння прийняттю обґрунтованих рішень, оцінці стійкості та визначенню областей для вдосконалення дизайну продукту та виробничих процесів.

2.4 Якість і прозорість даних

Якість і прозорість даних (Data quality and transparency) є критично важливими аспектами проведення надійної оцінки життєвого циклу (ОЦЖ). Якість даних і прозорість джерел даних і методологій відіграють значну роль у точності та достовірності результатів ОЖЦ. Якість даних ОЖЦ залежить від багатьох факторів та повинна відповідати наступним вимогам:

1. Релевантність даних (англ. Data Relevance) - дані, що використовуються в ОЖЦ, мають відповідати конкретному продукту чи процесу, що оцінюється. Він має точно відображати екологічні та соціальні наслідки, пов'язані з цією конкретною системою. Використання застарілих або неточних даних може призвести до неправильних висновків.
2. Прецизійність і точність даних (англ. Data Precision and Accuracy) - дані мають бути точними та мати мінімальну похибку вимірювань. Прецизійність стосується рівня деталізації даних, тоді як точність стосується того, наскільки дані відповідають дійсності. Високоякісні дані отримуються з надійних джерел і підлягають суворому контролю якості.
3. Повнота даних (англ. Data Completeness) - набори даних повинні охоплювати всі відповідні аспекти життєвого циклу, від видобутку сировини до утилізації в кінці життєвого циклу. Прогалини в даних можуть додати невизначеність в оцінку.
4. Тимчасова релевантність (англ. Temporal Relevance) - тимчасовий аспект даних має вирішальне значення. Вплив на навколишнє середовище може змінюватися з часом через такі фактори, як технологічний прогрес і зміни в джерелах енергії. Тому дані мають бути актуальними, щоб відображати поточні умови.
5. Географічна специфіка (англ. Geographical Specificity) - екологічні умови та вплив можуть відрізнятися залежно від регіону. Дані мають бути географічно специфічними для області інтересу, особливо при оцінці локалізованих впливів.
6. Узгодженість даних (англ. Data Consistency) - набори даних мають бути внутрішньо узгодженими, що означає, що вони гармонізовані, щоб уникнути протиріч або невідповідностей у наборі даних.

Прозорість даних ОЖЦ повинна відповідати наступним вимогам:

1. Зазначення джерела (англ. Source Attribution) - чітке документування джерел даних, які використовуються в ОЖЦ. Це включає вказівку, де та як дані були зібрані, часові рамки, які вони охоплюють, і будь-які відповідні припущення чи зроблені розрахунки.

2. Документація (англ. Documentation) - важлива детальна документація щодо джерел даних і методології роботи з даними. Ця документація має бути доступною для зацікавлених сторін та інших зацікавлених сторін, щоб забезпечити прозорість і можливість відтворити оцінку.
3. Оцінка невизначеності (англ. Uncertainty Assessment) - прозора ОЖЦ повинна визнавати та кількісно встановлювати невизначеності, пов'язані з даними та використаними методологіями. Аналіз невизначеності допомагає оцінити надійність результатів і надає ряд потенційних результатів.
4. Розкриття припущень (англ. Disclosure of Assumptions) - роблячи припущення або спрощення при зборі даних або моделюванні, їх слід чітко розкривати. Прозорість у припущеннях дозволяє зацікавленим сторонам зрозуміти потенційні обмеження та упередження в оцінці.
5. Колегіальна перевірка (англ. Peer Review) - незалежна експертна перевірка процесу та даних ОЖЦ може підвищити прозорість. Рецензенти можуть оцінити точність використаних методів і припущень і надати рекомендації щодо покращення.
6. Аналіз чутливості (англ. Sensitivity Analysis) - проведення аналізу чутливості, під час якого тестуються різні сценарії або введені дані, є ще одним способом підвищення прозорості. Це дозволяє зацікавленим сторонам зрозуміти, як різні фактори чи невизначеності можуть вплинути на результати.
7. Комунікація (англ. Communication) - прозорість поширюється на інформацію про результати ОЖЦ. Чіткий і зрозумілий звіт про результати разом із графічним представленням даних полегшує розуміння ширшою аудиторією.

Забезпечення якості даних і прозорості в ОЖЦ має важливе значення для формування довіри до процесу оцінювання та його результатів. Це дає змогу зацікавленим сторонам приймати обґрунтовані рішення, сприяє довірі та допомагає визначити сфери для вдосконалення дизайну продукту, виробничих процесів і заходів щодо сталого розвитку.

2.5 Функціональна одиниця

Функціональна одиниця (The functional unit) — це фундаментальне поняття в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ), яке визначає конкретну функцію або перевагу, яку продукт або система надає своїм користувачам. Це важливий компонент ОЖЦ, оскільки він служить точкою відліку для оцінки екологічних і соціальних впливів, пов'язаних з різними продуктами або процесами [11] [16] [17]. Ось глибший погляд на концепцію функціонального блоку в ОЖЦ:

1. Визначення спільної основи для порівняння (англ. Defining a Common Basis for Comparison) екологічних характеристик різних продуктів або систем, які виконують ту саму функцію, але можуть мати різні конструкції, специфікації або характеристики. Визначаючи, яку функцію виконує продукт, ОЖЦ дозволяє порівнювати яблука з яблуками.
2. Приклад функціональної одиниці (Example of a Functional Unit* Функціональна одиниця може бути виражена різними способами залежно від контексту, для пральної машини функціональним блоком може бути «прання та сушіння одного завантаження білизни, для автомобіля це може бути «перевезення однієї людини на відстань 100 кілометрів, для будівлі це може бути надання житла та офісних приміщень для однієї людини на один рік.
3. Кількісна оцінка та нормалізація впливу (англ. Quantifying and Normalizing Impacts) - після визначення функціональної одиниці ОЖЦ кількісно визначає екологічні та соціальні наслідки,

пов'язані з досягненням цієї одиниці. Ця кількісна оцінка передбачає збір даних про споживання ресурсів, викиди та інші відповідні фактори протягом усього життєвого циклу продукту або процесу.

4. Порівняння продуктів і систем (англ. Comparing Products and Systems) - з кількісним визначенням впливу на навколишнє середовище на функціональну одиницю ОЖЦ дозволяє порівнювати різні продукти або системи з точки зору їх екологічної ефективності. Це порівняння допомагає зацікавленим сторонам приймати обґрунтовані рішення про те, який варіант є більш екологічно стійким.
5. Розширення сфери застосування (англ. Expanding the Scope) - вибір функціональної одиниці може значно вплинути на результати ОЖЦ. Важливо ретельно визначити функціональний блок, щоб переконатися, що він точно відображає передбачуване використання та переваги продукту чи системи. Іноді сферу застосування ОЖЦ необхідно розширити, щоб розглянути більш повний діапазон функцій і впливів.
6. Відповідність меті та масштабу (англ. Relevance to Goal and Scope) - вибір функціонального підрозділу повинен узгоджуватися з цілями та обсягом ОЖЦ. Наприклад, якщо метою є оцінка впливу продукту на навколишнє середовище протягом усього його життєвого циклу, функціональний блок повинен охоплювати повний спектр функцій і впливів, пов'язаних із цим продуктом.
7. Коригування для варіативності (англ. Adjusting for Variability) - у деяких випадках функціональний блок може потребувати коригування з урахуванням відмінностей у продуктивності продукту, моделях використання або географічних варіаціях. Аналіз чутливості може допомогти оцінити, як зміни у функціональному блоці впливають на результати.

Функціональний підрозділ є критично важливим аспектом ОЖЦ, оскільки він забезпечує доречність, послідовність і порівнянність оцінок. Це дозволяє фахівцям-практикам ОЖЦ оцінювати та повідомляти про екологічні та соціальні наслідки різних продуктів або процесів у стандартизований та значущий спосіб, допомагаючи особам, які приймають рішення, робити екологічний вибір.

2.6 Розподіл

Розподіл (Allocation) — це концепція, яка використовується в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ) для розподілу впливу на навколишнє середовище між кількома супутніми продуктами або послугами, які виробляються одночасно під час загального процесу чи системи. Розподіл необхідний, коли система генерує як первинні продукти, так і вторинні супутні продукти або потоки відходів, і це допомагає гарантувати, що навантаження на навколишнє середовище справедливо відносяться до кожного продукту чи послуги [11] [18] [16]. Розглянемо докладно вплив розподілу на ОЖЦ:

1. Супутні продукти та побічні продукти (англ. Co-Products and By-Products) — Розподіл зазвичай виникає, коли виробничий процес дає супутні продукти або побічні продукти на додаток до основного продукту. Супутні продукти – це продукти, які мають цінність і навмисно виробляються разом із основним продуктом, тоді як побічні продукти – це вторинні продукти, які можуть не мати такого ж рівня цінності чи важливості.
2. Справедливий розподіл навантаження на навколишнє середовище (англ. Fair Distribution of Environmental Burdens) Головною метою розподілу є справедливий розподіл впливу на навколишнє середовище (наприклад, споживання енергії, викиди, використання ресурсів), пов'язаного із загальним процесом, між супутніми продуктами.

3. Типи методів розподілу (англ. Types of Allocation Methods) Існують різні методи розподілу, які можна використовувати в ОЖЦ залежно від конкретних обставин і цілей оцінювання. Деякі поширені методи розподілу включають:
 - розподіл маси - розподіл впливів на основі маси або ваги супутніх продуктів. Цей метод простий, але може не врахувати відмінностей у екологічній значущості.
 - економічний розподіл - розподіл впливів на основі економічної цінності супутніх продуктів. Цей метод корисний, коли супутні продукти мають різну ринкову вартість.
 - розподіл енергії - розподіл впливів на основі енергетичного вмісту супутніх продуктів. Цей метод актуальний, коли енергоефективність є першочерговою проблемою.
 - розширення системи - повне уникнення розподілу шляхом розширення меж системи, щоб включити вплив на навколишнє середовище виробництва додаткових супутніх продуктів як окремих систем. Цей метод часто використовується, коли є невизначеність щодо справедливого розподілу впливу.
4. Категорії впливу на навколишнє середовище (англ. Environmental Impact Categories) Різні методи розподілу можуть призвести до різних результатів щодо категорій впливу на навколишнє середовище. Наприклад, масовий розподіл може підходити для одних впливів, тоді як економічний розподіл може бути більш придатним для інших. Вибираючи метод розподілу, важливо враховувати конкретну категорію впливу та контекст.
5. Аналіз чутливості (англ. Sensitivity Analysis) Оскільки розподіл може суттєво вплинути на результати ОЖЦ, загальною практикою є проведення аналізу чутливості для оцінки впливу різних методів розподілу на результати. Це допомагає забезпечити надійність і достовірність оцінки.
6. Звітність і прозорість (англ. Reporting and Transparency) Дуже важливо бути прозорим щодо обраного методу розподілу в дослідженні ОЖЦ. Чітке документування підходу до розподілу, включно з обґрунтуванням вибору, допомагає забезпечити прозорість і дозволяє іншим зрозуміти й оцінити результати.

Розподіл в ОЖЦ є складним, але важливим аспектом забезпечення того, щоб оцінки навколишнього середовища точно представляли вплив на навколишнє середовище продуктів і систем, які генерують супутні продукти. Вибір методу розподілу має бути ретельно розглянутий на основі конкретних обставин і цілей дослідження ОЖЦ.

2.7 Аналіз чутливості

Аналіз чутливості (Sensitivity analysis) в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ) є важливим кроком, який допомагає оцінити надійність результатів ОЖЦ шляхом вивчення того, як варіації вхідних параметрів або припущень можуть вплинути на результати. Він дає цінну інформацію про невизначеності, пов'язані з висновками ОЖЦ, і допомагає зацікавленим сторонам приймати більш обґрунтовані рішення. Розглянемо аналіз впливу чутливості в ОЖЦ:

1. Мета (англ. Purpose) - аналіз чутливості виконується, щоб зрозуміти, як зміни ключових параметрів, вхідних даних або припущень впливають на результати дослідження ОЖЦ. Його основною метою є оцінка чутливості результатів до різних факторів, таких як зміни в якості даних, межі системи, методи розподілу або припущення моделювання.
2. Вибір параметра (англ. Parameter Selection) - конкретні параметри, що підлягають аналізу чутливості, залежать від цілей і обсягу дослідження ОЖЦ. Загальні параметри, які слід враховувати, включають:

- Вхідні дані: варіації в джерелах даних, якості даних або значеннях даних, що використовуються в оцінці.
 - Припущення: зміни в припущеннях моделювання, таких як межі системи, функціональні одиниці, методи розподілу та методи оцінки впливу.
 - Оцінки невизначеності: Оцінка впливу різних оцінок невизначеності на результати.
3. Методи (англ. Methods) - аналіз чутливості можна проводити різними методами, односторонній або багатосторонній аналіз чутливості, імовірнісний метод, який включає випадкову вибірку вхідних параметрів на основі розподілу ймовірностей для дослідження діапазону можливих результатів.
 4. Інтерпретація результатів (англ. Interpretation of Results) - результати аналізу чутливості дають змогу зрозуміти, які параметри мають найбільш значний вплив на результати ОЖЦ, а які є менш критичними. Ця інформація допомагає визначити області, де може знадобитися додатковий збір даних, уточнення припущень або подальше дослідження.
 5. Оцінка невизначеності (англ. Uncertainty Assessment) - аналіз чутливості тісно пов'язаний з аналізом невизначеності в ОЖЦ. Аналіз невизначеності зосереджується на кількісному визначенні діапазону можливих результатів через невизначеність даних і припущень, тоді як аналіз чутливості досліджує, як конкретні фактори сприяють цій невизначеності.
 6. Звітність і прозорість (англ. Reporting and Transparency) - результати аналізу чутливості мають бути прозоро задокументовані у звіті ОЖЦ. Це включає визначення параметрів, що перевіряються, діапазон варіацій, що розглядаються, і методологію, використану для аналізу. Прозорість підвищує довіру до оцінки.
 7. Підтримка прийняття рішень (англ. Decision Support) - аналіз чутливості допомагає зацікавленим сторонам і особам, які приймають рішення, краще зрозуміти потенційну мінливість результатів ОЖЦ і зробити обґрунтований вибір, враховуючи невизначеності та варіації в оцінці.

Визначаючи, які параметри мають найбільший вплив на результати ОЖЦ, аналіз чутливості допомагає визначити пріоритети для збору більш точних даних, уточнення припущень моделювання або зосередитися на областях з найбільшим потенціалом для покращення навколишнього середовища. Демонстрація надійності результатів ОЖЦ за допомогою аналізу чутливості підвищує довіру до оцінки в очах зацікавлених сторін, включаючи регулятори, споживачів і галузевих партнерів. Аналіз чутливості також можна використовувати як інструмент оцінки ризиків, допомагаючи організаціям зрозуміти потенційні ризики, пов'язані з різними сценаріями, і приймати проактивні рішення для пом'якшення цих ризиків.

Отже, аналіз чутливості є цінним інструментом в ОЖЦ, який дозволяє практикам досліджувати вплив різних факторів на результати оцінювання, що в кінцевому підсумку призводить до більш надійних і обґрунтованих висновків і обґрунтованих рішень щодо сталого розвитку.

2.8 Географічна та часова специфіка

Географічна та часова специфіка (Geographical and temporal specificity) в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ) відноситься до розгляду регіональних і часових змін під час оцінки впливу продукту, процесу або системи на навколишнє середовище [12] [14] [19]. Ці варіації можуть суттєво вплинути на результати ОЖЦ, тому їх важливо враховувати під час проведення дослідження ОЖЦ. Ось докладніший погляд на ці два аспекти:

1. Регіональні відмінності (англ. Regional Variations) - екологічні умови, доступність ресурсів, джерела енергії та інфраструктура можуть відрізнятися від одного регіону до іншого. Географічна специфіка визнає ці регіональні відмінності та їхній вплив на результати ОЖЦ.
2. Місцеві дані (англ. Local Data) - щоб врахувати регіональні відмінності, спеціалісти з ОЖЦ можуть використовувати місцеві джерела даних і конкретні регіональні параметри у своїх оцінках. Це може включати дані про виробництво енергії, транспортні викиди та методи управління відходами, які мають відношення до місця, де виробляється, використовується та утилізується продукт.
3. Регіоналізація оцінки впливу (англ. Regionalization of Impact Assessment) У деяких випадках ОЖЦ можуть включати етап регіоналізації на етапі оцінки впливу. Це передбачає використання факторів характеристики впливу, які є специфічними для досліджуваного регіону, допомагаючи забезпечити більш точне представлення місцевих впливів на навколишнє середовище.
4. Постачання та розповсюдження продукту ((англ. Product Sourcing and Distribution) - географічна специфіка особливо важлива під час оцінки впливу постачання та розповсюдження продукту. Різні транспортні маршрути, види транспорту та відстані можуть призвести до змін у викидах та споживанні ресурсів.
5. Політика та нормативні зміни (англ. Policy and Regulatory Variations) Регіональні відмінності в екологічній політиці, правилах і стандартах також можуть впливати на результати ОЖЦ. Ці відмінності можуть вплинути на використовувані технології контролю викидів, джерела енергії та методи поводження з відходами.

Часова специфіка:

1. Зміни з часом (англ. Changes Over Time) - тимчасова специфіка в ОЖЦ визнає, що умови та фактори середовища можуть змінюватися з часом. Це може включати технологічний прогрес, зміну джерел енергії, удосконалення виробничих процесів і зміни в екологічних нормах.
2. Довгостроковий вплив (англ. Long-Term Impacts) - деякі впливи на навколишнє середовище, такі як зміна клімату, мають довгострокові наслідки, які виходять за межі безпосереднього періоду дослідження ОЖЦ. Часова специфіка може передбачати розгляд потенційних довгострокових впливів і оцінку того, як зміни з часом можуть вплинути на стійкість продукту.
3. Аналіз сценарію (англ. Scenario Analysis) - часова специфіка часто розглядається за допомогою аналізу сценарію, який передбачає оцінку різних майбутніх сценаріїв та їх потенційного впливу на результати ОЖЦ. Це може допомогти особам, які приймають рішення, планувати довгострокову стійкість і адаптуватися до мінливих умов.
4. Фази життєвого циклу (англ. Lifecycle Phases) - на різні фази життєвого циклу продукту можуть впливати часові фактори. Наприклад, підвищення енергоефективності на етапі використання продукту може стати доступним з часом, зменшуючи вплив на навколишнє середовище.
5. Оновлення життєвого циклу (англ. Life Cycle Updates) - регулярні оновлення ОЖЦ можуть знадобитися для врахування змін у технології, матеріалах та умовах навколишнього середовища. Тимчасова специфіка спонукає до включення найновіших даних та інформації.

І географічна, і часова специфіка мають вирішальне значення для того, щоб результати ОЖЦ точно відображали вплив продукту або системи на навколишнє середовище. Вони допомагають забезпечити більш реалістичну та релевантну оцінку, особливо у випадках, коли регіональні чи часові варіації значно впливають на висновки дослідження.

2.9 Порівнянність

Порівнянність (Comparability) в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ) відноситься до здатності робити значущі та справедливі порівняння між різними продуктами, процесами або системами з точки зору їх екологічної ефективності. Це фундаментальний аспект ОЖЦ, який дозволяє зацікавленим сторонам оцінювати та вибирати більш стійкі варіанти та приймати обґрунтовані рішення. Розглянемо концепцію порівнянності в ОЖЦ:

1. Функціональна одиниця (англ. Functional Unit) - щоб уможливити порівняння, ОЖЦ визначають функціональну одиницю, яка представляє конкретну функцію або перевагу, яку надає продукт або система. Цей функціональний блок служить основою для порівняння продуктів, які служать однаковою цілям, але можуть мати різні характеристики.
2. Нормалізація (англ. Normalization) — це техніка, яка використовується для вираження результатів ОЖЦ у загальному форматі або одиниці, що полегшує порівняння. Вплив на навколишнє середовище часто нормалізується на функціональну одиницю, що дозволяє проводити прямі порівняння на основі однієї й тієї ж одиниці вигоди.
3. Категорії впливу (англ. Impact Categories) - ОЖЦ оцінює різні категорії впливу на навколишнє середовище, такі як викиди парникових газів, використання води або виснаження ресурсів. Порівнянність передбачає оцінку кількох категорій впливу для отримання повного розуміння загальної екологічної ефективності продукту.
4. Якість даних (англ. Data Quality) - забезпечення незмінної якості даних у продуктах або системах, що порівнюються, має вирішальне значення. Високоякісні дані необхідні для достовірних і значущих порівнянь.
5. Межі системи (англ. System Boundaries) - визначення узгоджених меж системи є важливим для порівнянності. Межі системи визначають, які процеси та етапи життєвого циклу включені в оцінку, а які виключені. Узгодженість меж системи гарантує, що релевантні процеси розглядаються для всіх продуктів або систем, що порівнюються.
6. Методи розподілу (англ. Allocation Methods) - у випадках, коли продукти створюють кілька супутніх продуктів або послуг протягом свого життєвого циклу, вибір методу розподілу може вплинути на порівнянність. Методи розподілу мають бути прозорими, обґрунтованими та узгодженими між порівняннями.
7. Географічні та часові аспекти (англ. Geographical and Temporal Considerations) - географічна та часова специфіка може вплинути на порівнянність результатів ОЖЦ. Розгляд регіональних і часових коливань має важливе значення для забезпечення відповідності та точності порівнянь.
8. Аналіз чутливості (англ. Sensitivity Analysis) - аналіз чутливості часто проводиться, щоб оцінити, як зміни в параметрах або припущеннях впливають на результати ОЖЦ. Це допомагає визначити ступінь невизначеності та мінливості в порівняннях і гарантує надійність результатів.
9. Комунікація (англ. Communication) - результати мають чітко та прозоро повідомлятися зацікавленим сторонам. Порівняння мають бути представлені у форматі, легкому для розуміння, дозволяючи тим, хто приймає рішення, і споживачам зрозуміти відносну екологічну ефективність продуктів або систем.

Порівнянність дає змогу зацікавленим сторонам, зокрема споживачам, підприємствам і політикам, приймати обґрунтовані рішення щодо продуктів і систем на основі їхніх екологічних показників. Порівняння різних варіантів висвітлює області, де можна зробити покращення для підвищення екологічної стійкості. Це може стимулювати інновації та заохочувати до впровадження більш стійких практик.

Загалом, порівнянність є основним принципом ОЖЦ, який сприяє прозорості, надійності та здатності робити значущі порівняння між продуктами та системами, підтримуючи більш стійкий вибір і практику.

2.10 Постійне вдосконалення

Постійне вдосконалення (Continuous improvement) оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) стосується постійного процесу використання результатів і розуміння ОЖЦ для позитивних змін у дизайні продукту, виробничих процесах і в цілому [11] [12] [18] [19]. Він наголошує на необхідності для організацій вчитися на висновках ОЖЦ і активно працювати над зменшенням свого впливу на навколишнє середовище з часом. Ось глибший погляд на концепцію постійного вдосконалення ОЖЦ:

1. ОЖЦ як інструмент для навчання служить цінним інструментом для організацій, щоб всебічно зрозуміти екологічні та соціальні наслідки їхніх продуктів або систем. Постійне вдосконалення починається з визнання того, що ОЖЦ надає інформацію та дані, які можуть керувати прийняттям рішень.
2. Виявлення гарячих точок ОЖЦ допомагає визначити напрями та зусилля з покращення.
3. Організації можуть використовувати результати ОЖЦ для встановлення конкретних цілей і завдань сталого розвитку. Ці цілі можуть стосуватися скорочення викидів парникових газів, мінімізації споживання ресурсів або покращення можливості переробки продукції.
4. Постійне вдосконалення часто передбачає впровадження принципів Дизайну для навколишнього середовища (DfE). DfE заохочує розробників продуктів враховувати чинники навколишнього середовища з самих ранніх етапів розробки продукту. Дані ОЖЦ можуть інформувати про вибір дизайну, який зменшує вплив на навколишнє середовище.
5. Організації можуть співпрацювати зі своїми постачальниками, щоб покращити стійкість сировини та компонентів. Результати ОЖЦ можуть підкреслити можливості для співпраці для зменшення впливу на весь ланцюжок поставок.
6. Постійне вдосконалення може призвести до підвищення ефективності виробничих процесів. Це може включати зменшення споживання енергії, мінімізацію відходів та оптимізацію використання ресурсів.
7. Покращені екологічні показники можна повідомити споживачам за допомогою екомаркувань, екологічних декларацій про продукт (EPD) та іншими засобами. Прозора комунікація зміцнює довіру та допомагає споживачам робити зважений вибір.
8. Організації повинні регулярно відстежувати свій прогрес у досягненні цілей сталого розвитку та звітувати про свої досягнення. Прозора звітність забезпечує підзвітність організацій і демонструє прагнення до постійного вдосконалення.
9. Постійне вдосконалення ґрунтується на мисленні про життєвий цикл, яке підкреслює взаємозв'язок етапів продукту та заохочує цілісний підхід до сталого розвитку. Рішення, прийняті на одній стадії життєвого циклу, можуть впливати на інші стадії.

10. У міру того, як екологічні норми розвиваються, безперервне вдосконалення гарантує, що організації залишаються сумісними та адаптуються до мінливих вимог.

Переваги постійного вдосконалення ОЖЦ призводять до зменшення впливу на навколишнє середовище, підвищення ефективності та зменшення споживання ресурсів, підвищення конкурентної переваги, сприяє культурі довгострокової стійкості, гарантуючи, що організації залишатимуться адаптивними та стійкими перед обличчям мінливих екологічних і суспільних проблем. Загалом постійне вдосконалення ОЖЦ є динамічним і перспективним підходом, який заохочує організації використовувати ОЖЦ не лише як інструмент оцінки, але як каталізатор позитивних змін і рушійну силу стійких інновацій. Він узгоджується з принципами відповідального споживання та виробництва, викладеними в Цілях сталого розвитку ООН (ЦСР).

2.11 Залучення зацікавлених сторін

Залучення зацікавлених сторін (Stakeholder engagement) до оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) є важливою практикою, яка передбачає залучення широкого кола осіб, організацій і груп, які зацікавлені в процесі ОЖЦ та його результатах або на яких впливає процес. Залучення зацікавлених сторін допомагає переконатися, що дослідження ОЖЦ є надійними, прозорими та актуальними для тих, хто приймає рішення. Розглянемо етапи залучення зацікавлених сторін у ОЖЦ:

1. Визначення зацікавлених сторін - першим кроком у залученні зацікавлених сторін є визначення відповідних зацікавлених сторін для конкретного дослідження ОЖЦ. Зацікавленими сторонами можуть бути споживачі, виробники, державні установи, неурядові організації (НУО), промислові асоціації, екологічні групи, місцеві громади тощо. Кожна група зацікавлених сторін може мати різні інтереси, точки зору та проблеми, пов'язані з дослідженням ОЖЦ.
2. Розуміння занепокоєнь зацікавлених сторін - після визначення зацікавлених сторін дуже важливо зрозуміти їхні занепокоєння, очікування та цілі щодо дослідження ОЖЦ. Це передбачає проведення інформаційно-роз'яснювальної роботи та комунікаційних заходів для збору інформації та відгуків.
3. Прозорість є фундаментальним принципом залучення зацікавлених сторін. Практики ОЖЦ повинні надавати зацікавленим сторонам чітку та доступну інформацію про процес ОЖЦ, джерела даних, методології та припущення. Прозоре звітування гарантує, що зацікавлені сторони можуть зрозуміти й оцінити достовірність оцінки.
4. Ефективне залучення зацікавлених сторін передбачає двостороннє спілкування. Практики ОЖЦ повинні активно прислухатися до думки зацікавлених сторін, відповідати на запитання та вирішувати проблеми. Зацікавлені сторони, у свою чергу, повинні мати можливість надавати відгуки, ставити запитання та брати участь у процесі прийняття рішень.
5. Залучення зацікавлених сторін має бути інклюзивним, забезпечуючи залучення широкого та репрезентативного кола зацікавлених сторін. Це може вимагати зусиль, щоб охопити традиційно маргіналізовані або недостатньо представлені групи.
6. Співпраця із зацікавленими сторонами може призвести до більш надійних досліджень ОЖЦ та більш стійких результатів. Зацікавлені сторони можуть володіти цінними знаннями, даними або перспективами, які покращують якість оцінювання.
7. У деяких випадках залучення зацікавлених сторін може передбачати досягнення консенсусу або переговори для досягнення згоди щодо критичних питань або рішень, пов'язаних з дослідженням ОЖЦ.

Залучення зацікавлених сторін підвищує довіру до результатів ОЖЦ шляхом включення різноманітних точок зору та відгуків, демонстрації прозорості та зміцнення довіри між зацікавленими сторонами та гарантує, що дослідження ОЖЦ стосуються питань, які є актуальними та важливими для ключових зацікавлених сторін, що робить оцінку більш корисною для прийняття рішень.

Виявлення та вирішення проблем зацікавлених сторін на ранній стадії процесу ОЖЦ може допомогти зменшити репутаційні, регуляторні та бізнес-ризиків та з більшою ймовірністю приведуть до обґрунтованих і прийнятних рішень, оскільки зацікавлені сторони мають відчуття причетності до процесу. Співпраця із зацікавленими сторонами може призвести до інноваційних рішень і практик, які покращують екологічні та соціальні показники продуктів або процесів, що заохочує організації брати на себе відповідальність за свій екологічний і соціальний вплив і бути підзвітними ширшій спільноті інтересів. Залучення зацікавлених сторін у ОЖЦ узгоджується з принципами сталого розвитку та відповідальної ділової практики. Це допомагає подолати розрив між науковими оцінками та реальним впливом продуктів і систем, роблячи ОЖЦ більш потужним інструментом для сприяння сталому розвитку та відповідальному споживанню та виробництву.

2.12 Міждисциплінарний підхід

Міждисциплінарний підхід (The interdisciplinary approach) в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ) передбачає співпрацю експертів і професіоналів з різних галузей і дисциплін для проведення комплексної та цілісної оцінки екологічних, економічних і соціальних наслідків продуктів, процесів або систем. Він визнає, що ОЖЦ є міждисциплінарним заходом, який вимагає досвіду з різних областей, щоб забезпечити більш повне та інтегроване розуміння сталого розвитку.[11] [12] [20]

Міждисциплінарні команди ОЖЦ зазвичай включають експертів із різних дисциплін, таких як екологія, інженерія, економіка, соціологія, охорона здоров'я тощо. Кожна дисципліна привносить унікальні знання та перспективи для оцінювання. Міждисциплінарний ОЖЦ виходить за рамки суто екологічних міркувань і прагне інтегрувати економічні та соціальні аспекти в оцінку. Це включає оцінку економічних витрат, вигод і наслідків, а також врахування соціальних аспектів, таких як здоров'я людини, умови праці та добробут громади. Такий підхід має на меті забезпечити більш цілісне розуміння стійкості продукту чи системи. Вказаний підхід визначає: екологічні, економічні та соціальні фактори. Різні дисципліни можуть мати власні джерела даних і методології. Міждисциплінарні групи працюють над інтеграцією цих різноманітних наборів даних і підходів у послідовну структуру для оцінювання.

Міждисциплінарні практики ОЖЦ застосовують системне мислення для аналізу складних взаємодій протягом життєвого циклу продукту. Вони розглядають петлі зворотного зв'язку, непередбачені наслідки та динамічний характер систем. Метою міждисциплінарного ОЖЦ є надання особам, які приймають рішення, вичерпної інформації, яка може стати основою для стійкого вибору та дій. Це може включати рекомендації щодо редизайну продукту, удосконалення процесу або зміни політики. Міждисциплінарний ОЖЦ пропонує більш повну та тонку оцінку стійкості з урахуванням ширшого спектру екологічних, економічних і соціальних факторів, може виявити й усунути потенційні сліпі плями, упередження або обмеження, які можуть виникнути внаслідок однодисциплінарного підходу, надає особам, які приймають рішення, повніше уявлення про компроміси та синергію між різними вимірами сталого розвитку, що дозволяє приймати більш обґрунтовані та збалансовані рішення.

Залучення експертів із різних галузей може покращити залучення зацікавлених сторін шляхом вирішення ширшого кола проблем та інтересів. Міждисциплінарний підхід узгоджується з Цілями сталого розвитку ООН (ЦСР), які визнають взаємозалежність екологічної, економічної та соціальної сталості.

Міждисциплінарний ОЖЦ є важливим підходом для вирішення складних проблем сталого роз-

витку та для сприяння більш цілісному та інтегрованому розумінню екологічних і соціальних наслідків продуктів, процесів і систем. Він сприяє відповідальному споживанню та виробництву, враховуючи взаємозв'язок параметрів сталого розвитку та заохочуючи прийняття обґрунтованих рішень.

2.13 Висновки

Усі принципи, розглянуті в попередніх пунктах, є важливими та заслуговують на увагу в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ). Однак їхнє значення може змінюватись залежно від конкретних цілей, контексту та зацікавлених сторін, залучених до дослідження ОЖЦ. Немає єдиного «найважливішого» принципу, тому що ОЖЦ є гнучким інструментом, який можна адаптувати, який слід адаптувати до конкретних потреб і обставин кожного оцінювання.

Ось деякі міркування щодо важливості цих принципів:

1. Порівнянність має вирішальне значення, коли основною метою ОЖЦ є порівняння різних продуктів, процесів або систем для визначення найбільш екологічно стійкого варіанту. Це важливо для прийняття обґрунтованих рішень і сприяння конкуренції за сталість.
2. Аналіз чутливості має вирішальне значення для оцінки надійності результатів ОЖЦ і розуміння потенційної мінливості та невизначеності в оцінці. Це особливо важливо, коли особам, які приймають рішення, необхідно враховувати ризики та варіації.
3. Постійне вдосконалення має важливе значення для організацій, які прагнуть сталого розвитку та відповідального споживання та виробництва. Це гарантує, що процес ОЖЦ не закінчується оцінкою, а призводить до відчутних дій і покращень з часом.
4. Залучення зацікавлених сторін є значним, коли результати ОЖЦ використовуються для інформування про прийняття рішень у ширшому суспільному контексті. Залучення зацікавлених сторін допомагає зміцнити довіру, забезпечує відповідність і сприяє прийняттю відповідальних та інклюзивних рішень.
5. Міждисциплінарний підхід стає вирішальним при оцінці складних систем або продуктів з багатограним впливом. Це гарантує належний врахування всіх відповідних аспектів стійкості (екологічного, економічного, соціального).
6. Якість даних і прозорість є основоположними принципами ОЖЦ. Без високоякісних даних і прозорої звітності достовірність і надійність результатів ОЖЦ можуть бути скомпрометовані. Ці принципи є фундаментальними для всіх досліджень ОЖЦ.
7. Географічна та часова специфіка є важливою, коли регіональні чи часові варіації суттєво впливають на результати ОЖЦ. Ці принципи гарантують, що оцінювання точно відображає реальні умови та зміни з часом.
8. Обмірковування життєвого циклу лежить в основі всього процесу ОЖЦ і є необхідним для розуміння взаємозв'язку етапів життєвого циклу продукту та їхнього сукупного впливу.

Важливість цих принципів залежить від конкретних цілей дослідження ОЖЦ. Наприклад, якщо основною метою є покращення екологічних характеристик певного продукту, постійне вдосконалення може бути найважливішим принципом. Якщо мета полягає в тому, щоб інформувати рішення щодо державної політики, залучення зацікавлених сторін і порівнянність можуть мати пріоритет.

Зрештою, вибір і наголос на цих принципах має узгоджуватися з цілями ОЖЦ, залученими зацікавленими сторонами та ширшим контекстом, у якому проводиться оцінка. Найефективніші дослідження ОЖЦ ретельно розглядають і збалансовують ці принципи, щоб надати значущу та дієву інформацію щодо сталого розвитку.

Розділ 3

Оцінювання життєвого циклу сонячних панелей

3.1 Оцінювання життєвого циклу сонячних панелей



Рис. 3.1: Варіанти встановлення сонячних панелей

Оцінка циклу (LCA) сонячних панелей 3.1, яку часто називають PV (фотоелектричними) ОЖЦ, є комплексною оцінкою впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з усім життєвим циклом сонячних панелей. Ця оцінка враховує всі етапи існування сонячної панелі, починаючи від видобутку сировини, виробництва, транспортування, встановлення, використання, обслуговування та, зрештою, утилізації або переробки. Основною метою PV LCA (ОЖЦ) є визначення екологічної стійкості сонячних панелей і надання уявлення про те, як їх можна проектувати, виробляти та використовувати більш ефективно та з меншим впливом на навколишнє середовище.[21] [22] [23] Ось розбивка ключових етапів і аспектів, які зазвичай розглядаються в ОЖЦ сонячних панелей:

1. Видобуток сировини. Цей етап передбачає оцінку впливу на навколишнє середовище видобутку сировини, як-от кремнію, алюмінію та різних металів, необхідних для виробництва сонячних панелей. Він включає в себе оцінку енергоспоживання, викидів і виснаження ресурсів, пов'язаних з процесами видобутку та переробки.

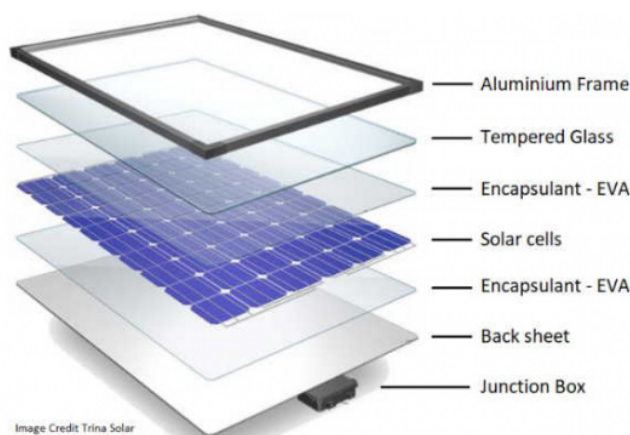


Рис. 3.2: Складові компоненти сонячної панелі

2. Виробництво. На етапі виробництва аналізується споживання енергії та ресурсів, викиди та утворення відходів, пов'язані з виробництвом сонячних панелей рис. 3.2. Цей етап включає виготовлення сонячних батарей, каркасів та інших компонентів.
3. Транспорт. Оцінка впливу на навколишнє середовище транспортування сировини, компонентів і готових сонячних панелей є важливим аспектом PV LCA (ОЖЦ). Це включає транспортування до та з виробничих потужностей, а також розподіл до місць встановлення.
4. Встановлення. На етапі встановлення рис. 3.3 оцінюються потреби в енергії та матеріалах, викиди та землекористування, пов'язані з встановленням сонячних панелей на дахах, наземних кріпленнях або інших установках.



Рис. 3.3: Встановлення сонячної панелі

5. Використання та технічне обслуговування рис. 3.4. на етапі експлуатації ОЖЦ враховує такі фактори, як виробництво енергії, ефективність системи та вимоги до поточного обслуговування. Оцінка енергетичного виходу сонячних панелей і терміну їх служби має вирішальне значення для розуміння їхньої довгострокової вигоди.



Рис. 3.4: Технічне обслуговування сонячних панелей

6. Завершення терміну служби та утилізація рис. 3.5. На цьому етапі розглядається вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з утилізацією, переробкою або повторним використанням сонячних панелей після закінчення терміну їх експлуатації. Належна переробка та утилізація можуть значно зменшити вплив на навколишнє середовище.



Рис. 3.5: Утилізація сонячних панелей

7. Енергія та викиди. Споживання енергії та викиди парникових газів, наприклад вуглекислого газу (CO₂), зазвичай є центральними показниками PV LCA (ОЖЦ). Оцінка того, скільки

енергії генерує система сонячних панелей у порівнянні з енергією, що втілюється в ній (енергія, необхідна для виробництва, транспортування тощо), має вирішальне значення для визначення її екологічних переваг.

8. Вичерпання ресурсів. Оцінка виснаження невідновлюваних ресурсів, таких як мінерали, що використовуються у виробництві сонячних панелей, є ще одним важливим аспектом ОЖЦ. Це допомагає визначити сфери, де можна підвищити ефективність використання ресурсів.
9. Категорії впливу на навколишнє середовище. PV LCA (ОЖЦ) часто розглядає різні категорії впливу на навколишнє середовище, включаючи зміну клімату, вплив на здоров'я людини, токсичність екосистеми тощо, щоб забезпечити комплексне уявлення про екологічні наслідки.

Дослідження PV LCA (ОЖЦ) спрямовані на кількісну оцінку цих аспектів за допомогою стандартизованих методологій і джерел даних для отримання надійних і порівнянних результатів. Отримані результати можуть бути використані політиками, виробниками та споживачами для прийняття обґрунтованих рішень щодо впровадження та розгортання сонячних панелей як джерела відновлюваної енергії.

Моделі оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) для сонячних панелей – це інструменти та методології, які використовуються для проведення комплексної оцінки впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з усім життєвим циклом сонячних панелей. Ці моделі допомагають дослідникам, фахівцям галузі та політикам оцінювати стійкість технології сонячних панелей і визначати можливості для вдосконалення. Кілька встановлених моделей (ОЖЦ) та баз даних зазвичай використовуються для оцінки сонячних панелей:

1. Бази даних PV LCA (ОЖЦ) - це різні організації та дослідницькі установи підтримують бази даних, що стосуються оцінки життєвого циклу фотоелектричних (PV) систем і сонячних панелей. Ці бази даних надають велику кількість даних та інформації, які можна використовувати для проведення ОЖЦ. Приклади:
 - База даних PV LCA (ОЖЦ): Ця база даних, якою керує Швейцарський центр інвентаризації життєвого циклу (SCLCI), містить дані інвентаризації життєвого циклу (LCI), пов'язані з фотоелектричними технологіями, включаючи кремнієві, тонкоплівкові та інші типи сонячних панелей.
 - Ecoinvent – це широко використовувана база даних для оцінки життєвого циклу. Він містить дані, пов'язані з виробництвом і використанням фотоелектричних систем, що робить його цінним для досліджень ОЖЦ сонячних панелей.
2. Simapro — популярний програмний інструмент для проведення оцінок життєвого циклу. Він включає бази даних і можливості моделювання, специфічні для сонячних панелей та інших екологічних оцінок. Simapro дозволяє користувачам створювати індивідуальні моделі ОЖЦ відповідно до їхніх конкретних потреб.
3. GaBi — ще один програмний інструмент ОЖЦ з базами даних і можливостями моделювання, придатним для оцінки сонячних панелей. Він пропонує зручний інтерфейс і гнучкість для створення індивідуальних моделей ОЖЦ.
4. ReSUS — це система моделювання, призначена для оцінки стійкості технологій відновлюваної енергії, зокрема сонячних панелей. Це інструмент із відкритим вихідним кодом, розроблений для полегшення досліджень ОЖЦ, специфічних для систем відновлюваної енергії.
5. Модель завдання 12 IEA-PVPS - це програми фотоелектричних енергетичних систем Міжнародного енергетичного агентства (IEA-PVPS) надає рекомендації та моделі для проведення оцінки життєвого циклу фотоелектричних систем, включаючи сонячні панелі. Він пропонує стандартизований підхід до оцінки стійкості PV.

Важливо зазначити, що вибір моделі ОЖЦ або бази даних залежить від конкретних вимог і цілей оцінювання. Дослідники та практики часто вибирають моделі на основі типу технології сонячних панелей, що вивчається, регіональних міркувань і бажаного рівня деталізації. Крім того, проведення аналізу чутливості та використання кількох моделей або баз даних може підвищити надійність і достовірність результатів ОЖЦ.

Під час проведення ОЖЦ для сонячних панелей важливо враховувати такі фактори, як якість даних, джерела даних, межі системи та припущення, щоб забезпечити точність і надійність оцінки. Співпраця з експертами в цій галузі та отримання останніх досліджень і джерел даних мають вирішальне значення для проведення значимих досліджень ОЖЦ.

Оцінка життєвого циклу сонячних панелей передбачає розгляд різних параметрів, які оцінюють їхній вплив на навколишнє середовище та економіку протягом усього життєвого циклу. Ось деякі з основних параметрів, які зазвичай використовуються в оцінці життєвого циклу (ОЖЦ) сонячних панелей, і коротке пояснення того, як їх обчислити:

1. Час окупності енергії (EPBT) – це час, потрібний системі сонячних панелей, щоб виробити стільки енергії, скільки було витрачено протягом усього життєвого циклу, включаючи виробництво, транспортування, установку та обслуговування.

Формула - обчисліть загальне споживання енергії (втілену енергію) протягом життєвого циклу системи сонячних панелей, включно з енергією, яка використовується під час виробництва, транспортування та встановлення. Потім розділіть це на річний обсяг енергії, що виробляється системою. EPBT виражається в роках.

2. Час окупності вуглецю (CPBT) подібний до EPBT, але зосереджується на часі, який потрібен системі сонячних панелей, щоб компенсувати викиди вуглекислого газу (CO₂), пов'язані з її виробництвом і роботою.

Формула - обчисліть загальні викиди CO₂, пов'язані з життєвим циклом системи сонячних панелей (включаючи виробництво, транспортування та встановлення). Поділіть це на річні викиди CO₂, яких уникне завдяки виробництву енергії системою сонячних панелей. CPBT виражається в роках.

3. Чистий енергетичний баланс (NEB) представляє різницю між енергією, виробленою системою сонячних панелей протягом усього терміну служби, та енергією, витраченою на її виробництво, транспортування, встановлення та обслуговування.

Формула - відніміть загальну вхідну енергію (втілену енергію) із загальної вихідної енергії (вироблення енергії) системи сонячних панелей протягом усього терміну служби. Позитивний NEB вказує на чистий приріст енергії.

4. Потенціал глобального потепління (GWP) - вимірює загальні викиди парникових газів (зазвичай в одиницях CO₂-еквівалента), пов'язані з усім життєвим циклом системи сонячних панелей.

Формула - обчисліть викиди в еквіваленті CO₂ на кожному етапі життєвого циклу, включаючи виробництво, транспортування, встановлення, використання та утилізацію в кінці терміну служби. Підсумуйте ці викиди, щоб визначити GWP.

5. Нормована вартість електроенергії (LCOE) – це фінансовий параметр, який оцінює вартість електроенергії, виробленої системою сонячних панелей протягом усього терміну служби. Він враховує всі витрати, включаючи встановлення, технічне обслуговування та будь-які стимули чи субсидії.

Формула - обчисліть теперішню вартість усіх витрат, пов'язаних із системою сонячних панелей, включаючи початкові інвестиції, витрати на експлуатацію, технічне обслуговування та

заміну, і розділіть це на загальну кількість електроенергії, виробленої протягом усього терміну експлуатації системи.

6. Матеріальна ефективність вимірює, наскільки ефективно ресурси та матеріали використовуються у виробництві та будівництві системи сонячних панелей.

Формула - порівняйте кількість матеріалів, які використовуються для виготовлення та будівництва сонячної панелі, з потужністю або терміном служби системи для генерування енергії. Вища матеріаломісткість свідчить про меншу витрату ресурсів.

7. Використання води - оцініть кількість води, яка використовується на етапах життєвого циклу системи сонячних панелей, включаючи виробництво та очищення.

Формула - обчисліть загальне споживання води для кожного етапу та виразіть його у відповідних одиницях (наприклад, літрах або кубічних метрах).

8. Економічний час окупності - цей параметр визначає, скільки часу потрібно, щоб економічні вигоди (наприклад, економія енергії або дохід від виробництва електроенергії) системи сонячних панелей компенсували початкові інвестиційні витрати.

Формула - Визначте річну економічну вигоду, отриману від системи сонячних панелей, і розділіть початкові інвестиційні витрати на ці річні вигоди. Економічний термін окупності виражається в роках.

Всі ці параметри дають комплексну оцінку екологічних та економічних показників сонячних панелей. Щоб точно розрахувати їх, дослідники часто покладаються на спеціальне програмне забезпечення та бази даних ОЖЦ, а також на детальні дані про споживання енергії, викиди, витрати та продуктивність систем сонячних панелей протягом усього їх життєвого циклу. Крім того, під час проведення оцінювання враховуйте такі фактори, як умови, пов'язані з місцевістю, і технологічні варіації.

Розглянемо приклади:

Варіант 1. Розрахуємо час окупності енергії (ЕРВТ) і час окупності вуглецю (СРВТ) для типової установки з сонячних панелей потужністю 100 кВт. ЕРВТ і СРВТ оцінюють, скільки часу потрібно сонячним панелям, щоб виробити стільки енергії та компенсувати стільки викидів вуглецю, скільки було витрачено протягом усього життєвого циклу.

Припущення:

- Загальне споживання енергії (втілена енергія) для системи сонячних панелей потужністю 100 кВт протягом життєвого циклу: 2 000 000 кВт-год (2 000 МВт-год).
- Річна потужність сонячної панелі потужністю 100 кВт: 150 000 кВт/год (150 МВт/год).
- Загальні викиди вуглекислого газу (CO₂), пов'язані з життєвим циклом системи сонячних панелей: 100 т (100 000 кг).
- Річні викиди CO₂, яких уникають завдяки виробництву енергії системою сонячних панелей: 15 т (15 000 кг).

Час окупності енергії (ЕРВТ) розраховується шляхом ділення загального споживання енергії на річний обсяг виробництва енергії.

$$\text{ЕРВТ} = \frac{\text{Загальне споживання енергії (МВт-год)}}{\text{річне виробництво енергії (МВт-год)}} = \frac{2000 \text{ МВт-год}}{150 \text{ МВт-год}} = 13,33 \text{ років}$$

Термін окупності енергії для системи сонячних панелей потужністю 100 кВт становить приблизно 13,33 року. Це означає, що сонячним панелям знадобиться близько 13,33 років роботи, щоб виробити стільки енергії, скільки було витрачено за весь життєвий цикл.

Час окупності вуглецю (CPBT) розраховується шляхом ділення загальних викидів CO₂, пов'язаних із життєвим циклом системи сонячних панелей, на річні викиди CO₂, яких вдалося уникнути завдяки виробництву енергії системою. $CPBT = \text{Загальні викиди CO}_2 \text{ (кг)} / \text{Річні уникнення викидів CO}_2 \text{ (кг)} = 100\,000 \text{ кг} / 15\,000 \text{ кг} = 6,67 \text{ років}$

Термін окупності викидів вуглецю для системи сонячних панелей потужністю 100 кВт становить приблизно 6,67 років. Це означає, що сонячним панелям знадобиться близько 6,67 років роботи, щоб компенсувати викиди вуглецю, які утворюються протягом усього життєвого циклу.

Розрахунки спрощено з метою демонстрації та базуються на гіпотетичних значеннях. На практиці розрахунки EPBT і CPBT вимагають більш детальних і конкретних даних, включаючи профілі виробництва енергії та коефіцієнти викидів. Крім того, інші параметри, такі як економічний час окупності системи та категорії впливу на навколишнє середовище (наприклад, потенціал глобального потепління), повинні бути розглянуті для комплексної оцінки встановлення сонячних панелей.

Оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) для встановлення сонячних панелей у житлових приміщеннях залежить від різних факторів, у тому числі ваших конкретних цілей, масштабу установки та місцевих норм. Ось деякі міркування, які допоможуть вам вирішити, чи потрібен ОЖЦ для житлової сонячної електростанції:

1. Масштаб установки. Невеликі житлові сонячні установки (зазвичай менше певної потужності, наприклад 10 кВт або менше) можуть не вимагати повномасштабного ОЖЦ, оскільки їхній вплив на навколишнє середовище, як правило, менший порівняно з більшими комерційними чи комунальними підприємствами. - масштабні проекти. Однак проведення спрощеної оцінки або використання доступних даних все одно може дати цінну інформацію.
2. Занепокоєння щодо впливу на навколишнє середовище. Якщо у вас є певні занепокоєння щодо впливу вашої житлової сонячної електростанції на навколишнє середовище або ви хочете переконаватися в її стійкості, проведення ОЖЦ може допомогти кількісно визначити викиди вуглецю системою, час окупності енергії та інші екологічні показники.
3. Місцеві нормативні акти. У деяких регіонах можуть існувати нормативні акти чи стимули, які заохочують або вимагають екологічної оцінки житлових сонячних установок, особливо для великих або підключених до мережі систем. Зверніться до місцевих органів влади, щоб дізнатися, чи є якісь особливі вимоги.
4. Екологічні цілі. Якщо у вас є особисті чи організаційні цілі сталого розвитку, ОЖЦ може допомогти вам оцінити, наскільки ваша сонячна установка відповідає цим цілям. Він також може керувати рішеннями щодо дизайну системи та матеріалів.
5. Прийняття рішень. ОЖЦ може допомогти прийняти обґрунтовані рішення щодо типу сонячних панелей, методів встановлення та технічного обслуговування, які мінімізують вплив на навколишнє середовище та максимізують енергоефективність.
6. Освіта та обізнаність. Проведення ОЖЦ для вашої житлової сонячної електростанції може бути освітньою можливістю. Це дозволяє краще зрозуміти екологічні аспекти відновлюваної енергії та спілкуватися з сусідами, членами громади або потенційними покупцями, щоб підвищити обізнаність про сталість.

Підводячи підсумок, хоча офіційні ОЖЦ частіше асоціюються з більш масштабними сонячними проектами, оцінка впливу житлової сонячної електростанції на навколишнє середовище все одно може бути корисною, особливо якщо у вас є конкретні цілі або проблеми щодо сталого розвитку. Обраний вами рівень оцінювання має відповідати вашим цілям і наявним ресурсам.

Розділ 4

Оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення

4.1 Оцінка життєвого циклу програмного забезпечення

Оцінка життєвого циклу програмного забезпечення (ОЖЦ) зосереджена на оцінці впливу на навколишнє середовище програмних систем, додатків або ІТ-рішень протягом усього життєвого циклу [24] [25] [26]. Ось кілька ключових аспектів і міркувань, пов'язаних із ОЖЦ програмного забезпечення:

1. Визначення оцінки життєвого циклу програмного забезпечення передбачає оцінку екологічних аспектів і впливу, пов'язаних із розробкою, розгортанням і використанням програмних продуктів або систем. Ця оцінка зазвичай включає наступні етапи:
 - оцінка впливу на навколишнє середовище діяльності з розробки програмного забезпечення, включаючи кодування, тестування та налагодження.
 - оцінка впливу на навколишнє середовище розгортання та інсталяції програмного забезпечення, що може передбачати споживання енергії та використання ресурсів на пристроях кінцевих користувачів.
 - аналіз впливу програмного забезпечення на навколишнє середовище під час фактичного використання з урахуванням енергоефективності, зберігання даних і роботи сервера.
 - вивчення екологічних наслідків утилізації програмного забезпечення, включаючи видалення даних і переробку чи утилізацію апаратного забезпечення.
2. Категорії впливу на навколишнє середовище ОЖЦ розглядає різні категорії впливу на навколишнє середовище, включаючи:
 - оцінку енергоспоживання програмного забезпечення протягом його життєвого циклу, включаючи роботу центру обробки даних, хмарні обчислення та енергоспоживання пристрою.
 - оцінку утворення електронних відходів у результаті утилізації програмного та апаратного забезпечення.
 - розрахунок викидів вуглецю, пов'язаних із розробкою, використанням і обслуговуванням програмного забезпечення.
 - аналіз споживання ресурсів, пов'язаних із розробкою програмного забезпечення та зберіганням даних.
3. Цілі та завдання Software ОЖЦ можуть включати:
 - виявлення можливостей зменшення впливу програмних систем на навколишнє середовище.

- інформування для прийняття рішень щодо розробки, розгортання та використання програмного забезпечення.
 - досягнення цілей сталого розвитку та екологічних обчислень.
 - підвищення обізнаності розробників і користувачів про вплив програмного забезпечення на навколишнє середовище
4. Методології та інструменти призначені для оцінки цифрових продуктів і послуг. Ці інструменти можуть враховувати такі фактори, як оптимізація коду, ефективність центру обробки даних і поведінка користувачів.
 5. Збір даних і моделювання вимагає співпраці між розробниками програмного забезпечення, операторами центрів обробки даних та експертами з охорони навколишнього середовища. Джерела даних можуть включати дані про енергоспоживання, специфікації обладнання та шаблони використання програмного забезпечення.
 6. Порівняльний аналіз і найкращі практики допоможуть організаціям визначити області для вдосконалення та встановити цілі сталого розвитку для своїх програмних продуктів.
 7. Міркування щодо хмарних обчислень, оскільки хмарні обчислення стають все більш поширеними, Software ОЖЦ має враховувати споживання енергії та вплив на навколишнє середовище, пов'язаний із центрами обробки даних і постачальниками хмарних послуг.
 8. Відповідність і сертифікація, деякі організації та галузі можуть вимагати дотримання екологічних стандартів і сертифікатів (наприклад, ISO 14001) для своїх програмних продуктів, що вимагає ОЖЦ програмного забезпечення.
 9. Постійне вдосконалення, як і традиційний ОЖЦ, програмний ОЖЦ сприяє постійному вдосконаленню. Розробники можуть застосувати висновки з оцінки для створення більш енергоефективних і стійких програмних рішень.
 10. Освіта та обізнаність Software ОЖЦ також може служити освітнім інструментом для підвищення обізнаності розробників програмного забезпечення, користувачів та організацій про вплив цифрових продуктів на навколишнє середовище.

Таким чином, оцінка життєвого циклу програмного забезпечення є цінним підходом для оцінки та покращення екологічної стійкості програмних продуктів та ІТ-рішень. Він відіграє вирішальну роль у вирівнюванні ІТ-індустрії з ширшими цілями сталого розвитку та екологічних обчислень.

Програмне забезпечення може впливати на навколишнє середовище різними способами, і його вплив на навколишнє середовище в основному виникає через споживання енергії та використання ресурсів, пов'язаних з його розробкою, розгортанням і використанням. Ось деякі з ключових способів впливу програмного забезпечення на навколишнє середовище:

1. Центри обробки даних, у яких розміщено програмне забезпечення та зберігають дані, потребують значної кількості електроенергії для своєї роботи. Це включає системи охолодження, сервери та мережеве обладнання. Джерела енергії, які використовуються для живлення центрів обробки даних, можуть мати суттєвий вплив на викиди парникових газів.
2. Програмне забезпечення, що працює на пристроях кінцевих користувачів (таких як комп'ютери, смартфони та планшети), споживає енергію, що впливає як на час роботи батареї пристрою, так і на потреби в енергії для заряджання.
3. Споживання енергії, пов'язане з програмним забезпеченням, як у центрах обробки даних, так і на пристроях кінцевих користувачів, сприяє викидам парникових газів. Це особливо важливо, якщо джерелом енергії є викопне паливо. Процеси розробки, тестування та розгортання

програмного забезпечення також сприяють викидам, особливо якщо вони передбачають інтенсивне використання сервера.

4. Розробка програмного забезпечення передбачає використання апаратних ресурсів (наприклад, комп'ютерів, серверів) і матеріалів (наприклад, кремній для мікросхем). Виробництво та утилізація цих ресурсів може призвести до виснаження ресурсів і утворення відходів.
5. Зберігання та обробка даних вимагає використання фізичних пристроїв зберігання та пам'яті, споживаючи такі ресурси, як рідкоземельні елементи та метали.
6. Застаріле програмне та апаратне забезпечення може призвести до утворення електронних відходів (електронних відходів), коли їх замінюють або викидають. Електронні відходи становлять небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я, якщо не поводитися належним чином і не перероблятися.
7. Програмні послуги часто покладаються на розгалужену серверну інфраструктуру, яка потребує великої кількості енергії та фізичного простору. Вплив серверних ферм і центрів обробки даних на навколишнє середовище може бути значним.
8. Передача даних, наприклад завантаження або потокове передавання вмісту через Інтернет, потребує енергії та може призвести до збільшення мережевого трафіку. Великі обсяги передачі даних сприяють споживанню енергії в центрах обробки даних та мережевій інфраструктурі.
9. Слід враховувати повний життєвий цикл програмного забезпечення, від розробки до завершення життєвого циклу. Це включає вплив на навколишнє середовище оновлень програмного забезпечення, виправлень і утилізації застарілого програмного забезпечення.
10. Поведінка користувача, наприклад неефективне використання програмного забезпечення або пристроїв (наприклад, залишення комп'ютерів увімкненими, коли вони не використовуються), може призвести до непотрібного споживання енергії та викидів.

Важливо зазначити, що вплив програмного забезпечення на навколишнє середовище може сильно відрізнятися залежно від таких факторів, як тип програмного забезпечення, його призначення, ефективність коду та джерела енергії, що використовуються. Крім того, методи розробки програмного забезпечення, такі як оптимізація коду та віртуалізація сервера, можуть значно зменшити споживання енергії та використання ресурсів. Приклад. Розглянемо як програмне забезпечення може впливати на навколишнє середовище. Для цього прикладу ми розглянемо широко використовуване програмне забезпечення: платформу потокового відео "Nx".

1. "Nx" використовує центри обробки даних для зберігання та доставки відеовмісту користувачам у всьому світі. Ці центри обробки даних вимагають значної кількості енергії для роботи, включаючи електроенергію для серверів, систем охолодження та мережевого обладнання. Споживання енергії центрами обробки даних сприяє викидам парникових газів, особливо якщо центри обробки даних працюють на викопному паливі. Вплив на навколишнє середовище також поширюється на видобуток і виробництво апаратних компонентів для серверів.
2. Коли користувачі транслюють відео на "Nx", дані передаються через Інтернет. Ця передача даних потребує енергії, а великі обсяги даних сприяють збільшенню мережевого трафіку. Енергія споживається під час передачі даних через мережі та в маршрутизаторах і комутаторах, які використовуються для доставки даних. Збільшення мережевого трафіку може призвести до збільшення споживання енергії мережевою інфраструктурою.
3. Користувачі отримують доступ до "Nx" на різних пристроях, таких як смартфони, комп'ютери, смарт-телевізори та планшети. Програмне забезпечення, що працює на цих пристроях, споживає енергію, що впливає на час роботи акумулятора та споживання енергії пристроєм.

Програмне забезпечення, запущене на пристроях користувача, може призвести до збільшення споживання електроенергії для заряджання та використання. Цей вплив залежить від ефективності пристрою та поведінки користувача.

4. Розробка та підтримка платформи “Nx” передбачає використання апаратних ресурсів і матеріалів, включаючи сервери, пристрої зберігання даних і центри обробки даних. Вичерпання ресурсів відбувається під час виготовлення апаратних компонентів. Коли апаратне забезпечення застаріває або його замінюють, воно сприяє утворенню електронних відходів (електронних відходів), якщо не належним чином обробляти та переробляти.
5. Щоб зменшити споживання енергії, платформи потокового відео “Nx” можуть використовувати методи оптимізації доставки вмісту, такі як кешування вмісту та адаптивне потокове передавання. Заходи з оптимізації можуть зменшити енергію, необхідну для передачі даних, покращуючи як досвід користувача, так і екологічність.
6. Деякі технологічні компанії, зокрема “Nx”, взяли на себе зобов’язання використовувати відновлювані джерела енергії для живлення своїх центрів обробки даних. Перехід на відновлювані джерела енергії зменшує вуглецевий слід, пов’язаний з діяльністю центрів обробки даних.

Важливо зазначити, що такі компанії часто вживають заходів, щоб мінімізувати свій вплив на навколишнє середовище. Вони інвестують в енергоефективні технології центрів обробки даних, беруть участь у програмах використання відновлюваних джерел енергії та впроваджують оптимізацію доставки контенту, щоб зменшити споживання енергії.

Google публікує щорічний екологічний звіт, який містить дані про споживання енергії та викиди вуглецю, пов’язані з програмним забезпеченням і роботою центру обробки даних. У звіті міститься уявлення про зусилля великої технологічної компанії щодо сталого розвитку. Він охоплює не лише апаратне забезпечення, але й програмні системи, які забезпечують роботу служб Google. Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure та інші, публікують звіти щодо сталого розвитку, в яких обговорюється вплив їхніх служб хмарних обчислень на навколишнє середовище. Ці звіти часто містять інформацію про енергоефективну конструкцію та роботу систем програмного забезпечення в центрах обробки даних.

Цей приклад ілюструє, як програмні додатки, навіть розважальні платформи, такі як потокове відео, можуть мати вимірний вплив на навколишнє середовище через роботу центру обробки даних, мережевий трафік і споживання енергії пристроєм користувача. Індустрія програмного забезпечення активно працює над зменшенням цього впливу за допомогою енергоефективних технологій і екологічних методів.

Оцінка життєвого циклу програмного забезпечення, коли воно перебуває на стадії розробки, передбачає створення обґрунтованих прогнозів на основі різних факторів, припущень і найкращих галузевих практик. Хоча неможливо з точністю передбачити точний життєвий цикл програмного продукту, розробники та організації можуть використовувати такі підходи, щоб зробити обґрунтовані оцінки:

1. Почніть із визначення обсягу та вимог до проекту програмного забезпечення. Зрозумійте цільове призначення, функціональні можливості та очікувану базу користувачів. Ця чіткість допомагає оцінити потенційну довговічність програмного забезпечення.
2. Проведіть дослідження ринку, щоб оцінити попит на програмне забезпечення та конкуренцію. Розуміти мінливі потреби та вподобання цільової бази користувачів. Ця інформація може надати уявлення про потенційний термін служби програмного забезпечення.
3. Розглянемо поточний стан технологій і тенденції розробки програмного забезпечення. Технології та мови програмування розвиваються з часом, і програмне забезпечення, розроблене за

допомогою застарілих технологій, може мати коротший життєвий цикл. Вибирайте технології з довговічністю та постійною підтримкою.

4. Враховуйте потребу в обслуговуванні та оновленнях. Програмне забезпечення потребує постійної підтримки для усунення помилок, уразливостей безпеки та проблем із сумісністю. Частота та тривалість обслуговування можуть впливати на тривалість життя програмного забезпечення.
5. Збирайте відгуки користувачів і адаптуйте програмне забезпечення відповідно до потреб користувачів. Програмне забезпечення, яке розвивається разом із введенням даних користувачами, швидше за все, матиме довший життєвий цикл, оскільки воно залишається актуальним і цінним.
6. Розробляйте програмне забезпечення з урахуванням стійкості та масштабованості. Добре архітектурне та модульне програмне забезпечення легше підтримувати та адаптувати до мінливих вимог з часом.
7. Розгляньте планування наприкінці життєвого циклу, включаючи міграцію даних, припинення підтримки та спілкування з користувачем. Знання того, як і коли грамотно припинити використання програмного забезпечення, важливо для управління його життєвим циклом.
8. Будьте в курсі галузевих і нормативних факторів, які можуть вплинути на життєвий цикл програмного забезпечення. Вимоги відповідності, технологічні стандарти та галузеві тенденції можуть впливати на довговічність програмного забезпечення.
9. Оцінити економічну доцільність програмного проекту. Оцініть рентабельність інвестицій (ROI) і економічну ефективність розробки. Прибуткове програмне забезпечення, швидше за все, матиме подовжений життєвий цикл.
10. Приведіть програмний проект у відповідність з довгостроковими стратегічними цілями. Подумайте, чи є програмне забезпечення критичним компонентом ширшої пропозиції продукту чи послуги. Стратегічне узгодження може вплинути на важливість і тривалість життя програмного забезпечення.
11. Постійно стежити за конкурентним ландшафтом. Нові учасники та революційні технології можуть вплинути на актуальність і довговічність існуючих програмних продуктів.
12. Відстежуйте зростання користувацької бази та рівень впровадження. Програмне забезпечення, яке отримує велику та віддану спільноту користувачів, швидше за все, матиме довший життєвий цикл.

Хоча ці міркування можуть допомогти оцінити життєвий цикл програмного забезпечення, важливо залишатися гнучким і адаптованим. Індустрія програмного забезпечення динамічна, і можуть відбутися несподівані зміни. Регулярно переоцінюйте позицію програмного забезпечення на ринку та його актуальність для користувачів, щоб приймати зважені рішення щодо його подальшого розвитку та підтримки.

Розділ 5

Використання програмного забезпечення SimaPro в задачах оцінювання життєвого циклу електротехнічного устаткування

SimaPro [27] є широко визнаним і потужним програмним інструментом для проведення оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) і відповідного аналізу екологічної стійкості. Він використовується професіоналами, дослідниками та організаціями в різних галузях промисловості для оцінки впливу на навколишнє середовище продуктів, процесів і систем, включаючи електричне обладнання.

Ось деякі ключові моменти щодо використання програмного забезпечення SimaPro в задачах ОЖЦ, пов'язаних з електрообладнанням:

1. SimaPro надає комплексну платформу для застосування різних методологій ОЖЦ та методів оцінки впливу. Користувачі можуть вибирати з різних баз даних ОЖЦ, таких як ecoinvent або GaBi, щоб отримати доступ до обширних даних інвентаризації життєвого циклу.
2. Користувачі можуть вводити дані, пов'язані з життєвим циклом електричного обладнання, включаючи дані про видобуток сировини, виробничі процеси, транспортування, фазу використання та утилізацію в кінці терміну служби. SimaPro пропонує інструменти для моделювання складних процесів життєвого циклу.
3. SimaPro полегшує оцінку впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з електричним обладнанням, включаючи споживання ресурсів, використання енергії, викиди в повітря та воду та інші відповідні категорії впливу.
4. Користувачі можуть порівнювати різні типи або моделі електричного обладнання, щоб оцінити, які варіанти мають менший вплив на навколишнє середовище. Це допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо дизайну продукту та закупівлі.
5. SimaPro дозволяє аналізувати сценарії, дозволяючи користувачам оцінювати вплив різних конструкцій, матеріалів, джерел енергії та методів експлуатації на загальну екологічну ефективність електрообладнання.
6. Програмне забезпечення створює вичерпні звіти та графічне представлення результатів ОЖЦ, що полегшує передачу результатів зацікавленим сторонам, таким як керівництво, клієнти або регуляторні органи.
7. Організації, які виробляють або використовують електричне обладнання, можуть використовувати SimaPro для підтримки зусиль з екологічної сертифікації, як-от екомаркування або екологічні декларації продукції (EPD).
8. На додаток до традиційного ОЖЦ, SimaPro можна використовувати для ширшої оцінки стійкості, враховуючи соціальні та економічні аспекти на додаток до екологічних факторів.

9. SimaPro має активну спільноту користувачів, і навчання та підтримка доступні від постачальника програмного забезпечення, PRé Consultants, щоб допомогти користувачам ефективно використовувати програмне забезпечення.
10. Програмне забезпечення регулярно оновлюється, а його бази даних розширюються та вдосконалюються відповідно до змін у даних про вплив на навколишнє середовище та методологіях.

Для конкретних завдань, пов'язаних з електричним обладнанням, SimaPro може допомогти оцінити вплив виробничих процесів на навколишнє середовище, споживання енергії на етапі використання та етапі утилізації в кінці терміну служби. Він також може бути використаний для виявлення можливостей для підвищення стійкості електричного обладнання за допомогою змін у конструкції, заміни матеріалів і заходів з енергоефективності.

Використання програмного забезпечення SimaPro для оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) включає в себе кілька етапів: від налаштування проекту до проведення оцінки та аналізу результатів. Ось загальний огляд використання SimaPro, більш детальну інформацію можливо переглянути на офіційному каналі компанії [28] та Центрі допомоги [29] [30].

1. Налаштування проекту - запустіть SimaPro і створіть новий проект. Визначте обсяг і цілі вашого дослідження ОЖЦ. Визначте функціональну одиницю (наприклад, окрему одиницю електрообладнання або певний період експлуатації), яку ви бажаєте оцінити рис. 5.1.

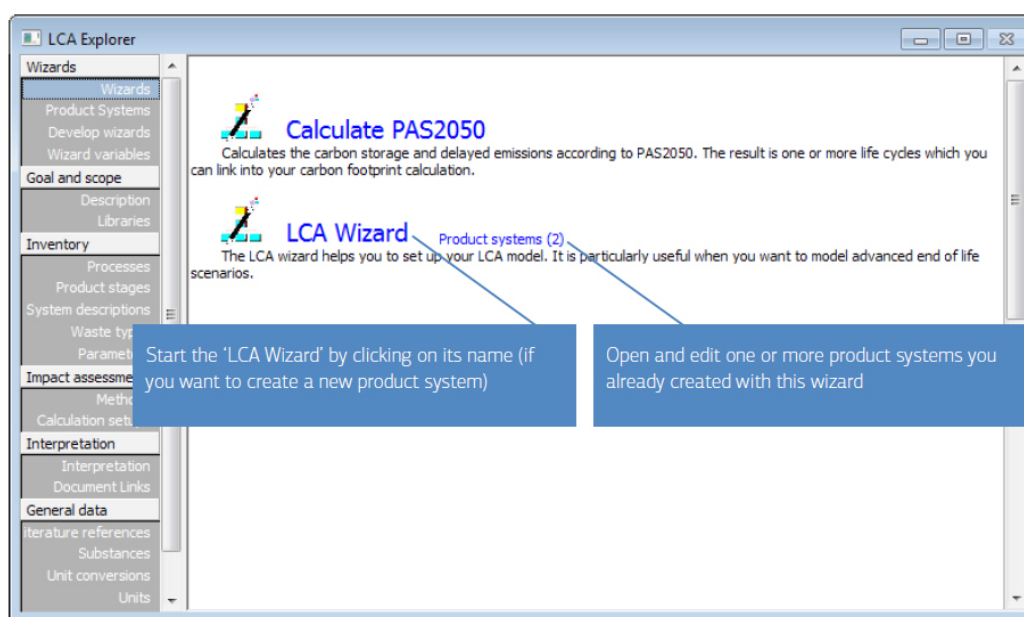


Рис. 5.1: Вікно майстра налаштувань SimaPro Analyst

2. Заповніть свій проект даними, що стосуються життєвого циклу електричного обладнання рис. 5.2. Це включає інформацію про видобуток сировини, виробничі процеси, транспортування, етап використання та сценарії завершення життєвого циклу. Ви можете вводити дані вручну або використовувати дані із зовнішніх джерел, наприклад баз даних ОЖЦ.

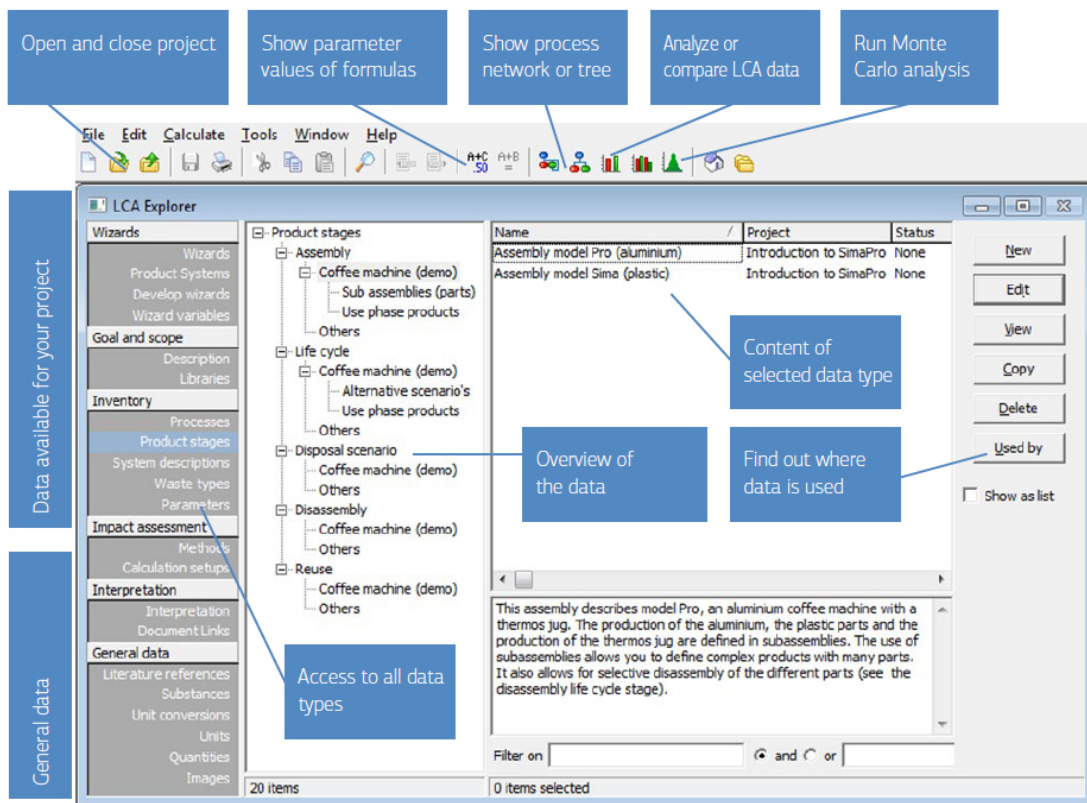


Рис. 5.2: Вікно інтерфейсу з вибору налаштувань SimaPro Analyst

3. Виберіть методи оцінки впливу, які найкраще відповідають вашим цілям. SimaPro підтримує різні методи кількісної оцінки впливу на навколишнє середовище, такі як методи ReCiPe, CML та Eco-Indicator. Ці методи перетворюють дані ОЖЦ в показники впливу для різних категорій навколишнього середовища.
4. Введіть конкретні дані для свого електрообладнання, зокрема використані матеріали, споживання енергії під час виробництва, відстані транспортування, енергоефективність на етапі використання та методи утилізації/переробки. Переконайтеся, що у вас є точні та актуальні дані для кожного етапу життєвого циклу рис. 5.3.

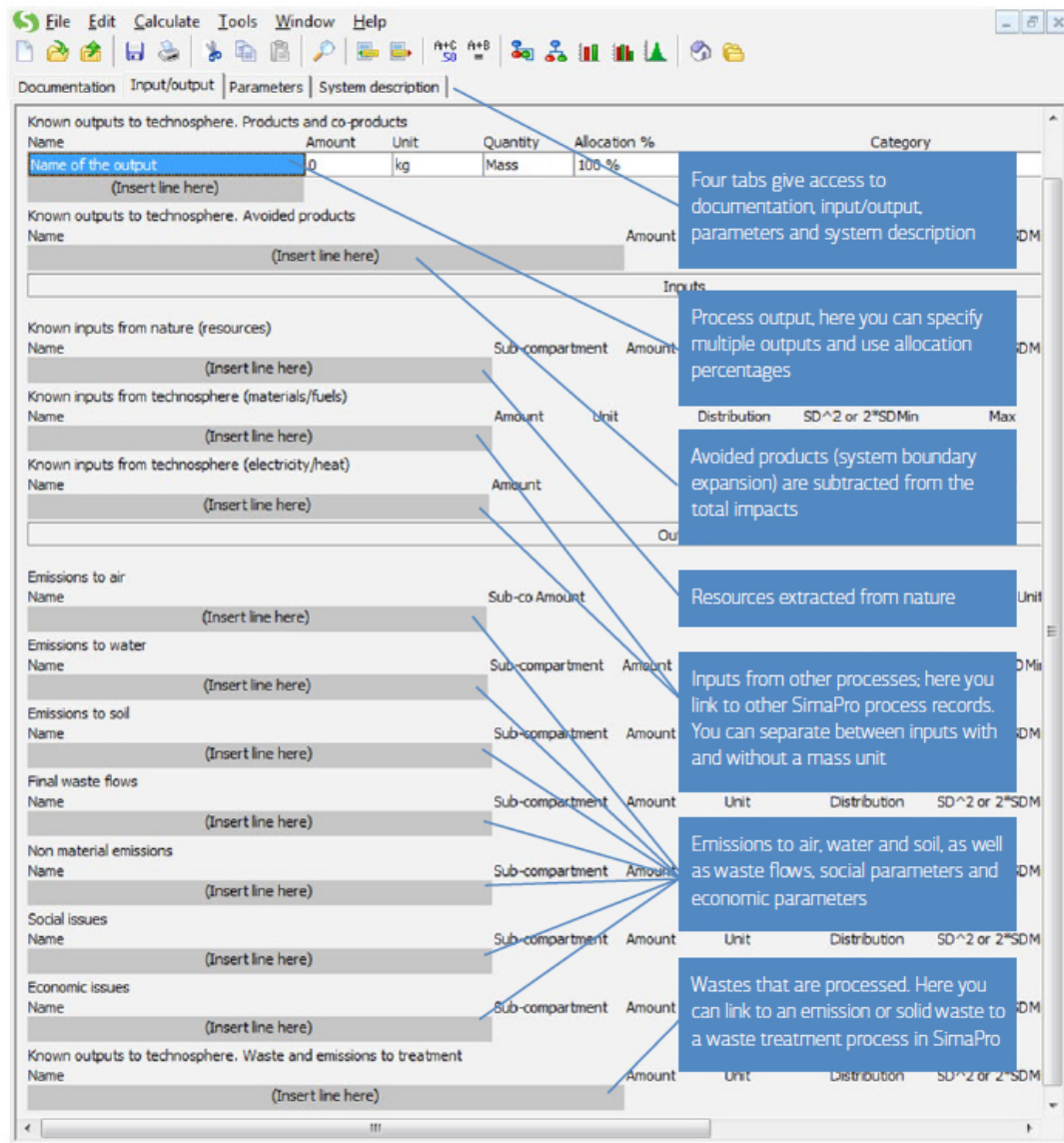


Рис. 5.3: Вікно майстра налаштувань процесів SimaPro Analyst.

5. Перевірте дані, щоб перевірити повноту та послідовність. SimaPro надає інструменти для перегляду та перевірки точності введених даних. рис. 5.4

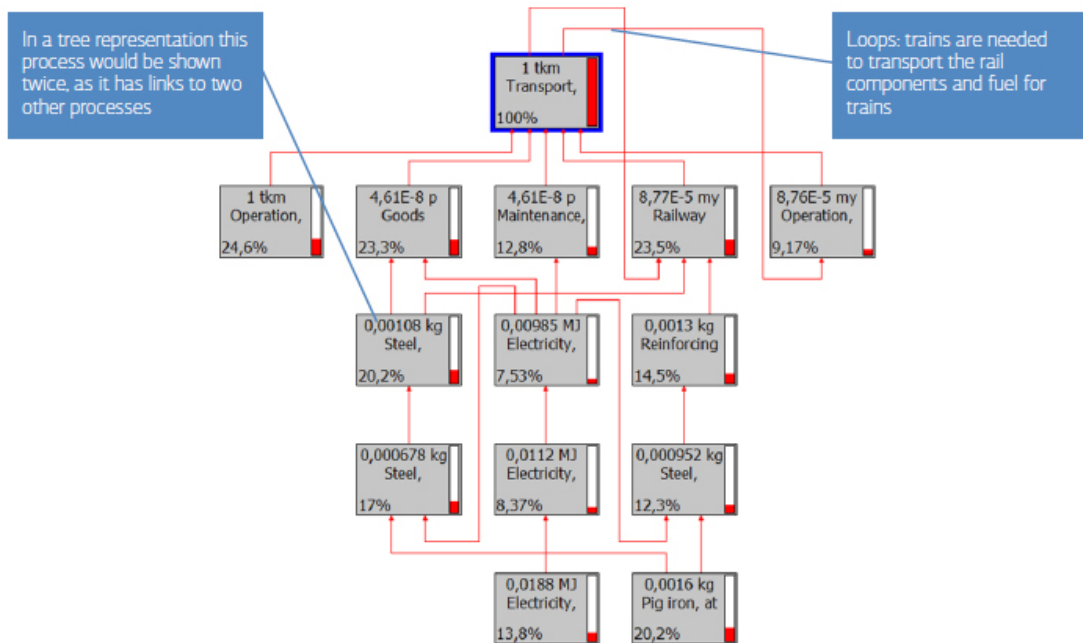


Рис. 5.4: Приклад мережі в SimaPro Analyst.

- Виконайте розрахунки ОЖЦ з використанням вибраних методів оцінки впливу. SimaPro обробить ваші дані та створить результати для різних категорій впливу на навколишнє середовище, таких як викиди вуглецю, використання води та споживання ресурсів рис. 5.5.

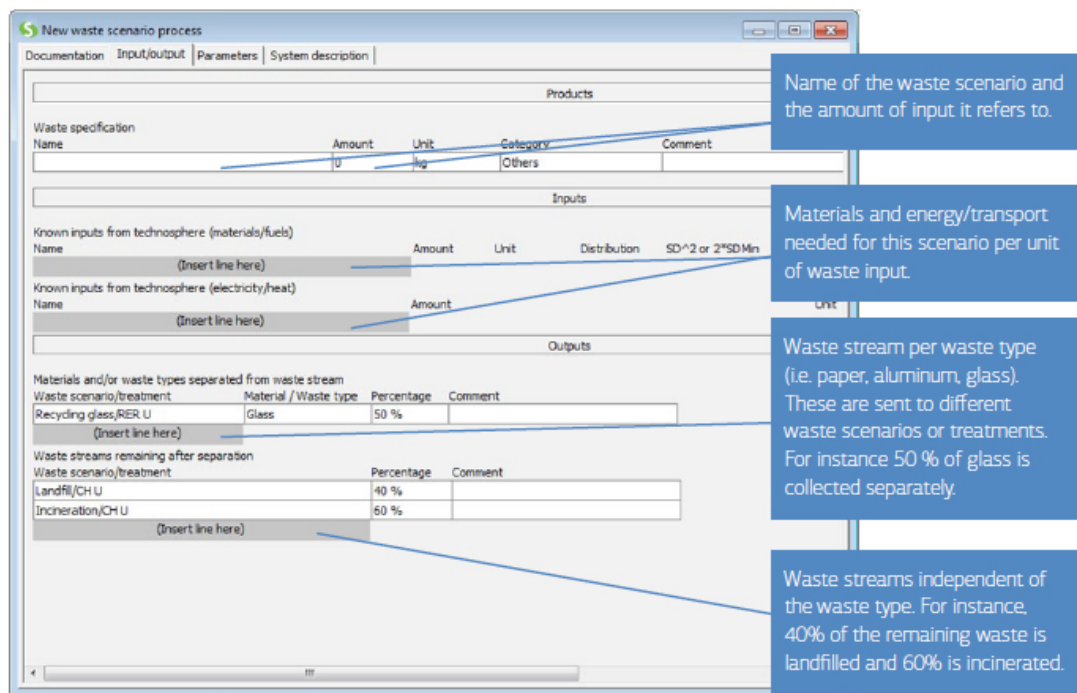


Рис. 5.5: Вікно сценаріїв відходів SimaPro Analyst.

- Аналізуйте результати ОЖЦ, щоб зрозуміти вплив електрообладнання на навколишнє середовище протягом усього його життєвого циклу. Визначте області з найбільшим впливом на навколишнє середовище та оцініть важливість різних етапів життєвого циклу.
- Проведіть аналіз чутливості, щоб оцінити вплив ключових параметрів або припущень на результати. Це допомагає визначити області, де невизначеність або мінливість можуть вплинути на результати ОЖЦ, рис. 5.6

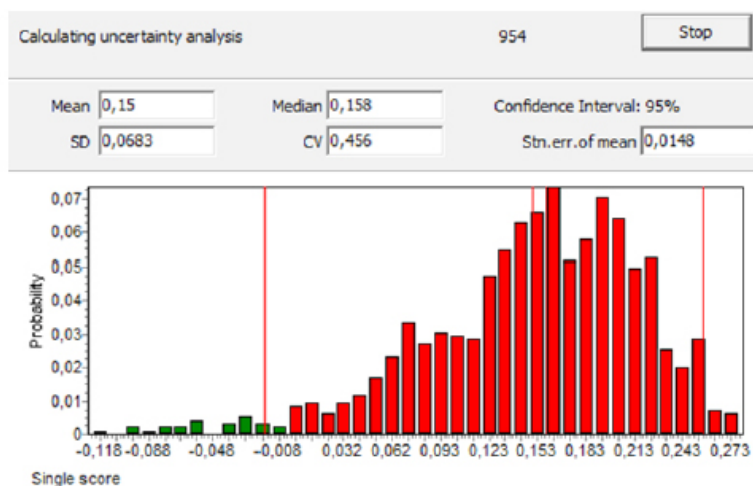


Рис. 5.6: Вікно статусу розрахунків SimaPro Analyst методом Монте Карло.

9. Створення комплексних звітів і візуалізацій результатів ОЖЦ. Ці звіти можна налаштувати, щоб ефективно донести результати до зацікавлених сторін рис. 5.7.

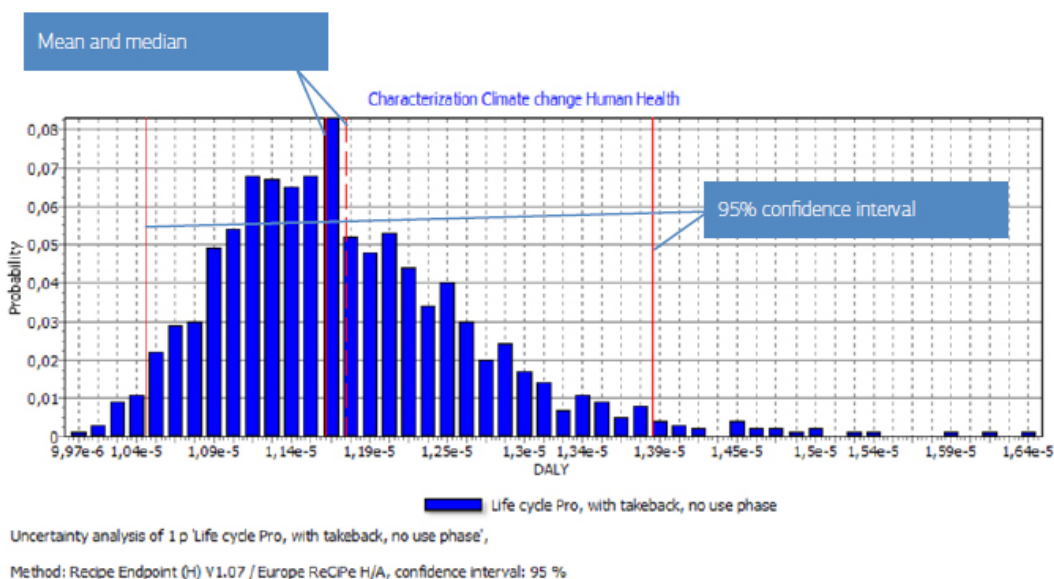


Рис. 5.7: Вікно графічного представлення результатів обчислень SimaPro Analyst.

10. На основі результатів ОЖЦ надайте обґрунтовані рекомендації щодо покращення екологічних характеристик електрообладнання. Розглянемо зміни конструкції, заміну матеріалів, заходи з енергоефективності або зміни в практиці експлуатації.
11. Використовуйте висновки ОЖЦ для постійного вдосконалення як з точки зору екологічної стійкості, так і загальної якості продукції.
12. Перш ніж завершити своє дослідження ОЖЦ, подумайте про те, щоб його перевірили або підтвердили експерти з методології ОЖЦ або науки про навколишнє середовище, щоб забезпечити точність і точність.

Пам'ятайте, що для ефективного використання SimaPro може знадобитися навчання та знайомство з принципами та методологією ОЖЦ. Також важливо мати доступ до надійних і актуальних даних для вхідних даних ОЖЦ. SimaPro пропонує підтримку та документацію, щоб допомогти

користувачам у вивченні та ефективному використанні програмного забезпечення, а для тих, хто шукає поглиблених знань, часто доступні навчальні курси.

Крім того, конкретні кроки та функції в SimaPro можуть відрізнятися залежно від версії та налаштування програмного забезпечення, тому ознайомлення з посібником користувача та звернення за порадою до досвідчених практиків ОЖЦ може бути корисним.

Важливо відзначити, що SimaPro є складним програмним інструментом, і знання методології ОЖЦ є важливим для його ефективного використання. Залежно від вашого рівня досвіду, вам може бути корисно навчання або консультації з експертами, які мають досвід ОЖЦ та SimaPro, щоб забезпечити точність і надійність ваших оцінок. Крім того, завжди намагайтеся використовувати високоякісні й актуальні джерела даних, щоб підвищити точність результатів ОЖЦ.

Література

- [1] Oneclicklca. “Life-cycle assessment for green building experts.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-explained/>.
- [2] ISO/TC 207/SC 5 Life cycle assessment. “ISO 14044:2006.” Accessed: September 24, 2023. (2006-7), url: <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- [3] ISO/TC 207/SC 3 Environmental labelling. “ISO 14025:2006.” Accessed: September 24, 2023. (2006-7), url: <https://www.iso.org/standard/38131.html>.
- [4] ISO/TC 207 Environmental management. “ISO/TR 14062:2002.” Accessed: September 24, 2023. (2002-11), url: <https://www.iso.org/standard/33020.html>.
- [5] ISO/TC 207 Environmental management. “IEC 62430:2019.” Accessed: September 24, 2023. (2019-10), url: <https://www.iso.org/standard/79064.html>.
- [6] ISO/TC 301 Energy management and energy savings. “ISO 50001:2018.” Accessed: September 24, 2023. (2018-08), url: <https://www.iso.org/standard/69426.html>.
- [7] IEEE. “Standards IEEE.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://standards.ieee.org/>.
- [8] E. Star. “Energy Star.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://www.energystar.gov/>.
- [9] ”ДП УкрНДНЦ”. “Національний орган стандартизації ДП ”УкрНДНЦ .” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <http://uas.gov.ua/>.
- [10] ”ДЕРЖПРОДСПОЖИВСЛУЖБА”. “Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів .” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://dpss.gov.ua>.
- [11] R. Horne, T. Grant та K. Verghese, *Life Cycle Assessment: Principles, Practice, and Prospects*. CSIRO Pub., 2009, ISBN: 9780643094529. url: https://books.google.com.ua/books?id=12o_EjzLtTgC.
- [12] O. Hanssen, H. Møller, E. Svanes та V. Schakenda, “Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products,” в листоп. 2012, с. 345—367, ISBN: 9781118099728. DOI: 10.1002/9781118528372.ch16.
- [13] P. Garrett та K. Rønde, “Life cycle assessment of wind power: Comprehensive results from a state-of-the-art approach,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, т. 18, січ. 2012. DOI: 10.1007/s11367-012-0445-4.
- [14] A. Sharma, A. Saxena, M. Sethi, V. Shree та V. Goel, “Life cycle assessment of buildings: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, т. 15, с. 871—875, січ. 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2010.09.008.
- [15] S. Kara, C. Herrmann та M. Hauschild, “Operationalization of life cycle engineering,” *Resources, Conservation and Recycling*, т. 190, с. 106 836, бер. 2023. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106836.
- [16] Ecochain. “Driving Sustainable Decision Making.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://ecochain.com/case-studies/environmental-footprint-of-philips/>.
- [17] Ecochain. “LCA Webinar – LCA for Beginners.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://ecochain.com/webinars/lca-webinar-recording-lca-for-beginners/>.

-
- [18] S. Barbhuiya та B. B. Das, “Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making,” *Case Studies in Construction Materials*, т. 19, e02326, 2023, ISSN: 2214-5095. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523005065>.
- [19] Ecochain. “Life Cycle Assessment (LCA).” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://ecochain.com/blog/life-cycle-assessment-lca-guide/>.
- [20] Ecochain. “LCA Webinar – Data Collection.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://ecochain.com/webinars/webinar-recording-data-collection-in-footprinting/>.
- [21] Ecochain. “LCA Webinar – Making Credible Environmental Claims.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://ecochain.com/webinars/lca-webinar-how-to-make-credible-environmental-claims/>.
- [22] S. Gerbinet, S. Belboom та A. Léonard, “Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, т. 38, с. 747—753, 2014, ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.043>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211400495X>.
- [23] V. Piemonte, M. De Falco, P. Tarquini та A. Giaconia, “Life Cycle Assessment of a High Temperature Molten Salt Concentrated Solar Power Plant,” *Solar Energy*, т. 85, с. 1101—1108, трав. 2011. DOI: [10.1016/j.solener.2011.03.002](https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.03.002).
- [24] N. Ullrich, F. M. Piontek, C. Herrmann, A. Saraev та T. Viere, “Estimating the resource intensity of the Internet: A meta-model to account for cloud-based services in LCA,” *Procedia CIRP*, т. 105, с. 80—85, 2022, The 29th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, April 4 – 6, 2022, Leuven, Belgium., ISSN: 2212-8271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.014>. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122000142>.
- [25] R. Itten, R. Hischier, A. Andrae та ін., “Digital transformation—life cycle assessment of digital services, multifunctional devices and cloud computing,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, т. 25, серп. 2020. DOI: [10.1007/s11367-020-01801-0](https://doi.org/10.1007/s11367-020-01801-0).
- [26] R. Hischier та P. Wäger, “The Transition from Desktop Computers to Tablets: A Model for Increasing Resource Efficiency?” В серп. 2014, т. 310, ISBN: 978-3-319-09227-0. DOI: [10.1007/978-3-319-09228-7_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_14).
- [27] SimaPro. “LCA software for informed changemakers.” Accessed: September 24, 2023. (2023), url: <https://simapro.com/>.
- [28] SimaPro. “You Tube channel”SimaPro .” Accessed: September 24, 2023. (2012), url: <https://www.youtube.com/@SimaPro-software/featured>.
- [29] SimaPro. “ISimaPro Tutorial.” Accessed: September 24, 2023. (2016), url: <https://support.simapro.com/s/article/SimaPro-Tutorial>.
- [30] SimaPro. “ISimaPro Tutorial.” Accessed: September 24, 2023. (2016), url: <https://pre-sustainability.com/files/2014/05/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>.