

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РЕСУРСООЩАДНОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОДУКТУ

Комариста Б.М., Бендюг В.І.

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
пр-т Перемоги, 37, 03056, м. Київ
angel2nika@gmail.com

Запропоновано в рамках оцінювання життєвого циклу продукту враховувати загальний рівень ефективності використання ресурсів, які були витрачені на виготовлення одиниці продукції, кількість сировинних ресурсів. Запропоновано застосувати індекс часу корисного використання продукту та індекс утворення відходів. *Ключові слова:* життєвий цикл, оцінка життєвого циклу продукту, ресурсоефективність, індексна оцінка.

Определение уровня ресурсосбережения жизненного цикла продукта. Комариста Б.М., Бендюг В.И. Предложено в рамках оценки жизненного цикла продукта учитывать общий уровень эффективности использования ресурсов, которые были потрачены на изготовление единицы продукции, количество сырьевых ресурсов. Предложено применить индекс времени полезного использования продукта и индекс образования отходов. *Ключевые слова:* жизненный цикл, оценка жизненного цикла продукта, ресурсоэффективность, индексная оценка.

Determining the resource-saving level of the product lifecycle. Komarysta B., Bendyug V. It is proposed to take into account the overall level of efficiency of the use of resources spent on the production of a unit of production, the amount of raw materials, in the framework of the product life cycle assessment. It is suggested to use the index of useful product use time and waste index. *Keywords:* lifecycle, product lifecycle assessment, resource efficiency, index estimation.

З розвитком виробництва і зростання масштабів господарської діяльності людина використовує дедалі більшу кількість природних ресурсів, що зумовлює посилення антропогенного тиску на довкілля та порушення рівноваги в навколишньому природному середовищі. Одночасно, це призводить до загострення соціально-економічних проблем, вичерпання запасів невідновлюваних сировинних та енергетичних ресурсів, посилення забруднення довкілля, особливо водних ресурсів та атмосферного повітря, зменшення площі лісів і родючих

земель, зникнення окремих видів рослин, тварин тощо [1]. Це впливає на природно-ресурсний потенціал сучасного виробництва і негативно позначається на здоров'ї людини.

Відповідно до концепції сталого розвитку (СР) підприємства повинні прагнути до впровадження стійко функціонуючих високотехнічних, екологічно безпечних технологій, здатних забезпечувати випуск продукції, яка задовольняє вимоги міжнародних стандартів шляхом врахування всіх стадій життєвого циклу (ЖЦ) продукції, в тому числі використання ресурсів, споживання продуктів та

їх утилізації. Актуальність проблеми охорони навколишнього середовища (НС) та вивчення можливих впливів, пов'язаних з виготовленням і споживанням продукції, зумовлює необхідність розробки методів, спрямованих на зниження цих впливів, одні з них є оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) [2].

Метод ОЖЦ перебуває на ранній стадії розробки, що вимагає вивчення практичного досвіду і важливо правильно інтерпретувати і відповідно застосовувати результати ОЖЦ. Актуальним є проведення досліджень різних стадій ЖЦ та методичного забезпечення оцінки впливу ЖЦ продукту на НС [3,4].

Індекс ресурсоефективності

Для оцінювання життєвого циклу продукту (ЖЦП) необхідно врахувати загальний рівень ефективності використання ресурсів, які були витрачені на виготовлення одиниці продукції [1], визначити відсоток задіяної сировини для перетворення її на кінцеву продукцію, час корисного використання одержаного продукту та способу його утилізації по завершенню часу свого корисного використання.

Для оцінки ресурсоефективності етапу виробництва продукту в рамках оцінки екологічної складової ЖЦ продукту пропонується враховувати кількість сировинних ресурсів, необхідних для виробництва одиниці продукції за допомогою розробленого індексу ресурсоефективності (1):

$$J_{REF} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{RWM_i}}{m_{PRD} \cdot n}, \quad (1)$$

де J_{REF} – індекс ресурсоефективності (resource efficiency index); m_{PRD} – маса одиниці продукції, кг;

M_{RWM_i} – маса сировини i -го виду, що була витрачена на виготовлення одиниці продукції, за одиницю часу, кг/доба; n – кількість одиниць продукції, які виготовлені за одиницю часу, доба⁻¹.

Більше значення J_{REF} відповідає гіршому рівню ефективності використання сировинних ресурсів при виготовленні продукту. Дуже високим рівнем ресурсоефективності пропонуємо вважати технологічну систему, в якій на одиницю виготовленої продукції припадає менше, ніж двократне перевищення за масою витрачених на виготовлення продукту сировинних ресурсів. Дуже низьким рівнем ресурсоефективності будемо вважати десятикратне та більше перевищення за масою витрачених сировинних ресурсів для одержання одиниці продукції. Для оцінки рівня ресурсоефективності з використанням індексу J_{REF} пропонуємо використати шкалу (табл. 1).

Таблиця 1
Залежність значення J_{REF}
від рівня ефективності
використання сировини

$J_{REF} < 2$	дуже високий
$2 \leq J_{REF} < 5$	високий
$5 \leq J_{REF} < 7$	середній
$7 \leq J_{REF} < 10$	низький
$J_{REF} \geq 10$	дуже низький

На основі індексу ресурсоефективності для приведення індексів до єдиної шкали оцінювання ЖЦП з межами від 0 до 1 пропонуємо використати унітарний індекс ресурсоефективності (unitary index resource efficiency) I_{RSE} , утворений за допомогою функції бажаності Харінгтону (2):

$$I_{RSE} = \exp(-\exp(\alpha - \beta \cdot J_{REF})), \quad (2)$$

де $\alpha = 1,266$ та $\beta = 3,952 \cdot 10^{-1}$ – емпіричні коефіцієнти.

Наближення унітарного індексу ресурсоефективності до 1 відповідає значному збільшенню витрати сировинних ресурсів для виготовлення одиниці продукції.

Індекс часу корисного використання

Для урахування часу розкладу в природі складових продукту та часу корисного використання продукту пропонуємо застосувати залежність (3):

$$J_{ULF} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{DCM_i}}{t_{LFT} \cdot n}, \quad (3)$$

де $J_{ULF} J_{ULF}$ індекс часу корисного використання продукту (useful life index); $t_{LFT} J_{ULF}$ час служби продукції, років; $t_{DCM_i} J_{ULF}$ час повного розкладу в природі i -го складового компоненту продукту, років; n – кількість складових з тривалим часом розкладу в природі.

Дуже високим часом корисного використання продукту пропонуємо вважати ті випадки, коли середній час розкладу в природі складових продукту менше, ніж вдвічі перевищує термін корисного використання одиниці продукції. Дуже низьким часом корисного використання пропонуємо прийняти випадки, коли час розкладу складових продукту в природі вдесятеро та більше перевищує термін служби продукту. Згідно з цим побудовано шкалу оцінки часу корисного використання продукту на основі індексу $J_{ULF} J_{ULF}$ табл. 2).

Таблиця 2

Залежність значення J_{ULF} від часу розкладу продукту в природі

$J_{ULF} < 2$	дуже низький
$2 \leq J_{ULF} < 4$	низький
$4 \leq J_{ULF} < 8$	середній
$8 \leq J_{ULF} < 10$	високий
$J_{ULF} \geq 10$	дуже високий

З урахуванням індексу часу корисного використання продукту отримуємо унітарний індекс часу корисного використання продукту (unitary useful life index) I_{USF} шляхом переведення його до єдиної безрозмірної шкали оцінювання з інтервалом можливих значень індексу від 0 до 1 згідно залежності (4):

$$I_{USF} = \exp(-\exp(\delta - \gamma \cdot J_{ULF})), \quad (4)$$

де $\delta = 1,135$ та $\gamma = 3,293 \cdot 10^{-1}$ – емпіричні коефіцієнти.

Чим ближче значення унітарного індексу часу корисного використання продукту до 1, тим гірше співвідношення часу використання продукту до часу його розкладу у природі.

Індекс утворення відходів

Відходи, які утворюються під час виробництва одиниці продукції, а також сам продукт після завершення строку експлуатації можуть використовуватись як вторинна сировина для виробництва інших видів продукції або утилізуватись – захоронюватись на відповідних полігонах або спалюватись на сміттєспалювальних заводах.

Утворення відходів під час виробництва одиниці продукції потрібно враховувати при оцінці ЖЦП. По завершенню часу корисного викори-

стання необхідно врахувати утилізацію продукту, бо вона безпосередньо є останньою стадією ЖЦ продукту.

Відходи за одиницю часу (доба) на одиницю продукту (кількість одиниць продукту виготовлена за той самий час) оцінюємо з використанням коефіцієнту утворення відходів (5):

$$k_{WST} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{WST_i}}{m_{PRD} \cdot l}, \quad (5)$$

де M_{WST_i} – маса i -го виду відходів, які утворюються при виробництві продукту за одиницю часу (доба), кг; m_{PRD} – маса одиниці продукції, кг (при неможливості визначення маси продукту, m_{PRD} приймається рівною 1); l – кількість одиниць продукту, які виготовляються за одиницю часу (доба); n – кількість видів відходів.

Для оцінки рівня утворення відходів на стадії ЖЦ як при виробництві продукту, так і на стадії його утилізації з урахуванням можливості вторинної переробки, повторного використання чи захоронення, пропонуємо застосувати індекс утворення відходів (6):

$$J_{WSG} = \frac{k_{WST} (2 + k_{RCL}) (k_{DSP} + 0,25[1 - k_{DSP}])}{0,5 + k_{RCL}}, \quad (6)$$

де J_{WSG} – індекс утворення відходів (waste generation index); k_{WST} – коефіцієнт (доля) утворення відходів; k_{RCL} – коефіцієнт вторинної переробки, доля продукту, яка підлягає вторинній переробці, використанню в якості вторинної сировини; k_{DSP} – коефіцієнт захоронення, доля відходів, утворених під час виробництва продукту, яка підлягає захороненню на відповідних полігонах або спалюванню на сміттєспалювальних заводах.

Рівень утворення відходів пропонуємо вважати дуже низьким у

випадку майже повної вторинної переробки утворених відходів, при цьому значення індексу J_{WSG} буде близьким 1. Необхідність захоронення утворених відходів та неможливість їх вторинного використання підвищують значення індексу J_{WSG} . В разі необхідності повного захоронення всіх утворених відходів та двократного перевищення маси утворених відходів над масою продукту значення індексу J_{WSG} прийме значення 8, цей рівень утворення відходів будемо вважати дуже високим. Згідно з цим пропонуємо використати шкалу для градації рівня відходів за одержаними значеннями індексу J_{WSG} (табл. 3).

Таблиця 3

Залежність значення J_{WSG}
від рівня утворення відходів

Величина індексу J_{WSG}	Рівень утворення відходів
$J_{WSG} < 0,5$	дуже низький
$0,5 \leq J_{WSG} < 2$	низький
$2 \leq J_{WSG} < 4$	середній
$4 \leq J_{WSG} < 8$	високий
$J_{WSG} \geq 8$	дуже високий

Більше значення індексу утворення відходів відповідає більшому рівню утворення відходів протягом ЖЦП.

Оцінка ступеня утворення відходів під час ЖЦ продукту за єдиною безрозмірною шкалою проводиться за допомогою унітарного індексу утворення відходів I_{WST} (unitary index of waste generation) (7):

$$I_{WST} = \exp(-\exp(\eta - \lambda \cdot J_{WSG})), \quad (7)$$

де $\eta = 6,077 \cdot 10^{-1}$ та $\lambda = 2,635 \cdot 10^{-1}$ – емпіричні коефіцієнти.

Значення унітарного індексу I_{WST} лежать в межах від 0 до 1. Наближення значення унітарного індексу утворення відходів до одиниці відповідає більшому рівню утворення відходів протягом ЖЦП.

Унітарний індекс ефективності використання природних ресурсів

Для оцінки загального рівня витрат на утилізацію та переробку продукту та відходів, які утворені на етапі його виробництва, і ефективності використання ресурсів на основі унітарних індексів пропонуємо застосовувати унітарний індекс ефективності використання природних ресурсів. Цей індекс утворений за допомогою узагальненої функції бажаності Харінгтону (8):

$$I_{ENR} = (I_{RSE} \cdot I_{USF} \cdot I_{WST})^{1/3}, \quad (8)$$

де I_{ENR} – унітарний індекс ефективності використання природних ресурсів (unitary index of efficient use of natural resources); I_{RSE} – унітарний індекс ресурсоефективності; I_{USF} – унітарний індекс часу корисного використання продукту; I_{WST} – унітарний індекс утворення відходів.

Таблиця 4

Залежність значення I_{ENR} від рівня ефективності використання природних ресурсів

Величина індексу I_{ENR}	Рівень ефективності використання природних ресурсів
$0 \leq I_{ENR} < 0,2$	дуже високий
$0,2 \leq I_{ENR} < 0,37$	високий
$0,37 \leq I_{ENR} < 0,63$	середній
$0,63 \leq I_{ENR} < 0,8$	низький
$0,8 \leq I_{ENR} < 1$	дуже низький

Рівень ефективності використання природних ресурсів у межах оцінювання ЖЦ продукту оцінюється залежно від значення індексу I_{ENR} за шкалою (табл. 4).

Чим ближче значення унітарного індексу ефективності використання природних ресурсів I_{ENR} до 1, тим більше витрат та ресурсів потрібно для утилізації одиниці продукції та відходів, які утворюються на етапі виробництва одиниці продукції та тим менш ефективно були використані ресурси у цьому ЖЦ продукті.

Висновки

Оцінювання ресурсоощадності є одним із екологічних критеріїв оцінки ЖЦ продукту. Оцінювання екологічності ЖЦ продукту необхідне при розробленні та впровадженні екологічних стандартів, які дозволять визначити переваги певної категорії продукції чи послуг відносно їх впливів на стан довкілля та здоров'я людини протягом ЖЦ. Екологічний стандарт на продукцію певної категорії є добровільним і встановлює додаткові екологічні вимоги - екологічні критерії до тих, що встановлені чинним законодавством. Відповідність екологічним критеріям є підтвердженням екологічної переваги продукції. Оцінка ресурсоефективності ЖЦ продукту може застосовуватись при екологічному маркуванні товарів. Основні положення та принципи розробки екологічних критеріїв визначені міжнародним стандартом ISO 14024 (ДСТУ ISO 14024) «Екологічні маркування та декларації – Екологічне маркування I типу – Принципи та методи» [5]. Згідно стандарту об'єктами стандартизації є харчові продукти, товари, вироби, матеріали та послуги, їх складники і

впливи на стан довкілля та здоров'я на усіх етапах життєвого циклу.

В Україні, як і в усьому світі, розроблення, розгляд та погодження міжнародних (регіональних), національних та інших стандартів покладаються на технічні комітети стандартизації за закріпленою сферою діяльності.

Розроблену нами методику можна застосовувати як для здійснення екологічного маркування продукту у сфері ресурсоефективності його життєвого циклу в рамках роботи комітетів з екологічної стандартизації, так і для пошуку можливостей підвищення рівня екологічності ЖЦ продукту.

Література

1. Маковецька Ю. М. Оцінювання життєвого циклу продукції як інструмент впливу на мінімізацію відходів [Електронний ресурс] / Ю. М. Маковецька // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка", Дніпропетровськ, 2012, №11. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1529>
2. Бендюг В.І. Екологічний контроль у життєвому циклі продукту / В.І. Бендюг, Б.М. Комариста // V Міжнародна науково-практична конференція «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды», 23-24 ,березня 2016 р., Харків. – С. 89-91.
3. Комариста Б.М. Виробниче забруднення в оцінці життєвого циклу продукту / Б.М. Комариста, В.І. Бендюг // Сталій розвиток – XXI століття: управління, технології, моделі. Дискусії 2017: колективна монографія. НТУУ – КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ін-т телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАНУ; Вища економіко-гуманітарна школа. – Київ, 2017. – С. 238-246.
4. Комариста Б.М. Автоматизована система оцінки впливу життєвого циклу продукту на навколишнє середовище / Б.М. Комариста, В.І. Бендюг // Екологічна безпека: сучасні проблеми та пропозиції. Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конф. (м. Харків, 21 квітня 2017 р.). Том 1. – Київ: «Інтерсервіс», 2017. – С. 139-146.
5. ДСТУ ISO 14024:2002. Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та методи (ISO 14024:1999, IDT) / В. Горопацький. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – IV, 10 с.– (Національний стандарт України).