

УДК 502/504

Згуровський М.З., Статюха Г.О., Джигирей І.М., Комариста Б.М. (Україна, Київ)

**ОЦІНЮВАННЯ СТАЛОСТІ РЕСУРСОСПОЖИВАННЯ: МОНЕТАРНИЙ ПІДХІД****Вступ**

Ряд останніх робіт у напрямку вдосконалення методології вимірювання сталого розвитку розкривають багатообіцяючі можливості застосування тут теорії природного капіталу. У теорії природного капіталу виділяють три основних види капіталу: запаси відновлюваних і невідновлюваних ресурсів, земля й екосистеми. Кожний з них вносить різний вклад у розвиток людини й зазнає різного впливу діяльності людини. Одне з найбільш глибоких досліджень в області аналізування зв'язків змінних природного капіталу належить Д.І. Люрі, який розвинув ідею ресурсних циклів – квазізамкнених колообігів використовуваних людиною ресурсів [1]. Розглядання процесів у вигляді циклів «споживання – відновлення» ресурсів природи дозволяє побудувати наближену, але ідеологічно витриману модель круговороту компонентів природних ресурсів у деякій системі й можливість розроблення показника сталості цієї системи, за допомогою якого можна керувати процесом сталого розвитку.

**Коефіцієнт сталого ресурсоспоживання**

У роботі [1] запропонована оцінка, що характеризує здатність системи відновлювати й компенсувати використані ресурси – коефіцієнт сталого ресурсоспоживання  $\eta$ .

$$\eta = \frac{\sum_i C_i^U}{\sum_j C_j^R}, \quad (1)$$

де  $C_i^U$  – витрати на використання сировини (видобування, транспортування тощо), на виготовлення й використання продукції (виробництво, доставка споживачеві тощо.);  $C_i^R$  – витрати на перероблення відходів, на утилізацію продуктів, на технологію природного очищення, на виправлення раніше нанесених природі збитків. Нескладно відзначити, що при розрахованій оцінці  $\eta > 1$  система, з точки зору збереження її потенціалу, буде несталою: споживання природних ресурсів відбувається інтенсивніше, ніж їхнє відновлення. При  $\eta = 1$  – система перебуває на межі сталості; при  $\eta < 1$  – система стала: відновлення ресурсів природи йде випереджальним темпом. Очевидно, що всі рішення повинні бути такими, щоб домагатися значення  $\eta < 1$ , як за рахунок зниження витрати ресурсів й удосконалювання технологій виробництва, так і за рахунок збільшення витрат на відновлення й поповнення ресурсів.

**Оцінювання сталості ресурсоспоживання на прикладі схем очищення побутових стічних вод**

Розрахунок значення  $\eta$  зручно проводити на основі оцінювання життєвого циклу (ОЖЦ) продукційної / технологічної системи. А саме за допомогою побудови життєвого циклу, з урахуванням відновлення ресурсів, у тому числі, і за рахунок антропогенних механізмів, і детального аналізу керування запасами життєвого циклу або інвентаризаційного аналізу [2]. Для підтвердження працездатності запропонованої оцінки у роботі [3] були розглянуті дві схеми очищення малозабруднених побутових стічних вод. Перша схема, штучна, складається з установки механіко-хімічної обробки стічних вод, що використовує хлорид заліза для осадження шкідливих домішок у воді. Друга схема, природна, включає заболочену територію, що слугує природним біологічним і механічним фільтром. Розрахункові значення коефіцієнта сталого ресурсоспоживання для штучної схеми становить  $\eta_{шт.} = 0.01$ , а для природної –  $\eta_{пр.} = 5.7$ .

Вище зазначено, що при  $\eta < 1$ , ми маємо право стверджувати, що запропонована штучна технологія очищення є чудовою (багато коштів витрачено на відновлення ресурсу), а схема природна – не дуже гарна ( $\eta > 1$ ). Хоча очевидно, що з прагматичної точки зору природна схема вигідніша, оскільки характеризується меншими витратами. Насправді проблема в тому, що класичний економічний підхід не враховує «вартість» внеску природи в очищення викидів: цей подарунок природи ми приймаємо як належне, сьогодні ще не піклуєтесь про ступінь нанесеного природі збитку. Можливо, відношення  $\eta_{пр.}/\eta_{шт.} = 570$  повніше характеризує внесок природи.

Має сенс спробувати оцінити потенційні витрати на відновлення не тільки використовуваних ресурсів, але й на відновлення природи, у т.ч. і здоров'я людини, як безпосереднього учасника ресурсних циклів, за допомогою непрямих показників.

### Модифікований коефіцієнт сталого ресурсоспоживання

Оцінювання природо-відновлювальної характеристики систем (продукційних, технологічних) пропонується проводити за допомогою порівняння витрат на «виготовлення – споживання – видалення» продукції протягом життєвого циклу й витрат на відновлення використаних ресурсів, виправлення нанесеної шкоди природним системам і здоров'ю людини.

$$\tilde{\eta} = (C_R + C_P) / (C_{RD} + C_{HH} + C_{ES}), \quad (2)$$

де  $\tilde{\eta}$  – модифікований коефіцієнт сталого ресурсоспоживання;  $C_R$  – витрати на сировину, грн.;  $C_P$  – витрати на виготовлення, споживання й видалення продукції, грн.;  $C_{RD}$  – витрати на відновлення енергоресурсів, мінеральних ресурсів тощо, а також додаткова енергія необхідна в майбутньому на видобування цих ресурсів, грн.;  $C_{HH}$  – витрати на відновлення здоров'я людини, грн.;  $C_{ES}$  – витрати на відновлення екосистем, грн. Якщо одержуване відношення «виробничо-споживацьких» витрат до «відновлювальних» витрат  $\tilde{\eta} < 1$  для оцінюваної системи, то така система з точки зору збереження природо-відновлювального потенціалу є екологічно сталою. Запропонований модифікований коефіцієнт сталого ресурсоспоживання є оцінкою необхідних витрат на підтримку екологічної сталості системи. Він може бути використаний як для порівнювання варіантів продукційних і технологічних систем, так і для прийняття рішень щодо розроблення нових продуктів та вдосконалення існуючих.

### Особливості використання оцінювання життєвого циклу

Як зазначено вище, такий інструмент як ОЖЦ, охоплює всі виробничі процеси й послуги пов'язані з продукцією протягом її життєвого циклу, від придбання сировини до кінцевого видалення. Тому, саме на основі такого підходу зручно проводити розрахунок  $\eta$ . Однак, необхідно відзначити, що ОЖЦ – це підхід, що використовує величини в немонетарному вираженні, що звичайно не підходить для розрахунку коефіцієнта сталого ресурсоспоживання. Серед останніх розробок у напрямку оцінювання впливу продукційних систем на довкілля і людину з використанням грошових одиниць можна відзначити метод «Stepwise 2006», розроблений міжнародною компанією "2.0- LCA consultants" [4]. Цей метод ґрунтується на характеристичних моделях таких методів оцінювання впливу продукції як «ІМПАКТ 2002+» та «EDIP 2003» [5]. Для монетаризації фізичних одиниць у методі «Stepwise 2006» використана якісно скоректована тривалість життя (QALYs, quality adjusted life years) для впливів на людину й скоректовані гектари-роки, що враховують збереження біорізноманіття, (BANYS, biodiversity adjusted hectare years) для впливів на природні системи. Метод «Stepwise 2006» дозволяє одержати величини впливу системи протягом життєвого циклу на екосистеми і людину, представлені за допомогою спільної метрики – грошової.

### Монетаризація

Як основою для подальшого застосування монетаризації скористаємось характеристичною моделлю методу «ІМПАКТ 2002+». Вплив продукційної системи на здоров'я людини відображається тут в одиницях скоректованої по непрацездатності тривалості життя (DALYs, disability adjusted life years), а вплив на екосистеми представлено в одиницях  $PDF \cdot m^2 \cdot рік = BANYS$ , де PDF (potentially disappeared fraction) – це та частка біорізноманіття, що потенційно може зникнути через вплив оцінюваної системи на природу. Результатом другої фази ОЖЦ, інвентаризації, є сума входів «з природи» і виходів «у природу» в фізичних величинах (кг, м<sup>2</sup>, м<sup>3</sup>, Бк тощо) для подальшого аналізу й оцінювання впливів продукційної системи на довкілля, зокрема й на здоров'я людини. І якщо з перетворенням кількості ресурсу використаного протягом життєвого циклу в його грошовий еквівалент не виникає значних ускладнень, то оцінювання витрат на відновлення вимагає застосування непрямих величин.

Відомо, що вартість статистичного життя (ВСЖ) включає, зокрема, витрати, пов'язані з наслідками впливів на здоров'я людини: медичні витрати, втрати доходу й т.п. Використаємо цей показник для трансформації величини DALYs, представленої в роках, у грошові одиниці. ВСЖ для США (2008 р.) становить 6.9 млн. дол., для Євросоюзу (2008 р.) – 5.4 млн. дол. Виходячи з гіпотези про пропорційну залежність ВСЖ і ВВП для жителів різних країн [6], одержуємо ВСЖ для жителів

України в розмірі близько 55 тис. дол. або 450 тис. грн. (2008 р.: ВВП США – 13 164 млрд. дол., ВВП Євросоюзу – 10 637 млрд. дол., ВВП України – 106 млрд. дол.). З огляду на те, що середньостатистична тривалість життя українця в 2008 р. становила 68 років, вартість року статистичного життя буде 6.6 тис. грн./рік. Таким чином, помножуючи на 6 600 грн./рік суму років, втрачених через непрацездатність з причини шкідливого впливу певної продукційної системи, одержимо непрямий грошовий еквівалент витрат на відновлення здоров'я людини. Як грошовий еквівалент PDF·м<sup>2</sup>·рік або ВАНУ приймаємо верхню границю наближеної вартості скоректованого гектара-року – 3 000 євро [4] або, аналогічно перетворенням для DALYs, 300 грн.

### Розрахунок модифікованого коефіцієнта сталого ресурсоспоживання для бетонів

Проаналізовано сталість ресурсоспоживання двох продукційних систем, звичайного (C20/25 16 S4) і морозостійкого бетонів (C35/45-25-S2-Lu Anl Frost VCT 0.40), з одержанням модифікованих коефіцієнтів сталого ресурсоспоживання. Всі розрахунки проводились на функціональну одиницю (ФО) зазначених продукційних систем, а саме 1 м<sup>3</sup> бетону. Виробничо-споживацькі витрати охоплюють витрати на ресурси, у т.ч. енергоресурси, та їхнє транспортування, витрати на виготовлення й транспортування бетону, витрати на знесення конструкцій. Етапи спорудження й експлуатації виключені з розгляду, оскільки енерговитрати значно коливаються залежно від типу бетонних конструкцій. На основі інвентаризаційних даних [7] визначені витрати на ФО звичайного й морозостійкого бетону – 715 грн. й 1062 грн., відповідно. Для одержання вартості енергоносіїв у цінах 2008 р. на ФО здійснене перетворення з МДж у кг (м<sup>3</sup>) за допомогою застосування значень енергоємності. Відновлювальні витрати охоплюють вплив викидів у повітря й воду на здоров'я людини (вплив на органи дихання, виснаження озонового шару, вплив неканцерогенних сполук) та вплив викидів на екосистеми (вплив на водні й наземні екосистеми, підкислення ґрунтів). За допомогою бази даних «ІМПАКТ 2002+» [8], що містить, зокрема, коефіцієнти шкоди різних сполук здоров'ю людини й екосистемам в одиницях DALYs/кг й PDF·м<sup>2</sup>·рік/кг, відповідно, отримані оцінні витрати на відновлення ресурсів, здоров'я людини й екосистем у розмірі 1284 грн. для звичайного й 1619 грн. для морозостійкого бетону. Також враховане виснаження таких енергоресурсів, як кам'яне вугілля, нафта й природний газ, за допомогою витрат на додаткову енергію необхідну в майбутньому на видобуток такої ж кількості цих ресурсів [9]. Значення коефіцієнтів становить  $\tilde{\eta}_{oc} = 715 \text{ грн.} / 1284 \text{ грн.} = 0.56$  для звичайного бетону й  $\tilde{\eta}_{frc} = 1062 \text{ грн.} / 1619 \text{ грн.} = 0.66$  для морозостійкого бетону. Це означає, що при вкладенні виробниками й споживачами звичайного бетону  $1/\tilde{\eta}_{oc} \cdot 100\% = 180\%$  від виробничо-споживацьких витрат (або  $1/\tilde{\eta}_{frc} \cdot 100\% = 150\%$  для морозостійкого бетону), наприклад, у відновлення втрачених ресурсів, очищення викидів, альтернативні джерела енергії, охорону здоров'я робітників і споживачів, збереження навколишнього природного середовища, оцінювана продукційна система була б сталою ( $\tilde{\eta}_{oc} < 1$ ). Причому, у випадку здійснення згаданих заходів повною мірою в обох випадках, продукційна система звичайного бетону мала б більший ступінь сталості ресурсоспоживання або вищий природо-відновлювальний потенціал, ніж продукційна система морозостійкого бетону.

### Освітній напрям

Представлені розробки та методи й підходи, на яких вони ґрунтуються, активно впроваджуються в навчальні програми усіх рівнів Національного технічного університету України «КПІ». Зокрема, у курс «*Основи сталого розвитку суспільства*», що викладається магістрам університету всіх напрямів підготовки, у курс «*Глобальна екологія, технологія і сталий розвиток*», що викладається магістрам нової програми спільної підготовки магістрів та кандидатів наук «*Сталий розвиток та державне управління: глобальний та регіональний контексти*». Дана магістерська програма є спільною програмою НТУУ «КПІ» та інших університетів-партнерів з консорціуму Центрально-східно-європейський інститут зі сталого розвитку (CEEISD) [10]. Для викладання на цій програмі запрошено найкращих фахівців з України. Викладання проводиться за сучасними методиками з використанням інформаційних технологій та нових засобів навчання.

## Висновки

Представлено коефіцієнт сталого ресурсоспоживання, який характеризує здатність системи відновлювати й компенсувати використані ресурси. Модифіковано коефіцієнт сталого ресурсоспоживання продукту на основі оцінювання впливу продукційної системи протягом життєвого циклу на природні системи і людину з використанням теорії природного капіталу та монетаризації. Одержані й проаналізовані коефіцієнти сталого ресурсоспоживання на прикладі бетонів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Згуровский, М.З. Системный подход к оценке и управлению устойчивым развитием общества [Текст] / М.З. Згуровский, Г.А. Статюха // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – №3. – С. 7-27.
2. ДСТУ ISO 14041:2004 Екологічне керування; Оцінювання життєвого циклу. Визначання цілі і сфери застосування та аналізування інвентаризації (ISO 14041:1999, IDT) [Текст] / В. Лозанський, В. Мироненко. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 20 с.
3. Статюха, Г.А. Практические аспекты оценивания устойчивости технологических систем на базе теории природного капитала [Текст] / Г.А. Статюха, И.Н. Джигирей, Б.Н. Комариста // Вісник ЧДТУ. – 2009. – № 1. – (у друці).
4. Weidema, В.Р. Using the budget constraint to monetise impact assessment results [Text] / В.Р. Weidema // Ecological Economics. – 2009. – 6 (68). – PP. 1591-1598.
5. Статюха, Г.О. Зведена методика оцінювання шкідливого впливу продукції на довкілля [Текст] / Г.О. Статюха, І.М. Джигирей, Б.М. Комариста // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 1/6 (37). – С. 8-20.
6. Сталій розвиток: еколого-економічна оптимізація територіально-виробничих систем [Текст]: Навч. посібник / Н.В. Караєва, Р.В. Корпан, Т.А. Коцко та ін.; за заг. ред. І.В. Недіна. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 384 с.
7. Sjunnesson, J. Life Cycle Assessment of Concrete [Electron. resource]: master thesis / J. Sjunnesson. – Sweden, 2005. – Access link: <http://www.cementenbeton.nl>.
8. Center for Risk Science and Communication. Risk and Impact Modeling. Impact 2002: [Electron. resource]. – Access link: <http://www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002.htm>.
9. PRé Consultants: Life Cycle Assessment consultancy and LCA software tools: [Electron. resource]. – Access link: <http://www.pre.nl/>.
10. Central East European Institute for Sustainable Development: [Electron. resource]. – Access link: <http://ceeisd.org.ua/>.