

УДК 504.062.2

## **ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

*Д.О. Лазненко, канд. техн. наук, доц.;*  
*С.О. Конєв, аспірант;*  
*Я.О. Наземцева, магістр*  
*(Сумський державний університет)*

*Розглянуто схеми матеріальних та енергетичних потоків целюлозно-паперового виробництва. Проведений аналіз існуючих підходів для оцінки життєвого циклу промислової продукції. За даним методом виконано порівняння виробництва паперу з деревини та з використанням макулатури.*

*Рассмотрены схемы материальных и энергетических потоков целлюлозно-бумажного производства. Проанализированы существующие подходы оценки жизненного цикла промышленной продукции. С использованием данного метода выполнено сравнение производства бумаги из дерева и с использованием макулатуры.*

*Schemes for material and energy flows of pulp and paper industry are considered. Analysis of existing approaches is carried out for assessing life cycle of industrial products. In terms of this method, compared production of paper from wood and using scrap paper.*

**Вступ.** Ідеї екологічної безпеки і якості навколишнього середовища на тлі визначальної ролі нарощування промислових потужностей країн світу стають все більш популярними, а оцінка екологічності виробництв та продукції – важливим показником їх конкурентоспроможності як на внутрішньому, так і міжнародному ринках.

Не зважаючи на це, питання зменшення антропогенного навантаження на довкілля залишається відкритим. Оцінювання характеру існуючих впливів на довкілля і прийняття відповідних рішень потребують імплементації дієвих інструментів і методів управління процесами, що спричиняють ці впливи (виробництво та споживання продукції). У світовій практиці розроблені, закріплені міжнародною системою стандартизації

(серія стандартів ISO 14040) та використовуються методи пов'язані з оцінкою життєвого циклу продукції (ОЖЦ), що мають на меті виявлення негативного впливу продукції на навколишнє середовище протягом всього періоду її існування – «від колиски до могили» за результатами інвентаризаційного аналізу життєвого циклу.

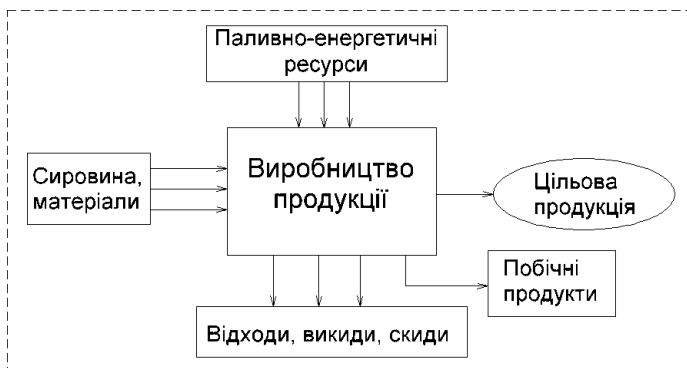
Стандарти серії ISO носять рекомендаційний характер, не надають вони і єдиного підходу до проведення процедури ОЖЦ, тому суб'єкти на практиці можуть самостійно визначати межі і ступінь деталізації і укрупнення дослідження залежно від вимог, об'єкта, специфіки і сфери використання результатів. Основними категоріями впливів на навколишнє природне середовище є використання ресурсів та екологічні наслідки.

**Мета роботи.** Провести порівняльний аналіз життєвого циклу продукції целюлозно-паперової промисловості, провести аналіз можливих методичних підходів даної оцінки.

**Аналіз попередніх досліджень.** У межах ОЖЦ виникає проблема вибору методичного підходу до формування бази критеріїв оцінки рівня екологічності продукції. Існує кілька загальних методів формування критеріальної бази: на підставі економічних показників, який ґрунтується на визначенні розміру екологічних витрат; на підставі енергетичних показників, який оцінює енергоємність продукції; показників екологічного навантаження; показників порівняння, що реалізується з використанням сукупності якісних і кількісних показників [1].

В загальному вигляді життєвий цикл продукції можна представити як сукупність процесів вилучення сировини, обробки, виготовлення продукції, її використання, стадії «кінця життя», тобто утилізації, захоронення, ін., а також транспортування, що являється так званою проміжною стадією чи не для кожної з зазначених вище.

Найбільш доцільно розпочинати аналіз ЖЦ із оцінки стадії виробництва цільової продукції. На рис. 1 спрощено зображено вхідні і вихідні потоки стадії виробництва продукції.



*Рис. 1. Основні вхідні і вихідні потоки, характерні для стадії виробництва продукції.*

**Матеріал і результати дослідження.** Вхідні потоки, як правило, є продуктами інших виробництв. Через це виникає необхідність проведення також оцінки виробництв, що їх виготовляють. Це виявлятиметься у наростанні відповідних блоків-підсистем до стадії, аналіз якої вже проведено. У зв'язку з тим, що деталізувати повний цикл перетворення сировини у процесі отримання кінцевої продукції можна надто ретельно, отримана схема може бути надзвичайно розгалуженою, а виконання такої роботи буде потребувати значних ресурсів.

З метою систематизації отриманих даних доцільно ввести поняття рівня підсистем. Так, наприклад, виробництво продукції, для якого проводиться ОЖЦ, – підсистема I рівня, ті, що виготовлятимуть для нього матеріали та сировину – II, ті, що добуватимуть або вироблятимуть сировину для підприємств II рівня, матимуть III порядок і так далі. Наглядно це можна представити на абстрактному прикладі (рис. 2).

Як бачимо, кількість процесів, від яких прямо чи опосередковано залежить продукція, виробництво якої аналізується, не має кінця і, безперечно, у кожному з них без винятку закладене навантаження на довкілля.

Для того, щоб спростити обробку інформації і при цьому отримати достатні, достовірні результати, що відповідають вимогам поставленої перед дослідженням мети, слід:

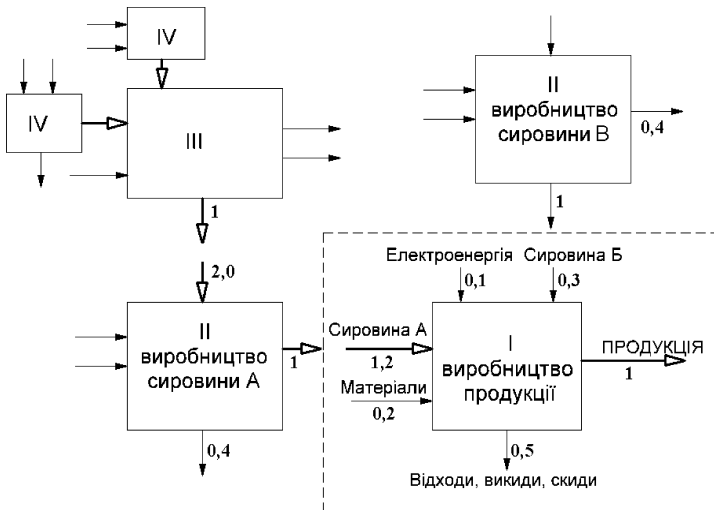


Рис. 2. Спрощена блок-схема системи виробництва продукції з визначенням рівнів підсистем.

1. Під час аналізу користуватися приведеними величинами на функціональну одиницю продукції. Це забезпечить еталон їх вимірювання та можливість зіставлення виробництв з різними технологіями, продуктивністю, та, найважливіше, результатів, що гарантуватиме наявність спільної основи для порівняння різних систем, якщо в цьому є необхідність. Функціональною одиницею може бути одиниця площі поверхні дорожнього покриття, одиниця маси готової продукції тощо.

При цьому життєвий цикл ми побачимо у вигляді потоків з певними коефіцієнтами (рис. 2), що чисельно дорівнюють величині питомого споживання ресурсу, або питомого утворення відходів, викидів, питомого енергоспоживання тощо.

2. Ввести коефіцієнти підсилення навантаження на навколишнє середовище підприємствами попередніх рівнів –  $k_n$ . Цей коефіцієнт показує кратність навантаження на довкілля стадією попереднього рівня по відношенню до процесу, що аналізується. Чисельно коефіцієнт підсилення дорівнює коефіцієнту питомого споживання певного ресурсу. Тобто, наприклад для виготовлення однієї тонни продукції необхідно спо-

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

жити 1,2 тонни сировини А (рис. 2), а при виготовленні однієї тони сировини А утворюється 0,4 тонни відходів. Таким чином при виробництві 1 тонни продукції і споживаючи сировину А, ми додатково спричинюємо утворення  $0,4 \times 1,2 = 0,48$  тонн відходів на підприємстві другого рівня. По відношенню до процесу, що розглядається, сировина В має коефіцієнт підсилення 0,3. Це позначає, що відходів спричинених споживанням сировини В буде утворюватися  $0,3 \times 0,4 = 0,12$  тонн.

При переході на більш високий рівень коефіцієнти підсилення перемножуються. Аналогічно аналізується і споживання сировини на другому та більш високих рівнях.

Однак варто пам'ятати, що оцінювати вклад стадії у вплив на довкілля треба адекватно. Тобто, крім кількісних показників, наприклад, для відходів доцільно враховувати їх токсичність, клас небезпеки. Як правило, після проведення даної процедури вимальовується каркасний ланцюжок у якому стадії найвищого порядку відповідатимуть початковому процесу вилучення з навколишнього середовища основної сировини для цільової продукції.

У звіті Союзу Виробників гофрованих товарів з ОЖЦ типових гофропакувальних матеріалів США [4] рекомендується використовувати наступні критерії відсікання (знехтування) під час збору і аналізу даних:

- Маса – якщо потік становить менше 1% сукупної маси оцінки вкладу в модель, він може бути виключений, і якщо він не має екологічної значимості.

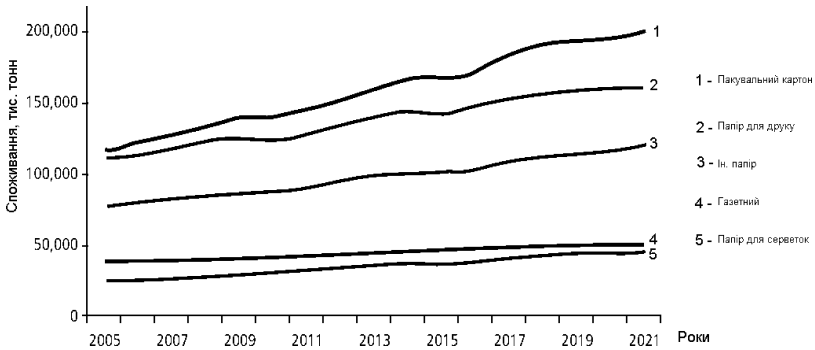
- Енергія – якщо потік становить менше 1% сукупної енергії достовірної оцінки вкладу в модель, він може бути виключений.

- Екологічна значимість – якщо потік відповідає вищезгаданам критеріям для виключення, але, є потенційно значущим для навколишнього середовища, він може бути залишений, якщо в цьому є необхідність. Всі матеріальні потоки, які залишають систему (викиди), і вплив яких на навколишнє середовище становить більше 1% від загального впливу в оцінці повинні бути включені.

- Сума знехтуваних матеріальних потоків, не повинна перевищувати 5% маси, енергії або екологічної значущості.

Використання такого підходу продемонструємо на прикладі виробництва паперу.

Відомо, що целюлозно-паперова промисловість є однією із найбільш водоемних галузей народного господарства, потребує значних площ лісових насаджень, а також використовує і викидає/скидає велику кількість токсичних речовин. На рис. 3 представлено світове споживання паперової продукції з прогнозом до 2021 р. [4].



*Рис. 3. Світове споживання паперу за видами, 2005–2021 рр.*

Тенденція розвитку основних видів продукції целюлозно-паперової галузі промисловості в 1990-2008 роках наведена у табл. 1 [5].

Динаміку виробництва та споживання паперу та картону в Україні показано у табл. 2.

Проаналізуємо техногенне навантаження на довкілля виробництва однієї тонни високоякісного паперу з сульфітної целюлози, проведених згідно з методикою ОЖЦ продукції, а також порівняльний аналіз такого виробництва з процесом переробки вторинної сировини (макулатури) у високоякісний газетний папір.

Джерело первинних даних технологічних процесів – Довідник Європейської Комісії з найкращих доступних технологій целюлозно-паперової промисловості, 2010 р. [2], а також узгацьований аналіз матеріальних балансів лісозаготівельних підприємств України.

## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Системні межі ОЖЦ для паперу, що виготовляється з первинного волокна – стадії лісозаготівлі, виробництва целюлози сульфітним способом, виробництво паперу.

Функціональною одиницею є 1 тонна готової продукції.

Як зазначалося вище, починаємо ОЖЦ із оцінки стадії виробництва цільової продукції, тобто паперу (рис. 4).

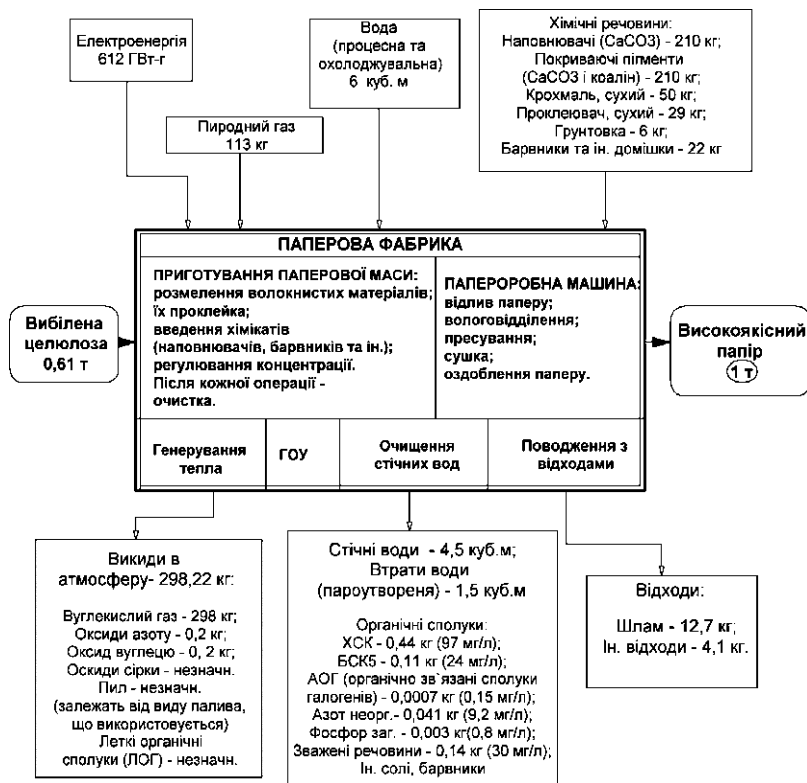
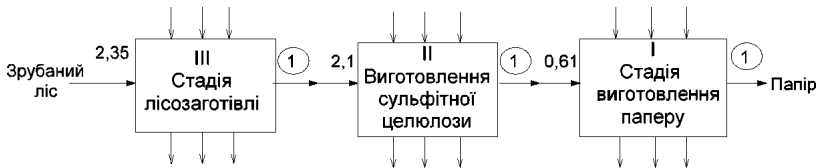


Рис. 4. Сукупність вхідних і вихідних потоків виробництва паперу.

Найбільш вагомими вхідними потоками є: вода, природний газ та целюлоза. Вода та природний газ являють собою первинні ресурси, целюлоза – є продуктом попереднього виробництва, що вказує на необхідність проведення оцінки стадії її

виготовлення (стадія II порядку). Після складання аналогічного балансу вхідних і вихідних потоків процесу виробництва I т целюлози виявляємо, що далі необхідно аналізувати процес лісозаготівлі (III рівень).

Таким чином, після проведення ОЖЦ стадій виробництва паперу, спираючись на раніше представлену методику, можна прослідкувати яке навантаження на довкілля чинить кожна стадія. Найбільш ресурсоємним є ланцюг споживання деревини (рис. 5). Бачимо, що для виготовлення 1 тонни паперу необхідно  $0,61 \times 2,1 \times 2,35 = 3,01$  т деревини.



*Рис. 5. Визначення каркасного потоку ЖЦ виробництва паперу.*

**Таблиця 1 – Виробництво паперової продукції в Україні**

Продукція целюлозно-паперової галузі	1990	1995	2000	2005	2007	2008
Папір і картон, тис. тонн	912,0	304,0	409,6	768,8	802,4	913,8
Папір газетний, тис. тонн	0	15,8	26,0	35,7	37,9	37,3
Папір-основа (санітарно-гігієнічний), тис. тонн	56,2	27,3	56,1	110,0	116,1	119,3
Картон тарний (в т.ч. папір для гофрування), тис. тонн	100,5	98,7	210,3	434,2	451,4	551,9
Ящики з гофрокартону і картону, млн. м <sup>2</sup>	286,0	120,8	171,1	654,7	685,5	804,1

**Таблиця 2 – Динаміка виробництва та споживання паперу та картону в Україні**

Рік / Показник	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
Виробництво, тис. т	912	304	409,6	767,6	804,3	934,8	924,3
Споживання, тис. т	1666	437	612,4	1305	1381,7	1577,1	1586,2



## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

Вичерпність ресурсів планети та збільшення кількості паперово-целюлозних відходів викликає необхідність залучення у виробництво вторинного паперу.

Використовуючи ОЖЦ ми виконали порівняння виробництва паперу з деревини та з використанням макулатури.

Отримані результати порівняння (рис. 6) дозволяють стверджувати, що виготовлення 1 т паперу з переробленої сировини з додаванням 2,2% тріски деревини, у порівнянні з 1 т такого, що виготовлений зі 100% первинних волокон знижує:

- загальне споживання енергії на 706 кВт·год. (44 відсотків);
- загальне споживання деревини на 2947 кг (97,8 відсоток);
- загальне споживання природного газу на 178 кг (60 відсотків);
- загальне споживання хімікатів на 380 кг (64 відсотків);
- загальне споживання води на 21 м<sup>3</sup> (51,5 відсотків);
- викиди парникових газів (CO<sub>2</sub>) на 1167 кг ( 78,5 відсотків);
- стічних вод на 28 м<sup>3</sup> (71,5 відсотків);
- відходів деревини на 889 кг (100 відсотків).

Інтерпретуючи результати аналізу, отримуємо рівні зниження використання ресурсів та антропогенного навантаження, що забезпечується при переробці 1 тонни макулатури:

- загальне споживання енергії на 608 кВт·год.;
- загальне споживання деревини на 2,541 тонн;
- загальне споживання природного газу на 0,153 тонн;
- загальне споживання хімікатів на 0,327 тонн;
- загальне споживання води на 18 м<sup>3</sup>;
- викиди парникових газів (CO<sub>2</sub>) на 1 тонну;
- викиди оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) на 2 кг;
- стічних вод на 24 м<sup>3</sup>;
- відходів деревини на 0,767 тонн.

Однак слід зазначити, що з метою аналізу енергоємності потреба підприємств в електричній енергії виражена в кВт·год. На наступному етапі аналізу можна проаналізувати стадію виробництва електричної енергії. При цьому виробництво електричної енергії буде розглядатися, як процес другого рівня, а загальний підхід буде аналогічний аналізу інших виробництв.

Також наведений аналіз не враховує логістику транспортного забезпечення та етап розкладання паперу на полігоні, ці стадії у даному дослідженні випущені.

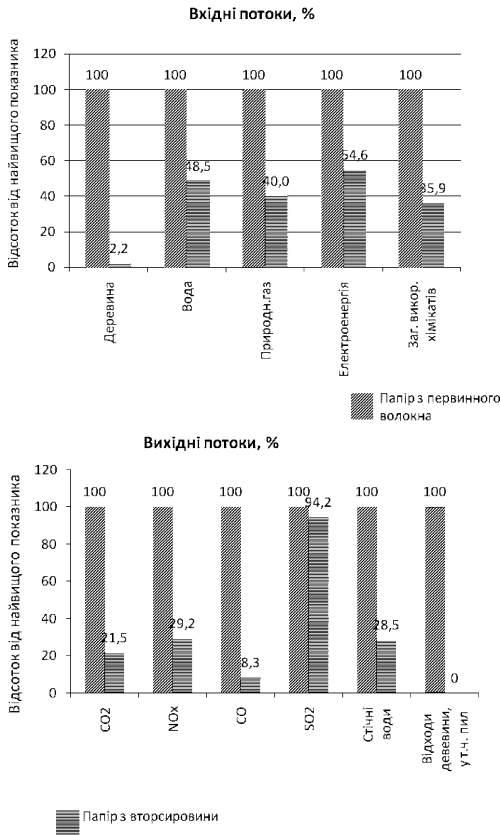


Рис. 6. Порівняння впливу життєвого циклу паперу: виготовленого з первинного та вторинного волокна.

**Висновки.** Процедура ОЖЦ, що відповідає стандартам ДСТУ ISO 14040 дозволяє оцінити екологічність продукції завдяки системному підходу до оцінки впливів продукції на навколишнє середовище; виявити стадії, що потребують модернізації; зробити продукцію більш привабливою в ринковому просторі. Запропонований підхід дозволяє спростити процедуру ОЖЦ та забезпечити необхідні вимоги точності виконання аналізу.

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

\* \* \*

1. Мельник Л.Г. Екологічна економіка. 3-тє вид., випр. і доп. / Л.Г. Мельник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 367 с.
2. Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Pulp and Paper Industry, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). – European Commission, 2010.
3. Roberts J. The State of the Paper Industry. Monitoring the Indicators of Environmental Performance / J. Roberts // Copyright Environmental Paper Network, USA, 2007.
4. American Forest & Paper Association, Corrugated Packing Alliance: Life Cycle Assessment of U.S. Industry-Average Corrugated Product, Final Report, December 30, 2009.
5. Матеріали офіційного сайту Державного комітету статистики України – [Електронний ресурс] <http://www.ukrstat.gov.ua>.

***Отримано: 21.06.2011 р.***