

ХІМІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

УДК 628.46:628.463:628.464:628.465:628.474

Х.О. Дерейко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра екології та охорони навколишнього середовища

ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ МЕТОДОМ ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІДХОДІВ (LCA)

© Дерейко Х.О., 2006

Наведено методику екологічного аналізу різних варіантів менеджменту твердих відходів, а саме – організації збору та транспорту відходів на підприємстві STRID (Швейцарія) шляхом екологічної оцінки життєвого циклу відходів згідно зі стандартом ISO 14040. Подано результати балансів енергії, CO₂ та NO_x, а також результати оцінки екологічного впливу варіантів управління відходами.

We have elaborated the methodology of environmental analysis of different scenarios of waste management, in particular of waste collection and transport organization at STRID (Switzerland) by environmental Life Cycle Assessment of waste according to the ISO 14040 norm. The results of the energy balance, CO₂, NO_x as well as the results of environmental impact analysis of waste management scenarios have been presented.

Постановка проблеми. Термін “тверді відходи” породжує у нашій уяві спогад про дике сміттєзвалище з виділенням неприємних газів. Індустріалізоване сучасне суспільство, яке широко використовує енергетичні ресурси, все ж усвідомило те, що природні ресурси є вичерпні. Охорона довкілля є неминучою складовою управління нашим суспільством. Але уникнення забруднення та зменшення кількості відходів тільки за рахунок усвідомлення цієї проблеми кожною особистістю і застосування щоденних елементарних правил поведінки з відходами не будуть достатніми на шляху охорони довкілля для майбутніх поколінь. Економічний сектор в сукупності продукує значну кількість твердих відходів. Бажання, потреба, навіть обов’язок їх ліквідувати раціональним та екологічним способом стає все більш невідкладним.

Піклування про забезпечення охорони довкілля від шкідливих впливів, викликаних збором, транспортом та зберіганням твердих відходів, спонукало підприємство сортування, рециклізації та спалювання відходів (STRID, Швейцарія) почати екологічний аналіз управління відходами. Цей проект був спрямований на аналіз різних варіантів організації збору та транспорту побутових відходів шляхом проведення екологічної оцінки життєвого циклу відходів (LCA – Life Cycle Assessment). Сьогодні відомі результати екологічної оцінки життєвого циклу відходів не дають конкретних рішень щодо аспектів збору та транспорту.

У такому контексті автором цієї роботи були проведені дослідження у рамках проекту екологічної оцінки способів організації переробки побутових відходів методом спалювання на підприємстві STRID (Швейцарія). Цей проект є першим кроком до ідентифікації екологічного впливу переробки відходів, інтегрованого у розрахунок оцінки життєвого циклу відходів. Цей розрахунок дає змогу порівняти різні системи збору побутових та промислових відходів, а також їх транспорту до заводів спалювання.

STRID є підприємством з менеджменту відходів, що походять з північної частини кантону Во (Швейцарія), населення якої становить приблизно 60000 мешканців. Це підприємство координує

матеріально-технічне забезпечення збору, транспорту та переробки муніципальних твердих відходів. Ці дослідження проводились у рамках впровадження системи екологічного менеджменту на STRID. Мета проведення досліджень полягала у наступному:

- ◆ за допомогою інструментів оцінки життєвого циклу ідентифікувати екологічний вплив існуючих варіантів збору, транспорту та спалювання відходів;
- ◆ визначити способи удосконалення варіантів менеджменту відходів (екологічні та матеріально-технічні аспекти);
- ◆ визначити та оцінити альтернативні варіанти мінімізації екологічного впливу збору та транспорту відходів;
- ◆ запропонувати альтернативи з мінімальним впливом на довкілля та прийнятною ціною;
- ◆ створити бази даних для екологічної оцінки варіантів менеджменту відходів, а саме тієї їх частини, яка відбувається за участю STRID (збір та транспорт).

Методика досліджень. Методика цих досліджень ґрунтується на вимогах стандарту ISO 14040 для оцінки життєвого циклу (LCA) [1]. Загалом екологічний аналіз життєвого циклу продукції (LCA) – це аналітичний метод оцінки ефектів впливу на довкілля протягом усього часу існування цієї продукції: з моменту її створення до утилізації чи знищення. Результати такого аналізу використовують для оцінки альтернативних наслідків виробництва та використання певної продукції шляхом їх урахування в процесах прийняття рішень, аналізу ризику, обґрунтування сценаріїв своєї діяльності й аналізу проектів [2]. Відповідно до стандарту ISO 14040 LCA складається з чотирьох етапів:

- ◆ визначення мети та масштабу досліджень;
- ◆ інвентаризації викидів та споживання ресурсів;
- ◆ оцінки екологічного впливу;
- ◆ інтерпретації результатів.

Моделювання варіантів було здійснено з використанням муніципальних даних про кількість побутових та промислових відходів аналогічного складу, даних транспортних фірм, станції складування відходів (STRID) та заводів спалювання відходів Cheneviers та SAIOD.

Ідентифіковано **чотири основні існуючі варіанти менеджменту відходів:**

1. Збір відходів способом “двері у двері” і їх безпосередній транспорт до сміттєспалювального заводу SAIOD вантажівками вантажопідйомністю 26 тонн. Збір “двері у двері” – це спосіб організації збору відходів у відповідних контейнерах, розміщених поблизу житлових будинків чи місця утворення відходів. Для збору відходів з контейнерів транспортні вантажівки проїжджають за визначеним маршрутом і випорожнюють контейнери.

2. Зібрані відходи транспортують до станції складування відходів, а після цього – до сміттєспалювального заводу напівпричепами вантажопідйомністю 34 тонни.

3. Збір відходів і їх транспортування до станції складування організовано муніципалітетами за допомогою тракторів, причепів чи малих вантажівок (з максимальною вантажопідйомністю 3,5 тонни), а також їх транспорт до сміттєспалювального заводу SAIOD напівпричепами вантажопідйомністю 34 тонни.

4. Транспорт відходів підприємств малими вантажівками вантажопідйомністю 3,5 тонни до станції складування відходів і їх подальше транспортування до сміттєспалювального заводу SAIOD.

Для удосконалення частин шляхів ліквідації відходів, керованих STRID, передбачено внести зміни в управління збору та транспорту за допомогою багатьох альтернативних варіантів.

Етапи збору відходів можуть бути модифіковані на рівні організації роботи, типу використовуваних контейнерів для збору, а також інтегрування відходів підприємств регіону у комунальний збір відходів. **Альтернативні варіанти менеджменту збору відходів** є такими:

1. Збір відходів на комунальних відходнях. Відходня – це устаткування для доставки і сортування відходів. Йдеться про обладнану загороджену ділянку, куди місцеві мешканці або промисловці можуть привезти відходи і розподілити їх у відповідні контейнери. Відходи можуть бути добровільно доставлені мешканцями або підприємствами до комунальної відходні, обладнаної 800 літровими контейнерами, які потім періодично випорожнюються вантажівками збору відходів.

2. Збір відходів на регіональних відходнях.
3. Інтегрування відходів підприємств у системи збору способом “двері у двері”.
4. Інтегрування відходів підприємств у системи збору на комунальних відходнях.

Підприємства транспортують відходи до комунальних відходень вантажівками вантажопідйомністю 3,5 тонни. Потім місткості, заповнені відходами, транспортують до станції складування відходів вантажівками вантажопідйомністю 28 тонн, а звідти відходи направляють до сміттєспалювального заводу SAIOD.

5. Розподіл відходів підприємств відповідно до розміру підприємств між станцією складування відходів та комунальними відходнями. Згідно з цим варіантом підприємства розподіляються за таким принципом:

- ◆ малі підприємства уподібнюються до домашніх господарств, тобто відходи цих підприємств збирають на комунальних відходнях і звідти їх безпосередньо транспортують на сміттєспалювальний завод;

- ◆ відходи великих підприємств збирають за існуючим варіантом, тобто їх транспортують на станцію складування STRID малими вантажівками вантажопідйомністю 3,5 тонни, а звідти на сміттєспалювальний завод.

Аналіз впливу швидкості збору відходів на довкілля був здійснений шляхом порівняння двох варіантів, згідно з якими для збору відходів використовують відповідно одного або двох працівників сміттєзбиральної машини.

Альтернативні способи менеджменту транспорту були проаналізовані відповідно до таких варіантів:

1. Транспорт золи спалювання відходів із сміттєспалювального заводу Cheneviers. Вантажівки, що повертаються із сміттєспалювального заводу Cheneviers, є часто порожніми. Вони могли б бути використані для інших транспортних послуг, наприклад, для регулярного транспорту золи спалювання відходів на сміттєзвалище.

2. Використання зворотного шляху із сміттєспалювального заводу Cheneviers для транспорту золи спалювання відходів до сміттєзвалища, а потім деревини.

3. Транспорт відходів до сміттєспалювального заводу Cheneviers вантажівками вантажопідйомністю 40 тонн.

4. Залізничний транспорт відходів до сміттєспалювального заводу Cheneviers.

Для усіх поданих вище існуючих та альтернативних варіантів менеджменту відходів були визначені потоки речовин, що проходять через ці досліджувані системи, енергії та утворених забруднень. Ці потоки були розраховані із використанням чинників викидів, взятих із різних баз даних (INFRAS (1995) [3], Friscknecht (1996) [4]) або шляхом складання безпосереднього масового балансу процесів, що вивчаються. Аналіз транспорту ґрунтується передусім на даних споживання дизельного палива відповідними типами транспортних вантажівок, а саме – кількості дизельного палива, що споживається за годину у період випорожнення контейнерів та компактування відходів, а також кількості палива на 1 км проїзду між різними точками збору відходів та їх транспортування. Дані про відстані проїзду вантажівок були вихідними даними для розрахунку кількості забруднень, що утворюються під час збору та транспортування відходів, а також під час виробництва сміттєзбиральних вантажівок та використання інфраструктури дорожнього покриття. Екологічний аналіз станції складування відходів був здійснений на підставі адміністративних документів про дані споживання природних ресурсів (електроенергії, газу) для роботи станції. Екологічний аналіз заводів сміттєспалювання був проведений з використанням адміністративних даних матеріального балансу речовин.

Результати балансів енергії, CO₂ та NO_x. Оскільки метою роботи був аналіз варіантів менеджменту відходів стосовно діяльності підприємства STRID і вплив спалювання є значніший порівняно з впливом, спровокованим діяльністю STRID, стадія спалювання була вилучена із результатів наведених нижче балансів.

Аналіз варіантів збору відходів довів, що існуючий варіант збору “двері у двері” є досить екологічно безпечний. Власне етап збору відходів провокує найбільше викидів та є енергозат-

ратним. Однак найкращі результати одержані для варіанта інтегрування відходів усіх підприємств у систему збору “двері у двері”. У варіантах з регіональними та комунальними відходнями транспортування відходів місцевими мешканцями провокує найбільший вплив на довкілля за рахунок зростання рівня викидів CO_2 , NO_x та споживання енергії. Саме ця стадія індивідуального транспортування відходів є насамперед відповідальна за шкоду для довкілля. Варіант інтегрування відходів підприємств у збір на комунальних відходнях чи їх розподіл залежно від розміру дає однакові результати і є менш сприятливим для довкілля, ніж система збору “двері у двері”.

Аналіз варіантів швидкості збору відходів показав, що присутність двох працівників сміттєзбиральної машини є вирішальним для зменшення екологічного впливу етапу збору відходів, баланси енергії, CO_2 та NO_x є сприятливішими.

Аналіз варіантів менеджменту транспорту довів, що в існуючому варіанті етап транспортування відходів вантажівками до заводу Cheneviers і зворотний шлях, провокують значний вплив на довкілля. Транспортування золи спалювання відходів на зворотному шляху дає змогу істотно зменшити екологічний вплив, оскільки частина зворотної подорожі використовується для іншої транспортної послуги. Якщо ця зворотна подорож також включає транспорт деревини, то проїзд порожньої вантажівки є цілком ліквідований, що уможливило одержати екологічну вигоду. Варіант транспорту вантажівкою вантажопідйомністю 40 тонн є деякою мірою кращий, ніж існуючий варіант. Найкращим для довкілля є транспортування відходів залізницею.

Результати оцінки екологічного впливу. Оцінку екологічного впливу було здійснено із використанням комп’ютерної програми Sima Pro 4.0, створеної фірмою Pré Consultants B.V. (Голландія), яка є інструментом оцінки життєвого циклу (LCA) [6]. Для підтвердження точності одержаних результатів було застосовано два методи оцінки екологічного впливу Eco-indicator 99 та CST 95. Метод Eco-indicator 99 – це новий метод, опублікований у 1999 році, який вперше уможливив оцінити шкоду, нанесену довкіллю на рівні ресурсів, здоров’я людини та якості екосистеми [7]. За допомогою методу CST 95 (Critical Surface-time 95) проводять повний аналіз екотоксичності з одночасним врахуванням наукових та соціальних переваг [5].

Згідно з аналізом екологічного впливу варіантів менеджменту відходів методом Eco-indicator 99 головний вплив на кліматичні зміни мають викиди CO_2 заводу спалювання SAIOD, а також викиди CO_2 , пов’язані з транспортуванням відходів мешканцями регіону до комунальних та регіональних відходень. Респіраторний вплив неорганічних сполук, вплив на закислення та евтрофікацію водойм пов’язані із оксидами нітрогену NO_x у викидах автомобілів населення, що транспортують відходи до відходень, а також у викидах вантажівок збору відходів способом “двері у двері” та сміттєспалювальних заводів. Найбільш сприятливим для довкілля варіантом збору відходів є інтегрування відходів підприємств у систему збору “двері у двері”. Система регіональної відходні є шкідливішою для довкілля. Існуючий варіант збору відходів є близький до оптимального. Викиди CO_2 у сучасному варіанті збору пов’язані із зношенням дорожнього покриття та споживанням дизельного палива для компактування відходів під час збору.

Основним впливом на довкілля етапу збору відходів, визначеним за допомогою методу CST 95, є також глобальне потепління, викликане викидами CO_2 заводами спалювання відходів та автотранспорту мешканців регіону, використаного для транспортування відходів. Токсичні впливи на людину, викликані атмосферними викидами Pb процесів горіння відходів, є також дуже істотні.

Згідно з результатами аналізу варіантів транспорту відходів, одержаних методом Eco-indicator 99, головним джерелом впливу на довкілля є завод спалювання Cheneviers. Викиди CO_2 , викликані процесами спалювання, компактування відходів під час збору та зношення дорожнього покриття, є однією з причин кліматичних змін. Респіраторний вплив неорганічних сполук є спровокований викидами оксидів нітрогену заводів спалювання та твердими частинками, утвореними в результаті зношення доріг. Найкращим варіантом для транспортування відходів до Cheneviers є залізничний транспорт. Транспортування вантажівками вантажопідйомністю 40 тонн є екологічно кращим, ніж сучасний варіант з вантажівками у 34 тонни.

Метод CST 95 для варіантів транспорту відходів показує, що найістотнішим впливом на довкілля є ефект токсичності для людини, спровокований атмосферними викидами Hg заводу Cheneviers, а також твердими частинками, утвореними в результаті зношення доріг. Стадія складування відходів на STRID є причиною впливу на здоров'я людини у результаті викидів Pb в атмосферу, що є результатом застосування електроенергетичних технологій.

Висновки та рекомендації. Отже, за допомогою екологічної оцінки життєвого циклу відходів визначено основні етапи менеджменту твердих відходів, які вимагають удосконалення:

- ◆ спалювання відходів;
- ◆ збір відходів;
- ◆ транспортування відходів місцевим населенням.

Спалювання є стадією менеджменту відходів, що провокує найзначніший вплив на довкілля. Для зменшення впливу сміттєспалювального заводу рекомендовано удосконалити системи денітрифікації та нейтралізації кислих газів.

Етап збору відходів дуже забруднює довкілля внаслідок значного споживання дизельного палива. Однак сьогодні ще не впроваджені ефективні види палива, які були б альтернативою до дизельного палива. Щоб знизити навантаження на довкілля у результаті транспортування та збору відходів, важливо уважно вибрати транспортні фірми.

Існуючий варіант збору “двері у двері” є цілком виправданий. Ця система збору є більш екологічною порівняно з системою відходні. Найкращим вибором для менеджменту відходів підприємств є організація збору відходів усіх підприємств за системою “двері у двері”. Можна припустити, що ціна впровадження такого варіанта була б досить помірною.

Аналіз екологічного впливу показав перевагу залізничного транспорту над дорожнім. З точки зору охорони довкілля залізничний спосіб транспортування є виправданий. Однак цей варіант вимагає проведення детальнішого аналізу технічних та економічних аспектів.

Транспортування вантажівками вантажопідйомністю у 40 тонн було б економічно вигідніше та екологічно сприятливіше порівняно з варіантом вантажівок у 34 тонн.

Для визначення найбільш оптимального варіанта менеджменту відходів необхідним є багатокритеріальний аналіз із урахуванням законодавчих вимог, технічних можливостей, а також економічних, соціальних та політичних умов.

1. ISO, 1997. ISO 14040. *Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principe et cadre.* 2. Назарук М.М., Койнова І.Б. *Екологічний менеджмент. Запитання та відповіді: Навч. посібник.* – Львів, 2004. 3. INFRAS: MAILBACH, M., PETER, D., SEILER, B. (1995). *Ökoinventar Transporte – Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und für den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen.* SPP Umwelt, Modul 5. 4. FRISCHKNECHT, R., HOFFSTETTER P., KNOEPFEL I., MÉNARD M. (1996). *Ökoinventaire von Energiesystemen.* Gruppe Energie-Stoff-Umwelt ETHZ. 1800 p. 5. JOLLIET O. (2001). *Ecobilan. Analyse du cycle de vie. De la critique à la réalisation. Notes de lecture. Cycle d'études postgrades en ingénierie et système de management de l'environnement.* Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. – 117 p. 6. Goedkoop M.; 1995 a. *Manual Simapro 3, Pré Consultants, Netherlands.* 7. GOEDKOOPT M., SPRIENSMA R. (1999). *Eco-indicator 99, methodology report and appendix.* Pré Consultants, Netherlands. <http://www.pre.nl/eco-indicator99/index.html>.