



АНАЛІЗ ТА ПОБУДОВА КАРТИ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ ЯК ПОЧАТКОВА СТАДІЯ ОЖЦ_Тoc102552494

2.1 Аналіз матеріальних потоків: зміст та базова термінологія	1
2.2 Поняття системи та методологія АМП.....	4
2.3 Програмне забезпечення для АМП	11
Список використаних джерел:	12

2.1 Аналіз матеріальних потоків: зміст та базова термінологія

Аналіз матеріальних потоків (АМП, Material Flow Analysis) – системна оцінка потоків та запасів матеріалів в рамках певної системи, визначеної в просторі та часі. Через АМП поєднуються джерела, технології (шлях матеріалу), проміжні та кінцеві місця розміщення матеріалів. Результати АМП можна проконтролювати з допомогою простого матеріального балансу (порівнює всі входи, запаси та виходи процесу), адже в основі АМП – закон збереження речовини.

АМП – метод для прийняття рішень в управлінні ресурсами, відходами та екологічному менеджменті. АМП дає повний набір інформації про всі потоки та запаси конкретного матеріалу в рамках системи. Збалансування входів і виходів системи дозволяє визначити потоки відходів та джерела екологічного впливу. АМП традиційно поєднується з аналізом енергії, економіки, міським плануванням для прийняття кращих рішень.

АМП – це метод опису, дослідження та оцінки метаболізму антропогенних та геогенних систем. АМП визначає умови та процедури для розробки матеріальних балансів систем. Причому доцільним є проведення аналізу та прийняття рішення на основі балансів субстанцій, а не товарів.

Розрізняють різні типи (вчені пропонують) АМП: аналіз потоків субстанцій (SFA), аналіз елементарних потоків, аналіз молекулярних потоків. Втім, всі вони є деталізацією АМП, викладеного тут більш широко (такий, що містить аналіз товарів та субстанцій).

Облік матеріалів (як різновид АМП). Передбачає оновлення результатів АМП через вимірювання виключно ключових потоків та запасів. Під час обліку матеріалів застосовують аналіз часових рядів, що дає можливість виявити певні тренди. Облік матеріалів є інструментом контролю заходів в рамках ресурсного, екологічного менеджменту та управління відходами. Основою для обліку матеріалів є АМП, який дає повне бачення системи та її основних параметрів (потоків, запасів, концентрацій) для проведення рутинних операцій. Мета обліку матеріалів – знайти ключові параметри, які дають максимум інформації за мінімальних витрат. Облік матеріалів може бути застосований для систем будь-якого розміру: від одиничних компаній до національних економік.

Аналіз матеріальних потоків асоційованих з конкретною активністю дозволяє на ранніх стадіях виявити можливі майбутні екологічні проблеми (тому АМП розглядається як важлива складова ОЖЦ). У такому контексті проблема ставиться таким чином: Який набір процесів, потоків, запасів товарів, речовин та енергії забезпечить довгострокове, ефективне та стале постачання продовольства для зростаючої кількості населення? Коли альтернативні сценарії визначені, АМП дозволяє ідентифікувати ключові зміни в матеріальних потоках, тим самим оцінити наявні системи для забезпечення людських потреб (у харчуванні, транспортуванні та ін.), а також сприяти розробці більш ефективних систем.

Базовий принцип АМП: збереження речовини (входи дорівнюють виходам). Це метод, заснований на балансовому принципі.



Чому АМП важливий? цілями управління та інжинірингу є гарантування того, що 1) потоки та концентрації речовин у природних системах утримуються на рівні, який дозволяє цим системами належно функціонувати; 2) пов'язані з цими потоками витрати є посилюючими для економічних агентів та всіх залучених стейкхолдерів. Все це вимагає чіткого розуміння змісту та напрямів руху всіх потоків та речовин між соціально-економічною та природною системами. Без цього, рішення концентрувались би на пріоритетних джерелах та напрямках, а отже, досягнення системної ефективності було би неможливим. АМП забезпечує прозорість (чітке розуміння) функціонування системи.

Застосування в промисловій екології:

- Контроль руху та використання матеріалів та виробничих процесів;
- Створення замкнених виробничих процесів;
- Дематеріалізація виробництва (послуги замість продуктів – безпаперовий офіс);
- Систематизація моделей використання енергії;
- Приведення у відповідність виробничих процесів (входів та виходів) та можливостей природних екосистем.

Результати АМП відображають найбільш важливі процеси у життєвому циклі матеріалу, значимі запаси матеріалу в економіці та природному середовищі, найбільші викиди, та внутрішні ланцюги рециркуляції. АМП може бути використаний для порівняння процесів та систем, під час планування заходів в рамках цих процесів та систем. АМП є першим кроком ОЖЦ.

Застосування в управлінні ресурсами:

- прогнозування потреб та дефіциту ресурсів;
- ідентифікація акумуляції та вичерпання ресурсів в природних та людських системах;
- ув'язування ресурсного управління з екологічним менеджментом та управлінням відходами;
- підтримка стратегічних рішень щодо ресурсів.

Застосування в управлінні відходами (в регіоні Nordrhein-Westfalen (Germany) АМП встановлено як обов'язкову складову в плануванні управління відходами на законодавчому рівні):

- дослідження складу потоків відходів та їх структури;
- обґрунтування технології рециклінгу (через аналіз речовин в емісіях);
- обґрунтування та розробка належної системи поводження з відходами;
- скорочення відходів;
- розробка нових продуктів з меншою кількістю відходів, таких, що можуть бути перероблені чи повторно використані.

Оцінка людської поведінки: зокрема, з АМП вдалось з'ясувати, що кількість матеріалів, що використовуються для харчування та дихання для сучасної людини є незначною, тоді як матеріальний оборот дій з прибирання, мешкання, транспортування та комунікації є досить значним.

Цілі АМП: АМП є належним інструментом для дослідження потоків та запасів будь-якої системи, що має матеріальну природу. АМП дозволяє краще зрозуміти поведінку системи та, поєднаний з іншими дисциплінами (аналіз енергетичних потоків, економічний аналіз, аналіз поведінки споживачів) сприяє вдосконаленню контролю функціонування антропогенної системи.

Завданнями АМП є:

- Визначення та конкретизація системи матеріальних потоків та запасів через універсальні терміни;
- Зниження складності системи наскільки це можливо, за умови гарантування належної якості інформації для прийняття рішень;



- Оцінка значимих потоків та запасів в кількісних показниках, застосовуючи балансовий принцип та з урахуванням невизначеності та чутливості;
- Представлення результатів оцінки потоків та запасів у зрозумілий спосіб;
- Використання результатів АМП в управлінні ресурсами, природним середовищем, відходами (раннє виявлення проблем через ідентифікацію акумуляції / дефіциту ресурсів; визначення пріоритетів; розробка рішень, товарів, послуг, процесів, систем).

Разом із тим, АМП має й обмеження: використаний самостійно, цей метод не є достатнім для підтримки інженерних або управлінських рішень, але АМП є дуже важливим першим кроком та базою для застосування інших методів екологічного менеджменту.

Важливі терміни в методології АМП.

Матеріал – означає як субстанцію (простий тип речовини, що містить однорідні одиниці), так і товари (субстанції чи їх комбінації, що мають економічну цінність визначену ринковою ціною). Цінність може бути позитивною (машина, паливо, деревина) або ж негативною (тверді відходи, емісії). Хоча традиційно термін товари розглядається широко – з урахуванням також і нематеріальних товарів (енергії, послуг, інформації), в АМП товари – це лише матеріальні товари (хоча розуміння широти даної категорії під час застосування АМП та інтерпретації результатів є доцільним).

В АМП Субстанція (визначення) використовується виключно в розумінні з позицій хімічних наук. Субстанція – будь-який елемент чи складник, що містить однакові елементи. Всі субстанції характеризуються унікальним та ідентичним складом і, тим самим, є гомогенними. (З цього визначення стає зрозумілим, що деревина не є субстанцією). Товари складаються з декількох субстанцій.

Процес – транспортування, трансформація, чи зберігання матеріалів. Причому тут враховуються не лише процеси, що керуються людиною, а й природні (транспортування – рух викидів вздовж річки, рух газу в трубі, збирання відходів; трансформація – окислення карбону; зберігання – природне розкладання речовини).

Запаси – маси матеріалів в рамках аналізованої системи. Запас є частиною (характеристикою) процесу: процес складається з мас речовини, що зберігається в рамках цього процесу. Запаси є суттєвими характеристиками системного метаболізму. Для збалансованої системи (входи рівні виходам) середній час перебування матеріалу у формі запасу може бути порохований діленням маси речовини в запасі на матеріальний потік в/з запаси системи. Запаси можуть бути стабільними, зростати (акумуляція речовини), зменшуватись (вичерпання речовини).

Процеси поєднуються потоками (маса за одиницю часу) чи їх надходженням (маса за одиницю часу та відносно певного показника). Потоки та надходження поза межами системи називаються імпортом / експортом; ті, які надходять у систему – входами; які покидають систему – виходами.

На додаток до базових категорій АМП, термін активність (операція, дія) також є важливим для оцінки та дизайну нових антропогенних процесів та систем. Активність – це набір систем необхідних для задоволення конкретної базової людської потреби (харчування, розміщення, транспорт, комунікація). Незалежно від географічних меж чи економічного розвитку, базовими людськими потребами є потреби у їжі, чистому повітрі для дихання, приміщеннях для життя, потреби у комунікаціях, транспортуванні та ін. Метою виокремлення активностей (що охоплює всі процеси, потоки та запаси, необхідні для задоволення певної потреби) є аналіз та визначення найкращого способу задоволення потреб людини (з урахуванням можливостей природи та економічних обмежень). Найбільш важливі активності: харчування (виробництво, переробка, дистрибуція, споживання їжі та поводження з відходами та емісіями); чищення (миття, видалення відходів, прибирання, прання; чищення у промисловості); розміщення та робота (будівництво, обслуговування, утримання та експлуатація будівель для життя та роботи; одяг); транспорт та комунікація (транспортування



енергії, матеріалів, людей, інформації, будівництво інфраструктури та виробництво, експлуатація технічних засобів). Один процес може належати декільком активностям.

2.2 Поняття системи та методологія АМП

Система – це об’єкт дослідження в АМП. Система визначається групою елементів, взаємозв’язками між елементами, а також межами між цими та іншими елементами в просторі та часі. Відкриті системи – взаємодіють з оточенням; закриті – ні. В АМП елементами системи є процеси, пов’язані потоками. Система складається з набору матеріальних потоків, запасів та процесів в рамках визначених меж.

Найменша можлива система складається з одного процесу. Традиційно, системами, щодо яких застосовується АМП, виступають:

- регіон;
- муніципальна система поводження з відходами;
- приватне домогосподарство;
- завод;
- ферма.

Межі системи визначаються в просторі (географічно або віртуально – завод; домогосподарство, визначення процесів) та часі. Коли межі системи в часі визначено, встановлюються такі критерії: об’єктивність, доступність даних, належний період для збалансування, час перебування матеріалів в запасі та ін.

Часові межі системи – це відрізок часу, за який досліджується система. Вони залежать від типу системи та цілей аналізу. Теоретично, часові межі можуть коливатись від 1 секунди (процес горіння) до більш ніж 1000 років (функціонування звалищ відходів). Традиційно використовуються такі межі: 1 година, 1 день, 1 рік.

Просторові межі – географічні або ж віртуальні. Для виробничих систем, під час застосування АМП у промисловій екології, межі системи мають бути визначені таким чином, що поєднують виробничу систему та природну (від колиски до могили). (Brunner & Rechberger, 2004, p. 35)

Приклад аналізу матеріальних потоків міста Відень зображено на рис. 2.1

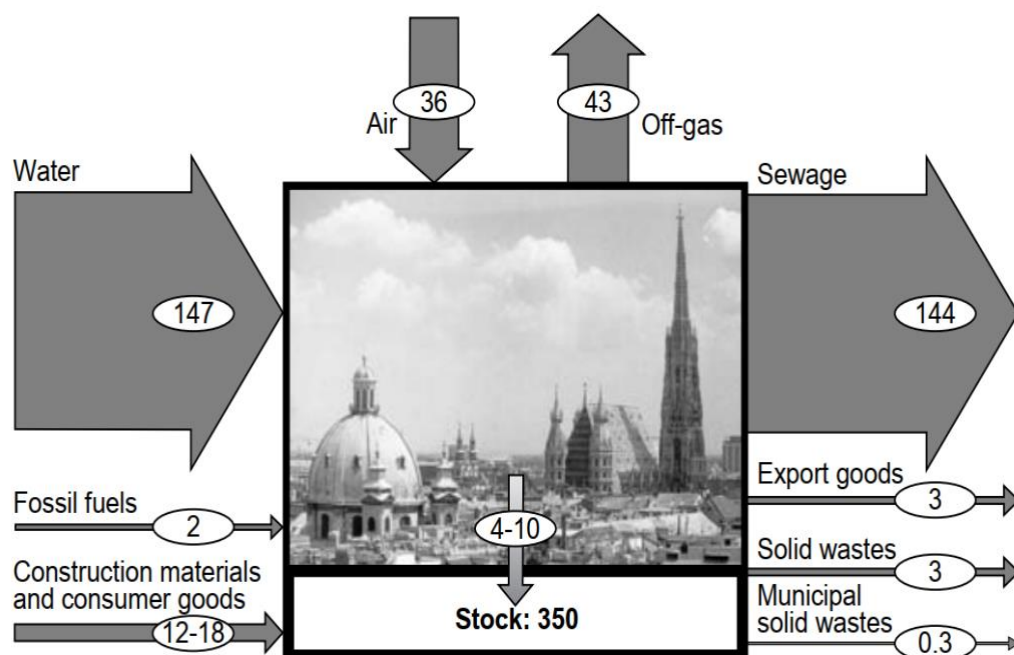


Рисунок 2.1 – Матеріальні потоки м. Відень, 1990 р., у тонах



Co-funded by
the European Union



<https://bit.ly/3Bbvquw>



Sumy National
Agrarian University

Джерело: (Brunner & Rechberger, 2004, p. 24)

Першим кроком АМП є складання балансу маси товарів для досліджуваної системи. Це є основою для визначення балансів конкретних субстанцій. Саме такий порядок є головним принципом поєднання аналізу товарів / субстанцій в АМП. Це дає змогу сформувати належну інформаційну основу про склад процесів задля аналізу субстанцій: контролювати надходження субстанцій через контроль потоку товарів, в яких вони містяться; визначати концентрацію речовини у складі товару; також розробка балансів маси для товарів та субстанцій дає змогу вчасно виявити помилки в аналізі.

Методологія АМП полягає у візуалізації матеріальних потоків досліджуваної системи. При цьому слід дотримуватись ряду правил, які, зокрема, стосуються використовуваних символів і позначок. Основні символи, що використовуються в МФА, зображено на рисунку (Рис. 2.2).

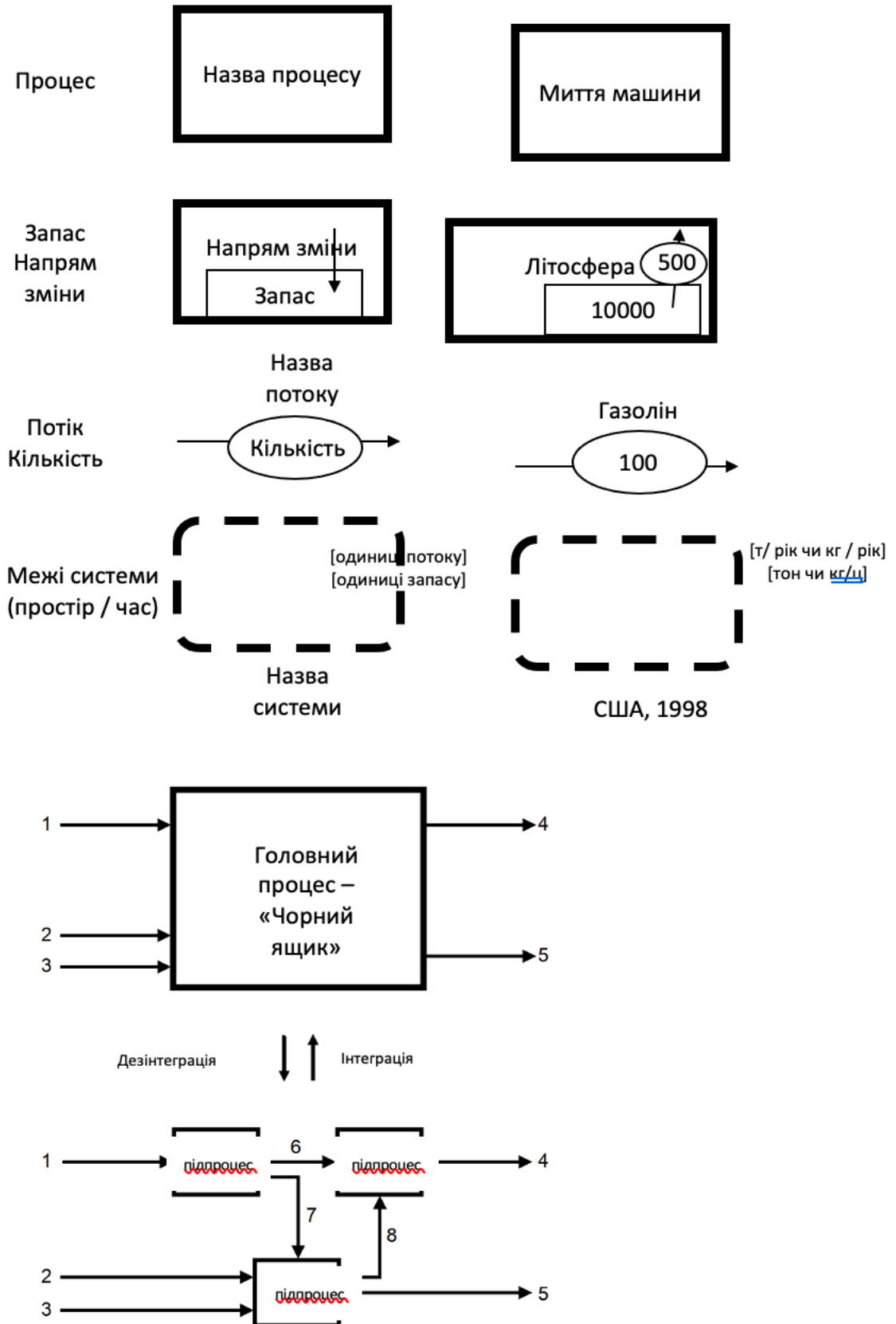


Рисунок 2.2 – Основні символи, що використовуються для побудови карт матеріальних потоків

Джерело: (Brunner & Rechberger, 2004, p. 32); (Brunner & Rechberger, 2004, p. 32) с. 39

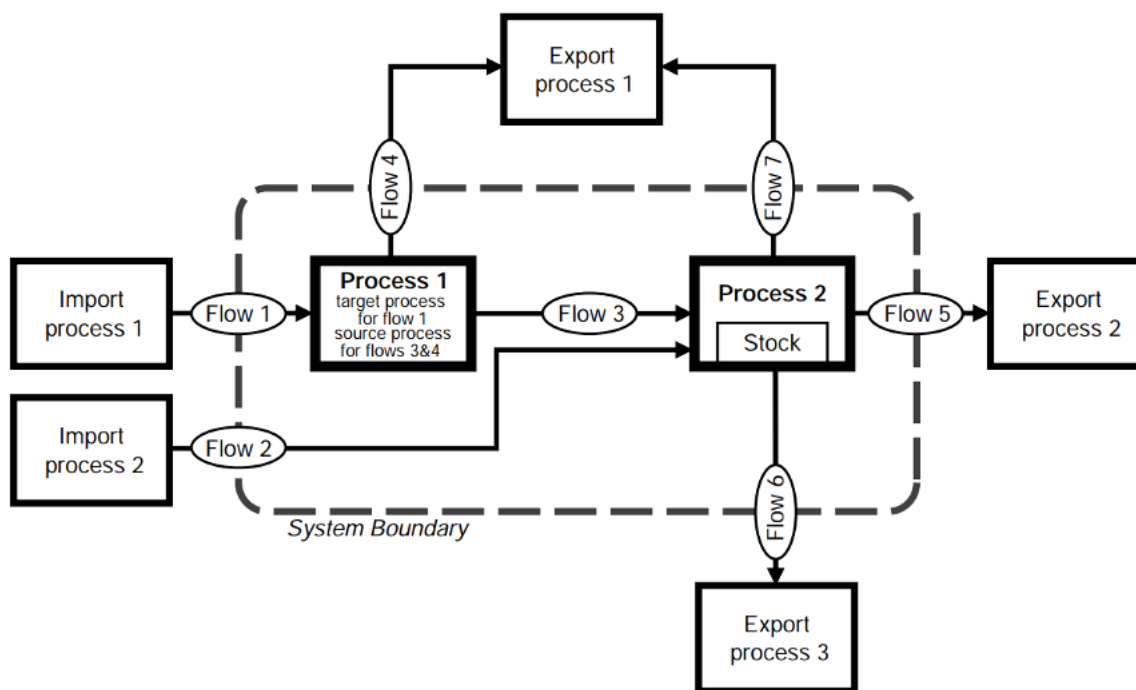


Рисунок 2.3 – Приклад зображення системи та матеріальних потоків в АМП (Brunner & Rechberger, 2004, p. 42)

Процес транспортування слід розуміти як зміну місця розташування матеріалу; цей процес охоплює всі матеріальні потоки, необхідні для транспортування та всі виходи, що є результатом транспортування (викиди, емісії).

В АМП може бути застосований підхід «чорний ящик», за якого процеси всередині системи не мають значення та не вивчаються: важливі лише входи та виходи. Якщо ж такий підхід не застосовується, то кожен процес в АМП має бути зображений також разом із під-процесами.

Прикладами процесів зберігання є домогосподарства, де «зберігаються» різні побутові речі впродовж декілька років. У даному контексті зберігаються не означає, що вони не використовуються. Це, скоріше – розташовані, перебувають, знаходяться. В АМП розрізняють особливу категорію процесів зберігання – місця кінцевого розміщення (final sinks) – місця (процеси, активності), де матеріали перебуватимуть дуже довго (більше за тисячу років). Природні процеси зберігання – атмосфера, океан, ґрунти.

Потоки та надходження. Потік – маса за одиницю часу, а надходження – маса за одиницю, поділена на одиницю сукупності. Надходження – це конкретизований потік (вхід або вихід). Інтеграція (сума) всіх надходжень в рамках сукупності сприймаючих елементів – це загальний потік. Традиційно в АМП в якості елементів сукупності розглядаються люди, площа поверхні, чи юридичні особи такі як домогосподарства або ж підприємства.

Перевагою використання надходжень є те, що вони дозволяють порівнювати процеси та системи між собою. Надходження – це конкретний показник, конкретна одиниця.



Таблиця 2.1 – Приклади потоків та надходжень (Flux)

Речовина	Система	Референтна величина	Кількісне значення референтної величини	Потік	Надходження
Споживання паперу	Швейцарія	населення Швейцарії	7,3 млн	1,8 млн т/рік	246 кг паперу на людину на рік
Поводження з відходами	Спальовач відходів	площа	50 м ²	15 т відходів / год	300 кг відходів на м ² *год
Викиди SO ₂	Швейцарія	площа держави	42 000 км ²	30000 т SO ₂ /рік	0,7 г SO ₂ на м ² *рік
Загальне надходження азоту	Відень	площа міста	415 км ²	1400 т азоту / рік	3,4 г азоту на м ² в рік

Джерело: (Brunner & Rechberger, 2004, p. 41)

Для опису системи та складання карти матеріальних потоків в АМП для позначення потоків та надходжень використовуються стрілки, обов'язково з позначенням місця входу та виходу. Потік матеріалів позначається "m", а потік субстанцій – "X". Трансфертний коефіцієнт (ТК) характеризує частку субстанції у вихідному потоці (рис. 2.4).



Трансфер субстанції X у вихідний потік 2 визначається як:

$$TC_2 = \dot{X}_{0,2} / \sum_i \dot{X}_{1,i}$$

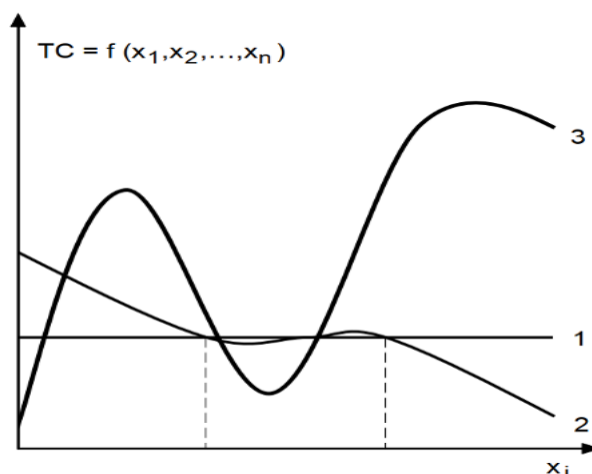


Рисунок 2.4 – Різні типи трансфертних коефіцієнтів: TC1 – не залежить від параметру x_i ; TC2 можна розглядати як постійний в певних межах x_i ; TC3 – дуже чутливий до зміни параметру x_i .

Джерело: (Brunner & Rechberger, 2004)

Принцип розрахунку трансфертних коефіцієнтів є таким (ф. 2.1, 2.2) (Brunner & Rechberger, 2004, p. 42):



$$TC_i = \frac{\dot{X}_{O,i}}{\sum_{i=1}^{k_I} \dot{X}_{I,i}} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^{k_O} TC_i = 1 \quad (2.2)$$

де k_I – кількість вхідних потоків; k_O – кількість вихідних потоків.

Трансферні коефіцієнти визначаються для кожного виходу продукту чи процесу. Помножений на 100, ТК позначає відсоток загального використання субстанції для конкретного виходу продукту. Це показник, що конкретизує використання субстанції. ТК залежать від технології та характеризують процес. ТК не обов'язково є постійними: вони можуть змінюватись залежно від умов процесу, а також від складу входів процесу. Іноді ТК можуть розглядатись як постійні в певних заданих межах, що робить їх придатними для аналізу чутливості досліджуваної системи та розробки різних сценаріїв її поведінки.

Процедура АМП складається з таких основних етапів (Рис. 2.5):

- 1) Ідентифікація проблеми та постановка цілей;
- 2) Встановлення меж системи, процесів, товарів та субстанцій;
- 3) Оцінка маси потоків товарів та субстанцій;
- 4) Підрахунок потоків та запасів субстанцій з урахуванням невизначеності;
- 5) Презентація результатів.

Під час вибору субстанцій можна виходити з таких правил: аналіз законодавства – які речовини підлягають регулюванню (охорона атмосфери, води, ґрунтів)? аналіз специфікацій та контрактів, стандартів якості продукції. Важливим також є визначення ролі субстанцій в потоках товарів (значущості). Загальний алгоритм при цьому є таким:

1) згрупувати всі потоки що надходять або виходять з системи у три групи: тверді речовини, рідкі та газоподібні;

2) для кожної групи оберіть наскільки можна повно інформацію про потоки (як мінімум 90% загальної маси потоку має бути ідентифіковано) – це дозволяє отримати інформацію про важливі потоки товарів системи;

3) для визначення показника для субстанції знайдіть відношення концентрації субстанції в обраному потоці товарів до геогенної (стандартної) концентрації цієї субстанції. Для твердих матеріальних потоків середні концентрації у земній поверхні можуть бути використані, для рідких – концентрації у водних об'єктах, для газоподібних – концентрації у атмосфері. Субстанції з відношенням більше 10 – є пріоритетними для дослідження; якщо всі субстанції мають значення відношення менше 10, оберіть ті, які мають найвищі значення.

Системи різняться складністю, а кількість процесів та рівень їх деталізації визначаються цілями та особливостями дослідження. Як правило, система з кількістю процесів більше 15 розглядається як занадто складна, а тому має бути спрощена. Одне з завдань АМП – спрощення (скорочення кількості параметрів, що досліджуються, наскільки це можливо). Тому можна навіть застосовувати підхід до групування субстанцій та ідентифікації їх через елементний показник. Групування здійснюється за специфічною фізичною, хімічною, біохімічною поведінкою, яка властива всім субстанціям у групі. Наприклад, за поведінкою при нагріванні та спалюванні.

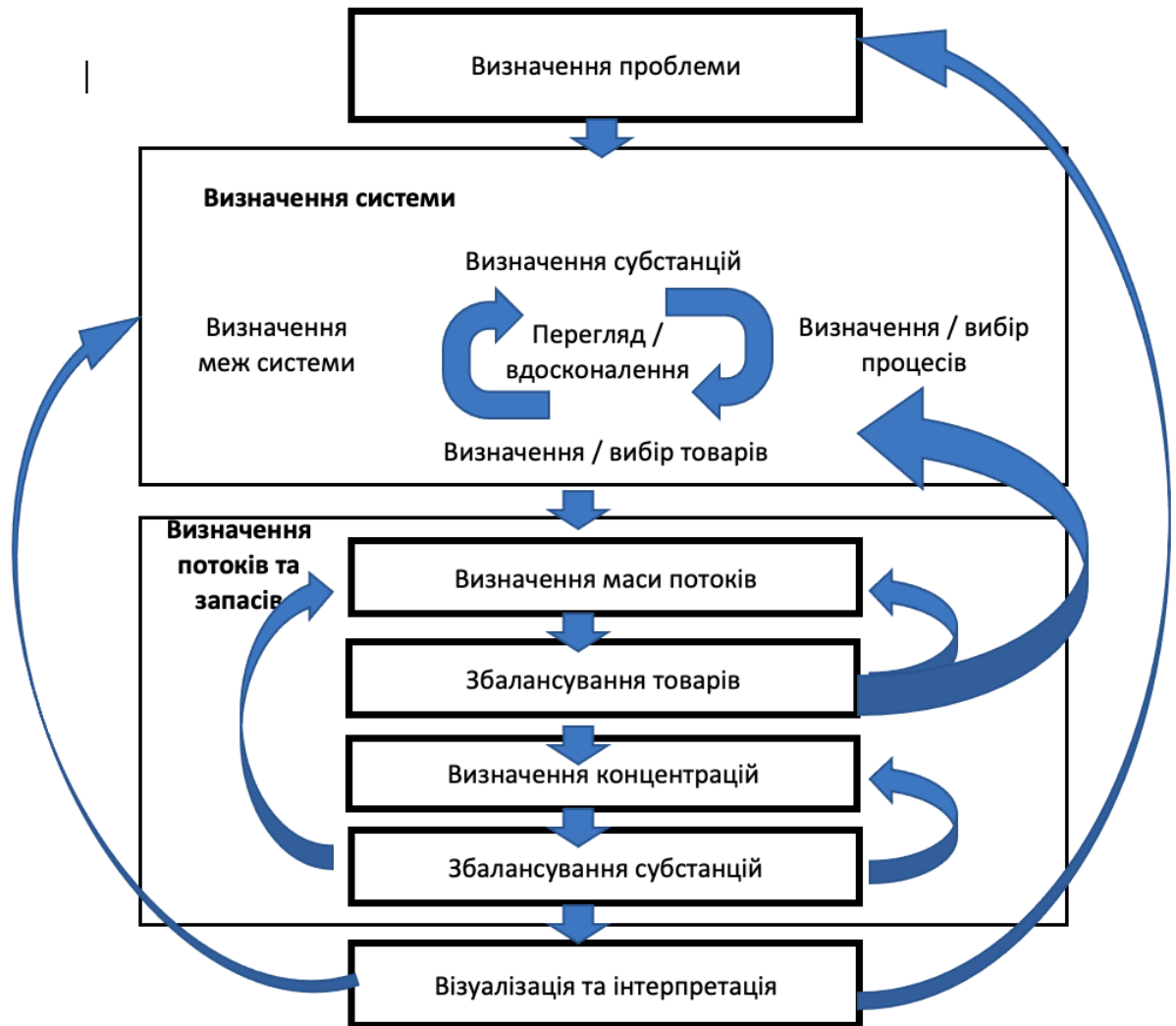


Рисунок 2.5 – Етапи АМП як ітеративного процесу
Джерело: (Brunner & Rechberger, 2004, р. 54)

Вибір субстанцій здійснюється з огляду на предмет дослідження, потрібну точність, доступні ресурси (фінансові та людські) для проведення АМП. Як правило, багато антропогенних та природних систем можуть бути охарактеризовані незначною кількістю субстанцій (5-10). Найбільш часто використовувані субстанції при АМП охоплюють: вуглець, азот, фтор, фосфор, хлор, залізо, мідь, цинк, кадмій, ртуть, свинець.

Визначення релевантних потоків, запасів, процесів. Після визначення субстанцій та меж системи здійснюється первинне балансування товарів для системи. Інформація про матеріальні потоки може бути зібрана з відкритих джерел, даних компаній, національної статистики, даних експертів чи державних установ. Як правило, матеріальними потоками, що охоплюють менше за 1% загального матеріального обороту системи, нехтують (хоча у подальшому слід перевірити зв'язок цих незначних потоків із балансом субстанцій та цілями дослідження).

Формула 2.3 ілюструє основне рівняння АМП, яке дозволяє перевірити правильність обчислень та визначити помилки, пропущені процеси чи потоки. Це рівняння застосовується як до процесів, так і до системи.

$$\sum_{k_I} \dot{m}_{input} = \sum_{k_O} \dot{m}_{output} + \dot{m}_{storage} \quad (2.3)$$

Визначення маси потоків, запасів та концентрацій. Інформація про маси потоків може бути знайдена з різних баз даних, безпосередньо зібрана на об'єкті аналізу. Пошук, збирання,



оцінка та обробка інформації є ключовими елементами АМП. При цьому окремі потоки можуть бути оцінені за припущеннями, порівнянням з подібними системами, або за орієнтовними даними.

Оцінка загального матеріального потоку та запасів: потік субстанції (X) що пов'язаний із потоком товарів може бути прямо кількісно визначений виходячи з маси потоку товарів (m) та концентрацій субстанції в цих товарах (ф. 2.4):

$$\dot{X}_{ij} = \dot{m}_i \cdot c_{ij} \quad (2.4)$$

де $i = 1, \dots, k$ – індекс для товарів; $j = 1, \dots, n$ – індекс для субстанцій.

Принцип збалансування застосовується до всіх субстанцій в кожному процесі в системі в цілому. Для товарів, причиною несходженні балансу можуть бути пропущені матеріальні потоки, що визначаються на етапі балансування товарів. Інша причина – помилки у концентраціях речовин. Балансова різниця між виходами та входами у 10 % є звичайною та, як правило, не значущою для висновків. Баланси можуть бути оптимізовані, а пропущені дані – відновлені з допомогою математичних та статистичних методів. Таблиця 2.2 демонструє загальний вигляд бази даних для АМП.

Таблиця 2.2 – База даних для аналізу матеріальних потоків: загальний вигляд.

Товари	Розмір потоку, т/рік	Концентрація субстанції, мг /кг			Розмір потоку субстанції, кг/рік		
		C1	C2	C3...Cn	C1	C2	C3...Cn
T1	m1	c11	c12	c13... c1n	X11	X12	X13... X1n
T2	m2	c21	c22	c23... c2n	X21	X22	X23... X2n
T3	m3	c31	c32	c33... c3n	X31	X32	X33... X3n
...
Tk	mk	ck1	ck2	ck3... ckn	Xk1	Xk2	Xk3... Xkn

Джерело: (Brunner & Rechberger, 2004, p. 62)

Оцінка маси запасів:

- 1) пряма оцінка (вимірювання) запасу – для тих процесів, де запас залишається стабільним впродовж тривалого часу
- 2) оцінка як різниця входів і виходів для заданого проміжку часу – для процесів, де запаси мінливі (ф. 2.5).

$$m_{\text{stock}}(t) = \int_{t_0}^t \dot{m}_{\text{input}}(\tau) d\tau - \int_{t_0}^t \dot{m}_{\text{output}}(\tau) d\tau + m_{\text{stock}}(t_0) \quad (2.5)$$

Презентація результатів. Для АМП важливою складовою є візуалізація, тож традиційним є використання діаграм потоків (карт потоків).

2.3 Програмне забезпечення для АМП

З часу створення програмного забезпечення для ОЖЦ (кінець 80х – початок 90х років ХХ століття) трудомісткі розрахунки в рамках аналізу матеріальних потоків також успішно заміщуються використанням відповідного програмного забезпечення. У книзі Бруннера та Рехбергера (2004) здійснено порівняльний аналіз використання таких програм в цілях АМП: GaBi, Umabrto+, Excel (Brunner & Rechberger, 2004). За результатами авторами було зроблено висновок про те, що Excel є кращим з-поміж названих інструментів, оскільки дозволяє зробити аналіз більш індивідуальним та налаштувати його під потреби користувача. Разом із тим, з тих пір минуло багато часу і були як вдосконалені існуючі програмні засоби, так і розроблені нові. З урахуванням результатів останніх досліджень в цій галузі, можемо узагальнити деяку



інформацію щодо існуючих програмних засобів, які можуть бути використані в цілях аналізу матеріальних потоків (Табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Програмне забезпечення для аналізу матеріальних потоків

Програмне забезпечення	Умови використання	Специфіка	Розробник	Додатково
OMAT (Online Material Flow Analysis Tool) https://archive.metabolismofcities.org/omat/about	безкоштовно, web, за умови реєстрації, англійська наявна	EW-MFA (розширений екологічний АМП, регіональний)	Digital research lab & partners	апробація (Villalba & Hoekman, 2017) + відео-інструкції на сайті
STAN (short for subSTance flow ANalysis) https://www.stan2web.net	безкоштовно, web, за умови реєстрації, англійська та німецькі версії, лише для OS Windows	Відповідно до стандарту ÖNorm S 2096	Institute for Water Quality, Resource and Waste Management, Technische Universität Wien	апробація (Cencic & Rechberger, 2008) + відео-інструкції на сайті + керівництво на сайті
e!Sankey https://www.ifu.com/e-sankey/online-shop/ (Umberto)	14 днів безкоштовно, демо-версія, доступно англійською	аналіз матеріальних потоків та побудова діаграм (карт) потоків	iPoint-systems	апробація (Brunner & Rechberger, 2004)
GaBi https://gabi.sphera.com/international/index/	30 днів безкоштовно, демо-версія	АМП як частина ОЖЦ	Sphera	апробація (Brunner & Rechberger, 2004)

Джерело: власні дослідження автора

Незважаючи на простоту АМП (як здається), сучасні напрями досліджень та практичного використання методології аналізу матеріальних потоків охоплюють:

- машинне навчання та big data в АМП;
- розширення сфер застосування АМП та аналізованих субстанцій;
- проведення досліджень матеріальних потоків у глобальній системі (рис. 2.6)
- застосування АМП для розбудови ланцюгів постачання відповідно до моделей циркулярної економіки;
- застосування АМП для дослідження урбанізованих екосистем та ін.

Список використаних джерел:

1. Villalba, G., & Hoekman, P. (2017). Using web-based technology to bring hands-on urban material flow analysis to the classroom. *Journal of Industrial Ecology*, 22(2), 434–442. <https://doi.org/10.1111/jiec.12553>
2. Austrian standard ÖNorm S 2096 (Material flow analysis - Application in waste management). <https://www.bdb.at/Service/NormenDetail?id=187852> (Accessed 29 March 2022).



3. Cencic, O., & Rechberger, H. (2008). Material Flow Analysis with Software STAN. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 18, (1), 5. <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol119/0440.pdf> (Accessed 29 March 2022).
4. Cencic, O. (2016). Nonlinear data reconciliation in material flow analysis with software STAN. *Sustainable Environment Research*, 26, (6), 291-298. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2016.06.002>
5. LCA Software GaBi in 5 minutes - the No. 1 Product Sustainability Software <https://www.youtube.com/watch?v=ETWsM4RRcRc> (Accessed 29 March 2022).
6. MOOC on Urban metabolism with OMAT <https://archive.metabolismofcities.org/mooc> (Accessed 29 March 2022).
7. Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2004). *Practical handbook of material flow analysis*. CRC/Lewis.
8. Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). *Handbook of Material Flow Analysis For Environmental, Resource, and Waste Engineers*. Second Edition. CRC.