

ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ ТА ТЕРМОЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

М.Д. Кізеєв, к.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, 33028 м. Рівне, Україна,
E-mail: m.d.kizeev@nuwm.rv.ua

Ефективність і досконалість процесів, що протікають на каналізаційних очисних спорудах (КОС), оцінюється за допомогою аналізу матеріальних та енергетичних балансів [1]. Однак у цих балансах всі види речовини та енергії розглядаються без врахування їх якості, тобто практичної придатності, що не дає змоги оцінити і оптимізувати процеси, що відбуваються на КОС. У зв'язку зі збільшенням енергетичних навантажень та значним подорожчанням традиційних видів енергії, з'явилися принципово нові структурні та технологічні рішення, які сприяють більш повному використанню енергетичних ресурсів стічних вод (СВ) на КОС, а отже, і підвищенню їх ефективності. Сучасні КОС великої продуктивності містять такі елементи, як метантенки, котельні, газогенератори і мікротурбіни, теплові насосні установки тощо. Необхідність підвищення енергоефективності КОС приводить до ускладнення структури виробництва, мета якого - максимальне використання енергії технологічних потоків усередині КОС без підведення енергії ззовні. Проте це завдання пов'язане з правильною оцінкою якості енергетичних потоків і, як наслідок цього, з вибором оптимального рівня енергії, що циркулює в контурах КОС, і з доцільністю використання деяких видів енергії взагалі. Наприклад, в енергетичному балансі КОС тепла енергія пари з котельні, що підігріває осад в метантенках, розглядається нарівні з теплом, що віддають стінки обладнання і споруд в навколишнє середовище. Проте практична можливість використання цих видів тепла різна, і тим менше, чим ближче температура джерела тепла до температури навколишнього середовища.

З точки зору технічної застосованості цінність будь-якої енергії визначається не тільки кількістю, але й тим, якою мірою вона може бути в даних умовах використана, тобто перетворена в інші види енергії. Міра ресурсів оборотної енергії системи була названа ексергією системи [2]. Ексергія КОС залишається незмінною тільки при оборотному проведенні всіх процесів, що протікають як усередині споруд, так і при їх взаємодії з навколишнім середовищем, що має постійні параметри. Різниця загальної величини ексергії, що вводиться в систему E_{ex} і виводиться з неї $E_{вих}$, визначає загальну величину втрат від незворотності в системі.

$$\sum E_o = \sum E_{ex} - \sum E_{вих} \geq 0 \quad (1)$$

Відношення ексергії, що відводиться із системи, до підведеної ексергії представляє собою коефіцієнт корисної дії - ексергетичний к. к. д., який характеризує ступінь наближення даного процесу до ідеального.

$$\eta = \frac{\sum E_{\text{ах}}}{\sum E_{\text{ах}}} = \frac{\sum E_{\text{ах}} - \sum E_{\text{о}}}{\sum E_{\text{ах}}} = 1 - \frac{\sum E_{\text{о}}}{\sum E_{\text{ах}}} \quad (2)$$

Ексергетичний к. к. д. може бути використаний для оцінки ефективності функціонування складових елементів КОС (окремих споруд і установок).

Для визначення величини втрат ексергії або ексергетичного к. к. д. необхідно скласти ексергетичний баланс КОС, для чого необхідно визначити ексергію кожного виду енергії. У загальному випадку вираз для визначення ексергії записується таким чином:

$$E = E_p + E_k + \Delta_0 E + E_{ch}, \quad (3)$$

де E_p , E_k , $\Delta_0 E$, E_{ch} – потенційна, кінетична, фізична та хімічна ексергії.

Потенційна і кінетична ексергії, співпадають за своїми значеннями з відповідними видами енергії. Фізична ексергія, це частина ексергії, яка є результатом розбіжності температури T і тиску P розглянутої речовини з температурою T_0 і тиском P_0 навколишнього середовища. Ексергія, що виникає із-за відмінності складів речовин, називається хімічною ексергією. При аналізі роботи КОС найважливішими є дві складові ексергії: фізична і хімічна, які разом складають термічну ексергію (E_t). Ексергії матеріальних потоків (E_n) і потоків тепла (E_t) розраховуються за виразами (4) і (5).

$$E_n = E_p + E_k + \Delta_0 E + E_{ch} = (I - I_0) - T_0(S - S_0) + \sum (\mu_i - \mu_0) N_i + E_k + E_p \quad (4)$$

де I , S - ентальпія і ентропія технологічного потоку;

μ_i , N_i - хімічний потенціал і мольний зміст i -го хімічного компоненту потоку; індекс 0 відноситься до термодинамічних функцій, визначених при параметрах навколишнього середовища.

$$E_t = Q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right), \quad (5)$$

де Q - потік тепла.

При аналізі роботи КОС на основі складання ексергетичних балансів і дослідження втрат ексергії можна отримати лише якісну оцінку ефективності. Для визначення кількісних показників ефективності роботи і ступеня досконалості КОС пропонується використовувати термoeкономічний підхід, який полягає в комбінації термодинамічного (ексергетичного) аналізу [2] та економічної оптимізації [1]. Термодинамічний аналіз описує і вивчає загальну спрямованість перебігу процесу, закономірності переносу маси і енергії, а також встановлює загальні альтернативи реалізації процесу.

Економічна оптимізація пов'язує між собою термодинамічно бажані альтернативи і капітальні та експлуатаційні витрати КОС з метою досягнення мінімальної вартості одиниці продукції (собівартості очищення СВ та оброблення продуктів їх очищення) - це найбільш загальне трактування принципу термoeкономіки. Оптимальне узгодження ексергетичного балансу з капітальними та експлуатаційними витратами буде відносно простим, якщо

на КОС є єдиний елемент, в якому відбуваються втрати ексергії, тобто є лише одна ступінь свободи. Однак реальні КОС завжди володіють великою кількістю ступенів свободи, що веде до накладення на потоки ексергії великого числа внесків «вартості» за допомогою втрат і капітальних витрат. Відповідно до загальної концепції термoeкономіки у завдання оптимізації входить мінімізація вартості одиниці ексергії, для чого всі її потоки можна виразити через вартість, що дозволяє зіставляти перетворення ексергії, тобто втрати ексергії і вартість технічних заходів, спрямованих на зменшення втрат ексергії. Отже, критерій оптимізації в термoeкономіці буде композицією адитивних функцій, які вимірюють ексергію, вартість і експлуатаційні витрати обладнання та інші аналогічні витрати в грошових одиницях. У найбільш загальній формі термoeкономічний критерій запишеться таким чином [3]:

$$\min_{\{U\}} C = \min_{\{U\}} \left(\frac{\sum_i C_{ei} E_i + \sum_n K_n}{\sum_k E_{pk}} \right), \quad (6)$$

де C - вартість одиниці ексергії очищених СВ або продуктів їх очистки;
 E_i - ексергія СВ, що обробляються, і енергії, що споживається на КОС;
 C_{ei} - вартість одиниці ексергії відповідних потоків СВ та продуктів їх очищення або енергії;

E_{pk} - ексергія очищених СВ та продуктів їх очищення;

K_n - капітальні та інші зв'язані витрати для n -й підсистеми КОС;

$\{U\}$ - сукупність значень параметрів, серед яких шукається мінімум.

Із загального виразу (6) можна отримати конкретні форми критеріїв оптимізації для тих чи інших КОС, що характеризуються специфічними умовами їх роботи. Залежно від конкретних умов КОС та типу задачі оптимізації вони можуть бути використані як термoeкономічні критерії.

Література

1. Кізеєв М. Д., Кухар А. М., Швороб С. В. Техніко-економічна оптимізація проектних рішень для будівництва та реконструкції систем водовідведення / В: Вісник СХУ ім. В. І. Даля. № 4 (110). Ч. 2., Луганськ, стр. 86-91. 2007.

2. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. Пер. с польского Ю. И. Батурина и Д. Ф. Стржижовского под ред. В. М. Бродянского. Перераб. и доп. изд., М., Энергия, 1968. - 279 с.

3. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств. - М.: Химия, 1982. - 288 с