

КОНЦЕПТУАЛЬНІ АСПЕКТИ ЕКСЕРГОЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ ТЕПЛОБІМННИХ АПАРАТІВ

*С.І.Пастушенко, доктор технічних наук, професор
Миколаївський державний аграрний університет*

Висловлено основні положення методу розрахунку ексерго-економічної оптимізації теплообмінного апарату.

Изложены основные положения метода расчета эксерго-экономической оптимизации теплообменного аппарата.

Постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими завданнями.

Розгляд існуючих методів аналізу синтезу і оптимізації технічних систем показує, що одними з самих всеосяжних і такими, що дають конкретні оцінки як в енергетичному, так і в економічному відношеннях, є графотопологічний і ексергоекономічний методи.

Відмітимо, що вони взаємозв'язані — перший метод може служити вихідною позицією для другого. Тому, для енергетичної оцінки технічних систем останніми роками достатньо часто звертаються до методу ексергетичного аналізу, який дозволяє враховувати не тільки кількість, але і якість потоків енергії [1]. Цей метод вдало поєднується з теорією графів. Побудований з його використанням ексергетичний потоковий граф з точністю до ізоморфізму відповідає схемі даної технічної системи, що значною мірою забезпечує облік всіх основних параметрів її функціонування [2]. На користь ексергетичного балансу, в порівнянні з енергетичним говорить той факт, що ексергетичний баланс у всіх випадках показує втрати від безповоротності в системі. Енергетичний баланс, заснований на законі збереження енергії, за своєю природою не може відобразити втрати від безповоротності процесів в даній системі (а вони значною мірою визначають втрати в системі), через те, що незалежно від ступеня її термодинамічної досконалості рівняння енергетичного балансу завжди справедливо. Тому визначення якісних енергетичних характеристик системи в даному

випадку проводиться умовно, шляхом виключення із сумарної енергії тієї її частини, яка в даному випадку не використовується (відповідно до законів фізики не є втрата).

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких закладено рішення даної проблеми.

Ексергетичний аналіз закладений у фундамент методу ексерго-економічної оптимізації технічних систем. Власно сам метод був сформульований завдяки роботам зарубіжних авторів А. Bejan, М. Moran [3], G. Tsatsaronis [4]., У. El-Sayed, R. Evans [5]. Відмітна особливість цього методу полягає в тому, що він дозволяє отримати як енергетичну, так і економічну (виражену в грошовому відношенні) оцінку аналізованої технічної системи.

Формулювання мети статті.

У даній статті викладено методи рішення задач оптимізації, засновані на графотопологічній і ексергоекономічній концепціях, на прикладі застосування їх до оптимізації теплообмінного апарату.

Математична модель цієї задачі має наступний вигляд.

Дано:

$$P = F(m, M, X, Y, S^*, V, A, Z_n). \quad (1)$$

Необхідно визначити: G, K, T, ψ , при яких досягається оптимум критерію ефективності Z^{opt} .

Тут прийняті позначення: F – вектор-функція; m – безліч різноманітних типів аналізованої системи; M – безліч різноманітних типів апаратів; X – вектор вхідних параметрів; Y – вектор вихідних параметрів; S^* – бажані значення характеристик функціонування системи; V – параметри навколишнього середовища; A – сучасний рівень інженерно-апаратного оформлення системи, що синтезується; Z_n – граничне оптимальне значення вибраного критерію ефективності; G – структура системи; K – конструкційні параметри апаратів; T – технологічні параметри системи; ψ – склад і параметри проміжних потоків системи.

Виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Оптимізація полягає у знаходженні мінімуму сумарних дуг, що входять в граф, тобто у визначенні мінімальних шляхів для теплоносіїв.

Іншими словами, необхідно мінімізувати функцію

$$Z = \sum_i \sum_j Z_{ij} a_{ij} \quad (2)$$

для всіх $i, j \in$ мережі, $i \in A; j \in A; i = 0, 1, 2, \dots, n; j = 0, 1, 2, \dots, n$ — номери вершин; Z_{ij} — вага дуги i, j , тобто приведені витрати на експлуатацію теплообмінника (або витрати на використану енергію).

Для кожного елемента приведені витрати рівні:

$$Z = \Pi_{\text{э}} \Pi_{\text{ex}} + E_n \text{KF}, \quad (3)$$

де $\Pi_{\text{э}}$ — вартість одиниці ексергії (за тарифами на електроенергію); Π_{ex} — втрати ексергії в даному елементі теплообмінника (або в теплообміннику в цілому); E_n — нормативний коефіцієнт окупності капітальних вкладень; KF — капітальні витрати на теплообмінний пристрій.

Значення a_{ij} повинні задовольняти умові:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i, j \text{ входить до шляху, що розглядається;} \\ 0, & \text{у зворотньому випадку.} \end{cases}$$

Граничні умови формулюються таким чином:

$$\sum_j A_{kj} - \sum_j A_{ki} = \begin{cases} 1, & k = S \text{ (фіктивне джерело);} \\ 0, & \text{для всіх інших значень } k; \\ -1, & \text{для } k = m \text{ (фіктивний сток).} \end{cases}$$

Використаємо цю концепцію до оптимізації теплообмінного апарату.

Втрати ексергії в теплообмінному апараті викликані, як правило, наступними чинниками: незворотним теплообміном E_T , обумовленим кінцевою різницею температур; гідравлічним опором при перебігу теплоносіїв E_P ; втратами теплоти в оточуюче середовище E_s , тобто

$$E_n = E_T + E_P + E_s. \quad (4)$$

Зменшення втрат ексергії означає підвищення ефективності

теплообмінного апарату. Тому оптимізація системи визначається співвідношенням

$$Z_{\Sigma}^{\text{opt}} = \min \{Z_T + Z_p + Z_s\} \quad (5)$$

при обмеженнях типу рівності:

$$\{\Phi_2, t_{2H}, t_{2K}\} = \text{idem} \quad (6)$$

і нерівностей

$$w_2^{\min} < w_2 < w_2^{\max}, \quad (7)$$

$$\Delta t_{\text{cp}}^{\min} < t_{\text{cp}} < t_{\text{cp}}^{\max}. \quad (8)$$

Дана задача оптимізації зводиться до знаходження характеристик теплообмінного апарату, що відповідають значенню мінімальних сумарних приведених витрат Z_{Σ}^{opt} . Враховуючи однокстремальність функції $Z_{\Sigma} = Z_{\Sigma}(\Delta t_{\text{cp}}, w_2)$, оптимізацію температурного натиску і швидкості повітря можна здійснювати методом покоординатного спуску (Гауса-Зейделя).

При розгляді варіанту з регенеративним використанням теплоти як незалежна змінна розглядається тільки швидкість повітря надходження w (що поступає в приміщення).

Відповідно оптимізаційна задача редуцирується до вигляду

$$Z_{\Sigma}^{\text{opt}} = \min \{Z_p + Z_s\} \quad (9)$$

при обмеженнях, виражених рівняннями (3) і (4).

Реалізація двохпараметричного алгоритму $AZ_{\Sigma}(w_2, \Delta t_{\text{cp}})$ оптимізації теплообмінника повинна здійснюватися по двох координатах — швидкості теплоносія w_2 і температурного натиску Δt_{cp} .

Ексергетичний і ексергоекономічний аналіз досліджуваних систем теплообмінних апаратів може виконуватися за наступними алгоритмами:

Алгоритм $АП_{\Sigma}$ — визначення втрат ексергії системи

Алгоритм складається з наступних основних кроків:

I. Побудувати відповідний даній системі ексергетичний потоко-

вий граф $E = (A, U)$, матрицю інцидентій $\|M_{ij}\|$ і розрахувати ексергії потоків по дугах E_j , $j = 1, 2, \dots, n$.

II. Для всіх елементів $i = 1, 2, \dots, m$ визначити вхідні потоки ($M_{ij} = 1$) та потоки, що виходять ($M_{ij} = -1$). Та розрахувати: суми E_i^{bx} і E_i^{vix} потоків ексергії i -х елементів і ступені термодинамічної досконалості.

III. Розрахувати сумарні втрати ексергії:

$$\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Pi_i. \quad (10)$$

Алгоритм AZ_{Σ} — визначення термoeкономiчних витрат системи.

Оскільки величина термoeкономiчних витрат в системi Z_{Σ} також, як ексергетичнi втрати Π_{Σ} , є адитивною, то алгоритм AZ_{Σ} багато в чому схожий з алгоритмом AP_{Σ} .

Основнi кроки алгоритму AZ_{Σ} .

I. Повторити крок (I) алгоритму AP_{Σ} .

II. Розрахувати рiчнi неенергетичнi (капiтальнi i пов'язанi з ними) витрати в K_i в кожному з елементiв, $i = 1, 2, \dots, m$.

III. Повторити блок (II) алгоритму AP_{Σ} , але замисть розрахунку ступеня термодинамiчної досконалостi розрахувати термoeкономiчнi витрати в i -му елементi системи:

$$Z_i = \underline{C}_i \Pi_i + K_i, \quad (11)$$

де \underline{C}_i — цiна 1 кВт ексергетичних втрат в системi.

Висновки з даного дослiдження i перспективи подальшої розробки цього напрямку.

Наведенi у даннiй роботi узагальненi алгоритми AP_{Σ} — визначення втрат ексергiї системи i AZ_{Σ} — визначення термoeкономiчних витрат системи дозволяють отримувати як ексергетичнi, так i економiчнi характеристики будь-якого теплообмiнного апарату, незалежно вiд його структури i функцiонального призначення.

Висловлена концепцiя оптимiзацiї була використана стосовно аналізу двох варiантiв гiдроприводiв сiльськогосподарських машин [6, 7]. Результати проведених дослiджень указують на можливiсть

ефективного застосування розроблених методів оцінки для аналізу і оптимізації всіх, або при наймі переважної більшості, функціональних енергетичних елементів сільськогосподарських технічних систем, в тому числі й теплообмінних апаратів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Эксергетические расчеты технических систем: Справ. Пособие / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев и др.; Под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. - К.: Наук. думка, 1991. - 360 с.
2. Niculshin V., Wu C. Ther modynamics analysis of intensive systems on energy topological models // Proceedings of 12-th International Simposium on transport phenomena. ISTP - Istambul, Turkey. 2000. P. 341-349.
3. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. Thermal Design and Optimization. - New York; J. Wiley, 1996.
4. Тсатсаронис Д. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергосберегающей системы / Под ред. Т.В. Морозюк. - Одесса: Студия "Негациант", 2002. - 151 с.
5. El-Sayed Y. Revealing the cost efficiency trends of the design concepts of energy-intensive systems, Energy Conversion and Management, 40, P. 1599-1615, 1999.
6. Пастушенко С.І. Методи термодинамічного аналізу і термoeкономічної оцінки систем гідроприводів сільськогосподарських машин // Вісник аграрної науки Причорномор'я. - Миколаїв: Видавничий відділ МДАА. - 2002. - Вип. 4 (18). - Т 1. - С. 64-74.
7. Пастушенко С.І., Нікульшина В.В. Методи ексергоекономічної оптимізації систем гідроприводів сільськогосподарських машин // Вісник ХДТУСГ "Механізація с.-г. виробництва". - Харків: Видавництво СПДФО "Черв'як В.Є.". - 2002. - Вип. 12. - С. 157-167.