

Ентропійний метод аналізу енергетичної недосконалості сушильної установки: визначення відносних характеристик необоротності процесів

В.В. Шутюк, доктор технічних наук, Національний університет харчових технологій

С.М. Василенко, доктор технічних наук, Національний університет харчових технологій

С.М. Самійленко, кандидат технічних наук, Національний університет харчових технологій

С.А. Бут, кандидат технічних наук, Національний університет харчових технологій

Розроблено комплексну методiku аналізу енергетичної ефективності сушильної установки на основі ентропійного методу аналізу енергетичної недосконалості, яка передбачає спільне застосування першого та другого законів термодинаміки. Основою методики є аналіз сушильної установки як єдиної термодинамічної системи з відповідними матеріальними, енергетичними та ентропійними потоками. Розроблена методика ефективна як для оптимізації енергетичних характеристик діючих, так і під час проектування нових сушильних систем.

Ключові слова: сушіння, аналіз, ентропія, необоротність

Разработана комплексная методика анализа энергетической эффективности сушильной установки на основе энтропийного метода анализа энергетического несовершенства, которая предусматривает совместное применение первого и второго законов термодинамики. Основой методики является анализ сушильной установки как единой термодинамической системы с соответствующими материальными, энергетическими и энтропийными потоками. Даная методика эффективна как для оптимизации энергетических характеристик действующих, так и при проектировании новых сушильных систем.

Ключевые слова: сушка, анализ, энтропия, необратимость

We developed the complex methodology of energy efficiency analysis of drying installations on the basis of entropy method of energy inefficiency analysis, which presupposes the use of both the first and the second law of thermodynamics. The methodology is based on the analysis of drying installations as a unified thermodynamic system with its specific material, energy and entropy flows. The methodology we formulated is effective both for optimization of energy characteristics of operating systems and designing the new drying systems.

Keywords: drying, analysis, entropy, irreversibility.

Примітка. Початок статті читайте у попередньому номері журналу.

Енергоспоживання України є приблизно вдвічі вищим в порівнянні з західноєвропейськими країнами. Крім того, 90% енергозабезпечення України здійснюється за рахунок технічних джерел енергії - споживання запасів традиційних видів палива (природного газу, кам'яного вугілля, нафти тощо). З огляду на значне споживання енергії під час сушіння, в тому числі харчових продуктів, проблеми впровадження енергоощадних сушильних комплексів та використання для їх енергозабезпечення відновлюваних джерел енергії є пріоритетними у вітчизняній харчовій промисловості [1].

Дослідження складних хіміко-технологічних систем, до числа яких відносяться сушильні установки цукрових заводів із використанням відповідних методів і засобів називають системним

аналізом [3, 7]. Кінцева мета системного аналізу - оптимізація хіміко-технологічних систем. Основна складність процедури пошуку оптимальної технологічних систем промислового масштабу - комбінаторна проблема [4]. Так, різноманітність і різнонаправленість варіантів структурних рішень хіміко-технологічних систем призвели до виникнення численних принципів та підходів до їх аналізу й синтезу, з яких можна відокремити два основних напрями:

- пошук оптимальної хіміко-технологічної системи строгими алгоритмічними методами, пов'язаними з розв'язанням складних оптимізаційних завдань;

- використання різних евристичних методів.

У межах кожного із зазначених напрямів аналіз та оптимізацію теплотехнологічних систем і комплексів не можна реалізовувати без апарату прикладної термодинаміки - так зва-

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

них методів термодинамічного та термoeкономічного аналізу.

Визначення відносних характеристик необоротності процесів

Класичні критерії ефективності - це безрозмірні комплекси характеристик. Зазвичай аналіз передбачає порівняння характеристики процесу чи системи з відповідним еталоном. Попередньо встановлено абсолютну характеристику необоротності, а етalon визначимо на основі наслідків другого закону термодинаміки. Для введення термодинамічної характеристики, що визначатиме гіпотетичну максимальну необоротність процесів, які реалізуються в системі, використаємо також поняття навколишнє середовище як окремої системи, в якій усі компоненти умовно перебувають у повній термодинамічній рівновазі, а параметри не залежать від параметрів аналізованої системи.

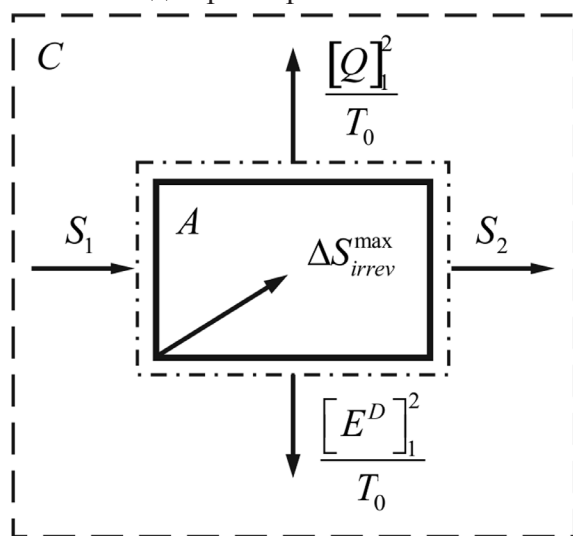


Рис. 4. Гіпотетична теплотехнічна система

Згідно з працею проаналізуємо гіпотетичну теплотехнічну систему, зображену на рис. 4 (підсистема *A*). Для енергії, що надходить у підсистему *A* з потоком теплоносія і бере участь у енергетичних перетвореннях (кількість енергії однакова для реальної аналізованої системи і для гіпотетичної теплотехнічної системи), максимальне спрацювання потенціалів можливе при необоротному теплообміні з навколишнім середовищем (підсистема *C*). При цьому спрацювання тиску досягається за рахунок дисипативних явищ у гіпотетичній теплотехнічній системі, після чого енергія дисипації у вигляді теплоти переходить на температурний рівень навколишнього середовища. Це означає, що ΔS_{irrev}^{max} , як результат взаємодії уявної теплотехнічної системи з навколишнім середовищем, кількісно характеризує імовірну максимальну необоротність процесів у системі при переході зі стану 1 у стан 2. На нашу думку, таку термодинамічну величину можна назвати *потенційною необоротністю процесів (енергетичних перетворень)*, аналітичний вираз для якої у разі стаціонарного пото-

ку записують із балансу ентропії об'єднаної термодинамічної системи *AC* (рис. 4):

$$\Delta S_{irrev}^{max} = (S_2 - S_1) + \frac{[Q]_1^2}{T_0} + \frac{[E^D]_1^2}{T_0}, \quad (19)$$

де $[Q]_1^2 = U_1 - U_2$ - тепловий потік до навколишнього середовища при зміні температури потоку від T_1 до T_2 ; $[E^D]_1^2 = V(p_1 - p_2)$ - тепловий потік до навколишнього середовища під час дисипації механічної енергії потоку.

Рівняння (19) можна переписати у класичному вигляді:

$$\Delta S_{irrev}^{max} = (S_2 - S_1) + \frac{H_1 - H_2}{T_0}. \quad (20)$$

Індекс *max* вказує на те, що при переході між двома заданими станами потенційній необоротності відповідає максимальне зростання ентропії.

Аналізуючи закриті системи, слід використовувати методики, наведені у праці [5].

Для теплоти потенційну необоротність розраховують за умови необоротного теплообміну гіпотетичної теплотехнічної системи (рис. 5) з навколишнім середовищем:

$$\Delta S_{irrev}^{max} = Q \left(\frac{T_{m1} - T_0}{T_{m1} T_0} \right), \quad (21)$$

де *Q* - потік теплоти, який у реальній системі бере участь в теплопередачі; T_{m1} - середньологарифмічна температура підсистеми *A*, К.

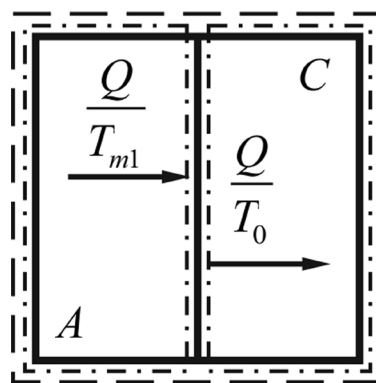


Рис. 5. Гіпотетичний теплообмін з НС

У разі безентропійних форм енергії рівняння спрощується до вигляду

$$\Delta S_{irrev}^{max} = \frac{E_w}{T_0}, \quad (22)$$

де E_w - довільна безентропійна форма енергії.

Таким чином, критерій термодинамічної ефективності теплотехнічної системи - *ентропійний коефіцієнт термодинамічної досконалості* - записують так:

$$\eta_s^p = 1 - \frac{\Delta S_{irrev}^{tot}}{\Delta S_{irrev}^{max}}, \quad (23)$$

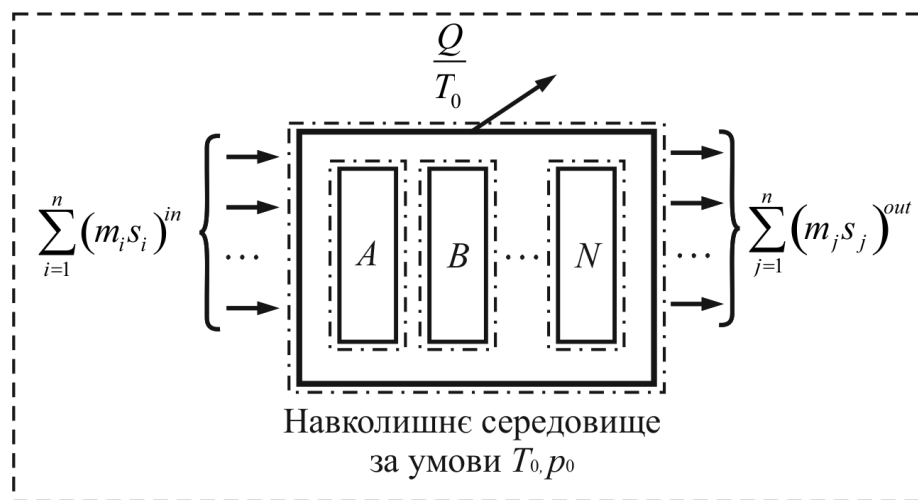


Рис. 6. Складна теплотехнічна система

Вираз (23) відповідає традиційній формі подання результатів, оскільки визначає міру наближення реальної системи до ідеальної.

Вплив необоротності окремих елементів на загальну необоротність складної теплотехнічної системи (рис. 6) визначається аналізом відносних коефіцієнтів необоротності компонентів системи:

$$\omega_k = \frac{\Delta S_{irrev\ k}^{tot}}{\sum_{k=1}^N \Delta S_{irrev\ k}^{tot}}, \quad (24)$$

де $k = 1 \dots N$ - відповідний елемент складної теплотехнічної системи.

Рейтинг необоротностей теплотехнологічних процесів визначається наступними критеріями відповідно до загальної системи позначень:

$$\begin{aligned} \phi^B &= \frac{\Delta S_{irrev}^B}{\Delta S_{irrev}^{tot}}; \quad \phi^T = \frac{\Delta S_{irrev}^T}{\Delta S_{irrev}^{tot}}; \quad \phi^D = \frac{\Delta S_{irrev}^D}{\Delta S_{irrev}^{tot}}; \\ \phi^0 &= \frac{\Delta S_{irrev}^0}{\Delta S_{irrev}^{tot}}; \quad \phi^M = \frac{\Delta S_{irrev}^M}{\Delta S_{irrev}^{tot}}. \end{aligned} \quad (25)$$

Висновки

Зроблено аналіз енергетичної ефективності сушильної установки на основі ентропійного методу аналізу енергетичної недосконалості. Визначені джерела необоротності в сушильних установках і фактори впливу на них дають можливість системно вирішувати завдання з енергозбереження. На основі аналізу розроблено методику аналізу сушильної установки як єдиної термодинамічної системи з відповідними матеріальними, енер-

гетичними та ентропійними потоками. Дана методика ефективна як для оптимізації енергетичних характеристик діючих, так і під час проектування нових сушильних систем. ■

Список використаних джерел

1. Долинский А.А. Оптимизация технических систем методом эксергоэкономики / А.А. Долинский, Б.Х. Драганов, В.А. Дубровин // Промышленная теплотехника. - 2003. - № 4. - С. 28-31.
2. Кименов Г. Рациональное использование топлива и энергии в пищевой промышленности: Пер. с болг. / Г. Кименов - М. : Агропромиздат, 1990. - 167 с.
3. Левин М.Д. Термодинамическая теория и расчет сушильных установок / М.Д. Левин. - М. : Пищепромиздат, 1969. - 282 с.
4. Луценко И.А. Механизм формирования ресурсопотребления в задачах эффективного управления технологическими процессами / И.А. Луценко, Э.С. Гузов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2007. - № 1/2 (25). - С. 112-116.
5. Самойленко С.Н. Методологические основы анализа энергетической эффективности сушильной установки / С.Н. Самойленко, В.В. Шутюк, С.М. Василенко, А.С. Бессараб // Промышленная теплотехника. - 2014. - Т. 36, № 16. - С. 62-69.
6. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко // М.: Высшая школа, 1989. - 367 с.
7. Shutyyuk V. Thermodynamic analysis of heat exchanging appliances / V. Shutyyuk, S. Samiyenko, S. Vasylenko // Journal of EcoAgriTourism. - 2013. - Vol. 9, Nr. 1 (26). - P. 62-67.