

FEATURES OF TRANSFORMATION OF MATERIAL AND ENERGY FLOWS

A. Chahayda, V. Kostyuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Thermodynamics
Equilibrium
Energy
Potential
Secondary pair
Transformation*

Article history:

Received 22.09.2014

Received in revised form

15.10.2014

Accepted 04.11.2014

Corresponding author:

A. Chahayda

Email:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents information related to the features and capabilities of the secondary transformation of energy flows. The perspectives of different approaches for using second pair potentials including their use due to the influence of exergy of secondary steam heat with its rising ability to implement the final result in terms of thermodynamic equilibrium with the environment have been demonstrated.

ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛЬНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

А.О. Чагайда, В.С. Костюк

Національний університет харчових технологій

У статті наведено дані, які стосуються особливостей і можливостей трансформації вторинних енергетичних потоків. Показано перспективи різних підходів до використання потенціалів вторинної пари, у тому числі за рахунок впливу на ексергію теплоти вторинної пари зі зростанням її здатності до здійснення кінцевого результату в умовах термодинамічної рівноваги із середовищем.

Ключові слова: термодинаміка, рівновага, енергія, потенціал, вторинна пара, трансформація.

Наслідком матеріально-енергетичних трансформацій сировинних потоків харчових виробництв є утворення вторинних матеріальних енергетичних потоків або сукупностей, які являють собою матеріально-енергетичні потоки. Очевидно, що в названих випадках вирішення завдань утилізації вторинних матеріальних і енергетичних ресурсів досягається з урахуванням їх особливостей, фізико-хімічного, термодинамічного стану і можливостей у досягненні їх трансформацій.

Так, вторинна пара являє собою матеріально-енергетичний потік, повторне застосування якого можливе за різних підходів. Важливо, що «термодинамічний» інтерес до вторинної пари передусім стосується її потенціалу у формі теплоти конденсації, для вилучення якої використовуються різні комбінації [1]. Проте можливості для термодинамічних перетворень пов'язані із середовищами, стосовно яких має використовуватися потенціал вторинної пари. Насамперед йдеться про їхню температуру.

З точки зору інтересів термодинамічного супроводження перетворень середовищ неважливо, яка пара (первинна чи вторинна) застосовується для цього. Важливою при цьому є можливість передавання потенціалу гріючої пари і те, що цей потенціал відносно нескладно трансформувати для одержання певної різниці температур. Для цього температуру вторинної пари треба підвищити або знизити температуру оброблюваного середовища.

Метою дослідження є розробка теоретичних положень у технологіях використання вторинних енергетичних ресурсів.

Об'єкт дослідження. Явища енергетичної трансформації вторинних енергетичних ресурсів.

Предмет дослідження. Методи прогнозування і досягнення трансформацій вторинних енергетичних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Припустимо, що трансформована вторинна пара використовується для випарювання в однокорпусному апараті періодичної дії, з яким за своїми показниками схожий сусловарильний агрегат. При цьому кількість генерованої середовищем пари визначається за формулою:

$$D = \frac{Q}{i'' - i'}, \quad (1)$$

де Q — кількість теплоти на операцію випарювання. За певного наближення кількість використаної і знову генерованої пари між собою близькі.

Для здійснення процесу повинна підтримуватися різниця температур конденсації вторинної пари і середовища. При цьому існує дві можливості досягнення вказаної бажаної різниці температур. Перша з них стосується стикування вторинної пари, а друга — підвищення термодинамічного потенціалу за рахунок змішування з первинною парою.

Збільшення тиску і температури вторинної пари за інших рівних умов означає можливість зростання практичної придатності вторинних енергетичних ресурсів до використання. За фізичною суттю досягається можливість впливу на ексергію теплоти вторинної пари, оскільки зростає її максимальна здатність до здійснення кінцевого результату в умовах термодинамічної рівноваги із середовищем [2].

Інший напрямок стосується того ж впливу на ексергію за рахунок змінних властивостей середовища або, точніше, за рахунок запланованих перепадів тиску і температури в багатокорпусних випарних установках. За найпоширенішою прямотечійною схемою розчин послідовно проходить через усі корпуси установки, з яких кожен наступний обігрівується вторинною парою попереднього корпусу. Первинною парою обігрівується лише перший корпус.

Оскільки рівень ексергії вторинної пари визначається порівнянням її термодинамічних параметрів із параметрами середовища, то кількоступеневі змінні

останніх від корпусу до корпусу призводять до суттєвого підвищення загального результату: в багатокорпусних випарних установках одним кілограмом первинної пари можливо отримати 5—7 кг вторинної в сумі по задіяних корпусах. Однак загальна кількість вихідного матеріального потоку вторинної пари не перевищує витрат первинної пари, яка подається на перший корпус.

Наведені міркування підтверджують важливість рівнів термодинамічних параметрів, до яких має трансформуватися вторинна пара. Для насиченої водяної пари між тиском і температурою її фазового переходу існує цілком певний зв'язок, тому з урахуванням необхідної інтенсивності теплообміну призначається температура, до якої має бути трансформована вторинна парова фаза. Це означає, що відомим є тиск після її трансформації [3].

Остання процедура може вирішуватися по-різному. Припустимо, що вона здійснюється стисканням вторинної пари поршневим компресором. При цьому можуть бути варіанти, за яких стискається вся утворена вторинна пара або її частина до більш високих параметрів, а потім здійснюється її змішування з нестиснутим залишком. Вибір на користь тієї чи іншої схеми, очевидно, може бути предметом спеціальних досліджень.

Стосовно останнього випадку доцільно ставити питання про співвідношення енергетичних витрат. У зв'язку з цим розглянемо особливості двоступеневого адіабатного стискання вторинної пари на рівні зворотного процесу. Якщо прийняти, що продуктивність компресорів мало залежить від проміжних тисків, то пошук оптимальних умов роботи буде стосуватися визначення тиску P_2 , для якого загальні витрати енергії є мінімальними. Якщо пара має початкову температуру T_1 , то робота адіабатного стискання відобразиться залежністю:

$$W = MRT_1 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 2 + \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (2)$$

де W — робота стискання пари, Дж; M — маса стискуваної пари, кг; $R = 461$ Дж/(кг·К) — універсальна газова стала, R ; $k = 1,29$ — показник адіабати.

Для визначення мінімальної роботи W запишемо, що:

$$\frac{dW}{dP_2} = MRT_1 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{k-1}{k} \right) P_1^{\frac{1-k}{k}} P_2^{\frac{1}{k}} - \left(\frac{k-1}{k} \right) P_3^{\frac{k-1}{k}} P_2^{\frac{1-2k}{k}} \right] = 0. \quad (3)$$

Розв'язання останньої умови відносно P_2 дозволяє записати, що:

$$P_2^{\frac{2k-2}{k}} = P_3^{\frac{1k-1}{k}} P_1^{\frac{1k-1}{k}} \quad (4)$$

звідки

$$P_2 = \sqrt{P_1 P_3}. \quad (5)$$

Вирішена задача для тріступеневого стискання відображується залежністю

$$P_2 = \sqrt[3]{P_1^2 P_4}; \quad P_5 = \sqrt[3]{P_4^2 P_1}. \quad (6)$$

Взаємопов'язаність тисків і температур пари дозволяє знайти необхідні співвідношення на основі матеріальних і теплових балансів.

Розв'яжемо задачу із забезпечення заданих матеріальних і термодинамічних співвідношень на основі вказаних балансів. Вихідні дані: потік вторинної пари масою m з відомими тиском P , температурою t і ентальпією i'' . Названий потік за умовою задачі ділимо на дві частини. Масу першого потоку позначаємо m_1 , а другого — m_2 зі співвідношенням $m_1 = \psi m_2$. Нехай перший потік проходить етап стискання до параметрів P_1, t_1 і i'' , після чого здійснюється змішування потоків m_1 і m_2 із заданими значеннями параметрів P_3, t_3 та i''_3 . Необхідно визначити термодинамічні параметри першого потоку, які забезпечать задані значення P_3, t_3 та i''_3 .

Очевидно, що задані кінцеві параметри об'єднаних потоків пари з урахуванням температур середовища взаємодії визначають ексергетичний потенціал, який регламентується при цьому значеннями параметрів P_1, t_1 та i''_1 , і визначається через параметри P_3, t_3 та i''_3 .

Матеріальний баланс системи записуємо у формі:

$$m = m_3 = m_1 + m_2. \quad (7)$$

Нехай при цьому:

$$m_1 = \psi m_2, \quad (8)$$

а тому:

$$m = m_2(1 + \psi). \quad (9)$$

Параметри парової суміші визначаємо на основі феноменологічних міркувань, вони відповідають вказаним P_3, t_3 та i''_3 . Отримуємо співвідношення, виражене у формі енергії:

$$Q_{\text{сум.}} = (m_1 + m_2)i''_3 \quad (10)$$

або

$$m_1 i''_1 + m_2 i'' = (m_1 + m_2) i''_3. \quad (11)$$

Звідси визначаємо:

$$i''_1 = \frac{(m_1 + m_2)i''_3 - m_2 i''}{m_1} = \frac{(\psi m_2 + m_2)i''_3 - m_2 i''}{\psi m_2} = \frac{(\psi + 1)i''_3 - i''}{\psi}. \quad (12)$$

Очевидно, що за визначеним параметром i''_1 знаходяться інші термодинамічні параметри стиснутого потоку m_1 трансформованої вторинної пари.

Аналізуючи наведені співвідношення параметрів, слід зазначити, що:

- одержана вторинна пара стосовно середовища, в якому вона генерується, має ексергію, що дорівнює нулю, оскільки без трансформації її термодинамічних параметрів повернення теплоти конденсації є неможливим;

- стискання частини потоку m_1 вторинної пари переводить його на рівень e_1 , що відображується залежністю:

$$e_1 = \frac{i_1'' m}{1 + 1/\psi}; \quad (13)$$

- змішування потоків m_1 та m_2 призводить до ентальпії i_3'' , а величина ексергії суміші дорівнюватиме $e_3 = i_3'' m$.

Графічна інтерпретація відмічених трансформацій параметрів наведена на рис. 1. У результаті перетворень стає можливим використання ексергії e_3 . Разом з тим, перехід потоку пари m_1 від параметрів у точці А до параметрів у точці В за своєю енергетичною «вартістю» визначається адиабатним стисканням, а тому маємо:

$$T_1 = T \left(\frac{P_1}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (14)$$

Енергетичні витрати на стискання потоку пари m_1 визначаються за формулою:

$$\ell = \frac{mR}{(k-1) \left(1 + \frac{1}{\psi} \right)} (T_1 - T). \quad (15)$$

Співвідношення ексергії e_3 і енергетичних витрат на стискання потоку m_1 будемо вважати коефіцієнтом енергетичних трансформацій:

$$\beta_{e.m.} = \frac{i_3'' m (k-1) \left(1 + \frac{1}{\psi} \right)}{mR(T_1 - T)}. \quad (16)$$

Виконаємо розрахунки з оцінки впливів параметрів системи на коефіцієнт енергетичних трансформацій за значень параметрів:

$$\begin{aligned} \psi &= 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; \\ T &= 373 \text{ К}; k = 1,29; m = 1 \text{ кг}; R = 461 \text{ Дж/(кг·К)}; \\ i_3'' &= 2693; 2707; 2717; 2725; 2732 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Таблиця 1. Значення термодинамічних параметрів системи

ψ	Енерговитрати на стискання вторинної пари, Дж за температур T_1 , К				
	384,38	393,23	400,43	406,53	411,88
1	2	3	4	5	6
0,1	1644,57	2923,5	3964,0	4845,6	5618,7
0,2	3015,0	5359,7	7267,3	8883,4	10300,9
0,3	4175,0	7421,8	10063,2	12301,2	14130,2

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
0,4	5168,7	9188,3	12458,43	15229,0	17659,0
0,5	6030,0	10719,9	14535,2	17767,5	20602,5

Виконані розрахунки узагальнено в табл. 1. За даними, наведеними в табл. 1, побудовано графічні залежності (рис. 2).

Наведеним значенням температур T_1 відповідають певні ентальпії, що відображено у табл. 2.

Перерахунок результатів за енерговитратами на стискання вторинної пари з розрахунку на масу 1 кг за різних T_1 наведено в табл. 3.

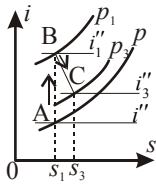


Рис. 1. Діаграма i-S термодинамічних трансформацій

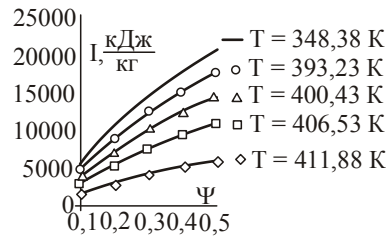


Рис. 2. Графік залежності роботи стиснення компресором вторинної пари за різних кінцевих значень T_1 її температур

Таблиця 2. Співвідношення між температурами і ентальпіями вторинної пари після стиснення

T_1, K	384,38	393,23	400,43	406,53	411,88
$i''_1, \text{кДж/кг}$	2693	2707	2717	2725	2732

Таблиця 3. Енерговитрати на стискання 1 кг вторинної пари до температур T_1 і значення $\beta_{e,m}$

T_1, K	384,38	393,23	400,43	406,53	411,88
$\ell, \text{Дж/кг}$	18120	32190	43516	53194	61750
$\beta_{e,m}$	148,6	84,09	62,44	51,23	44,24

Окрім того, табл. 3 доповнена значеннями коефіцієнтів енергетичних трансформацій.

Розглянуті співвідношення стосуються випадків, за яких теплообмін між вторинною парою і середовищем здійснюється в режимі безпосереднього змішування.

У таких випадках в систему повертається кількість теплової енергії, що дорівнює ентальпії i_3'' . Однак у випадках, коли вторинна пара віддає теплову енергію через поверхню теплопередавання, це означає, що потенціал i_3'' конденсату із системи виводиться.

У зв'язку з цим умова (16) трансформується до такого вигляду:

$$\beta'_{e.m.} = \frac{r_3(k-1)\left(1 + \frac{1}{\Psi}\right)}{R(T_1 - T)}, \quad (17)$$

де r_3 — теплота конденсації суміші потоків m_1 та m_2 .

Відповідні вибраним температурам T_1 значення теплоти конденсації і величини $\beta'_{e.m.}$ наведено у табл. 4.

Таблиця 4. Співвідношення між температурою, теплотою пароутворення і значеннями $\beta'_{e.m.}$

T_1, K	384,38	393,23	400,43	406,53	411,88
$r_3, \text{кДж/кг}$	2226	2202	2185	2164	2148
$\beta'_{e.m.}$	122,84	68,406	50,21	40,68	34,93

Висновки

З порівняння двох випадків видно, що за замкнутої системи теплопередавання результати поступаються і $\beta'_{e.m.} < \beta_{e.m.}$. Фізична причина останнього цілком зрозуміла, однак доцільність обох систем сумнівів не викликає і їхню ефективність слід віднести до найбільших за термодинамічними перетвореннями. Наведені підрахунки дають змогу стверджувати, що зі збільшенням стискування вторинної пари збільшується ексергія e_1 , оскільки зростає ентальпія i_1'' . При цьому таке зростання обох параметрів обмежене, оскільки збільшення i_1'' зі зростаючим тиском обмежене.

Література

1. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. — К.: Видавничий дім «Асканія», 2009. — 424 с.
2. Бродяньський В. Эксергетический метод и его приложения. / В. Бродяньский, В. Франтишек, К. Михалек. — М.: Энергоиздат, 1988. — 288 с.
3. Соколенко А.І. Інтенсифікація тепло-масообмінних процесів в харчових технологіях. / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний, В.О. Сукманов. — К.: Феникс. 2011. — 536 с.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИЙ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

А.О. Чагайда, В.С. Костюк

Национальный университет пищевых технологий

В статье наведены данные, касающиеся особенностей и возможностей трансформации вторичных энергетических потоков. Показаны перспективы разных подходов относительно использования потенциалов вторичной пары, в том числе за счет влияния на эксергию теплоты вторичной пары с ростом ее способности к совершению конечного результата в условиях термодинамического равновесия со средой.

Ключевые слова: *термодинамика, равновесие, энергия, потенциал, вторичная пар, трансформация.*