

SECTION 3. ECOLOGY

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-477-1-3>

INDUSTRIAL WASTE AS A CONSEQUENCE OF THE PRINCIPLE OF THERMODYNAMIC DUALITY IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS

ПРОМИСЛОВІ ВІДХОДИ ЯК СЛІДСТВО ПРИНЦИПУ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ДВОЄДИНОСТІ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ

Voloshyn V. S.

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Labor
Protection and Environmental
Protection
State Higher Education Institution
«Pryazovskyi State Technical
University»
Dnipro, Ukraine*

Волошин В. С.

*доктор технічних наук, професор,
професор кафедри охорони праці
та навколишнього середовища
ДВНЗ «Приазовський державний
технічний університет»
м. Дніпро, Україна*

В основі принципу термодинамічної двоєдиності, який відповідає за механізми утворення відходів в будь-яких виробничих системах, знаходиться розуміння того, що один і той же технологічний процес по відношенню до певної частини компонентів сировини проявляє себе як сильно нерівноважна система і функціонує за законами нелінійної термодинаміки і, в той же час, по відношенню до іншої частини сировини проявляє себе як слабо нерівноважна, або така, що знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, і підкоряється законам лінійної термодинаміки [1, с. 247]. В результаті ми отримуємо готову продукцію і відходи відповідно. Такий принцип повинен повністю відповідати умовам другого закону термодинаміки, що має робити його легітимним в галузях будь-яких технологічних процесів.

Доречно буде звернутися до досліджень групи І. Р. Пригожина [2, с. 47, 3, с. 4590] та сучасні роботи [4, с. 116 та ін.] про важливу, але не завжди враховану інтерпретацію другого закону термодинаміки. Вона полягає в тому, що, як закон природи, другий закон об'єктивно охоплює не тільки дисипативні, але і зворотні репаративні процеси концентрації енергії і речовини, які здійснюються шляхом *запозичення енергії у надсистемі*. Підкреслюється дисипативно-репаративне

сполучення енергетичних перетворень, що приводить до конструктивного результату, спрямованого на зниження ентропії системи.

Особливістю традиційного технологічного процесу є перерозподіл використаної енергії за якістю і її резервування для переробки тільки тієї частини сировини, з якої потім отримується товарний продукт (рис. 1). Але водночас, в результаті такого запозичення якісної енергії, витраченої на виробництво корисних продуктів, зростає частка ентропії ΔS_0 , що осідає в спонтанно переробленій, але «непотрібній» матеріальній частині виробництва – відходах.

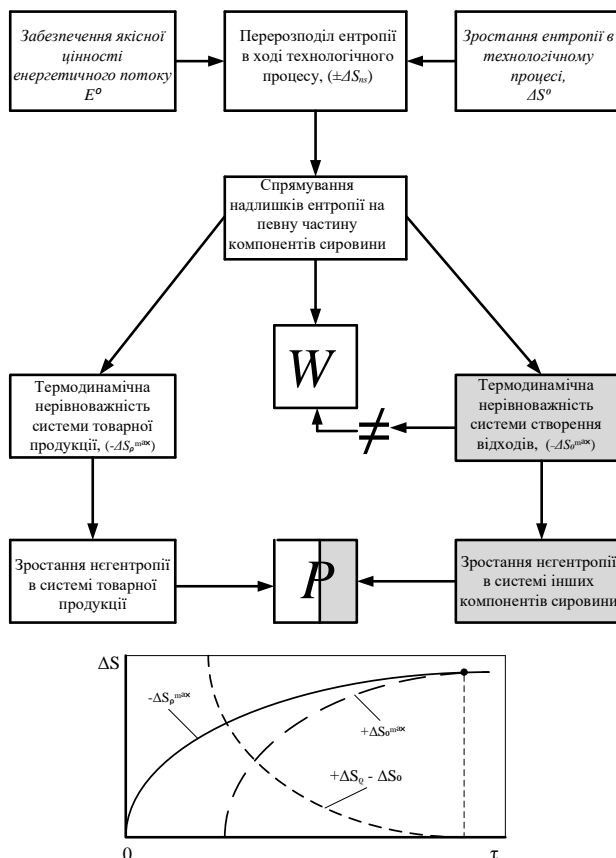


Рис. 1. Умови перерозподілу ентропії і негентропії в процесі виробництва корисних продуктів (P) та відходів (W) та її графічна інтерпретація

В результаті такого запозичення якісної енергії, витраченої на виробництво корисних продуктів, зазвичай, зростає частка ентропії, що осідає в якомось перероблений, але «непотрібний» матеріальній частині виробництва – відходах. Якщо об'єктом аналізу енергетичної ентропії є нерівноважна неізольована система, в якій протікають як дисипативні, так і впорядковані, репаративні процеси перетворення енергії і речовини, то другий закон для інтегральної ентропії можна записати у вигляді $\Delta S_k = \sum_k \Delta S_k^\pm \geq 0$, де ΔS_k^\pm відноситься до тієї з k -их властивостей, які в даній системі змінюються в дисипативному ($\Delta S_k^+ > 0$) або репаративному ($\Delta S_k^+ \leq 0$) напрямках.

Таке розуміння формули другого закону термодинаміки дозволяє зробити висновки, які раніше не використовувалися для опису механізмів утворення відходів у виробничих системах. А саме. Якщо говорити про те, що другий закон тільки в замкнутій системі відображає зниження якості енергії в потоках, і ці потоки також описують матеріальні компоненти системи, то слід вважати, що в результаті реалізації технологічного процесу, здійснюваного в термодинамічно нерівноважній неізольованій системі, відбувається наступна, вже знайома нам, узагальнююча реструктуризація до якої належить певна i – та система та яка сама має дві підсистеми ($i - 1$) – виробництво відходів та ($i - 2$) -виробництво корисної продукції, ентропії (табл. 1). А саме: якщо ми приймемо за основу ($i + 1$) –у надсистему, до якої належить певна i – та система та яка сама має дві підсистеми ($i - 1$) – виробництво відходів та ($i - 2$) -виробництво корисної продукції, то для такої надсистеми загальна кількість ентропії ($S_{i+1}^0 + \Delta S_{i-2}$), згідно з другим законом, збільшується.

Водночас відбувається перерозподіл ентропії між складовими компонентами виробничої системи, а саме: між споживаною енергією ($E_{i-2}^0 + \Delta E_2^x$) на перетворення «корисної» частини сировини у продукцію, з одного боку, і енергії ($E_{i-1}^0 + \Delta E_1^x$) для «непотрібної» частин матеріального потоку сировинної бази з другого. Тут E^0 – базова енергія відповідних індексам підсистем; ΔE_1^x та ΔE_2^x – часткові долі зовнішньої енергії в двох підсистемах основної системи. Як правило, перерозподіл ентропії між компонентами матеріальної бази типової виробничої системи відбувається таким чином, що *закладена нами в готовий продукт негентронія збільшується за рахунок зростання ентропії решти матеріальної частини системи, і в першу чергу, тієї, якій приписуються властивості відходів* (див. рис. 1). Це ще раз підтверджує існування термодинамічної двоєдності для будь-якої виробничої системи.

Таблиця 1

Принцип термодинамічної двосидності та управління ентропією в нерівноважних системах (тіньові області відносяться до умов термодинамічної нерівноважності)

Параметр	Надсистема			
	i+1	i	Підсистема i-1	Підсистема i-2
Вихідна енергія: - від зовнішнього джерела - від внутрішнього джерела	E_{i+1}^0 $E^x = \Delta E_1^x + \Delta E_2^x$ —	$E_i^0 = E_{i-1}^0 + E_{i-2}^0$ $E_i^0 + E^x$ $E^y = \Delta E_1^y + \Delta E_2^y$	E_{i-1}^0 $E_{i-1}^0 + \Delta E_1^x$ $E_{i-1}^0 + \Delta E_1^y$	E_{i-2}^0 $E_{i-2}^0 + \Delta E_2^x$ $E_{i-2}^0 + \Delta E_2^y$
Вихідна ентропія: Перехід ентропії з підсистеми (i-2) до надсистеми (i+1) Перехід ентропії з підсистеми (i-2) до системи (i) Перехід ентропії з підсистеми (i-2) та підсистеми (i-1) до надсистеми (i+1)	S_{i+1}^0 $S_{i+1}^0 + \Delta S_{i-2}$ S_{i+1}^0 $S_{i+1}^0 + \Delta S_{i-1} + \Delta S_{i-2}$	S_i^0 $S_i^0 + \Delta S_{i-2}$ S_i^0 або $(S_i^0 + \Delta S_{i-1} + \Delta S_{i-2})$	S_{i-1}^0 $\frac{S_{i-1}^0 + \Delta S_{i-2}}{W}$ $\frac{S_{i-1}^0 + \Delta S_{i-2}}{W}$ $\frac{S_{i-1}^0 - \Delta S_{i-1}}{P}$	S_{i-2}^0 $\frac{S_{i-2}^0 - \Delta S_{i-2}}{P}$ $\frac{S_{i-2}^0 - \Delta S_{i-2}}{P}$ $\frac{S_{i-2}^0 - \Delta S_{i-2}}{P}$
Сировина, матеріали - для традиційної технології - для системи в сильній термодинамічній нерівноважності	C_{i+1}^0 — —	C_i^0 C_i^0 —	C_{i-1}^0 $\frac{C_{i-1}^0}{W} \sim C_{i-1}^0$ $\frac{W_{i-1}}{W} + P_{i-1}$	C_{i-2}^0 $\frac{C_{i-2}^0}{P} \sim C_{i-2}^0$ P_{i-2}

Якщо в системі є така внутрішня енергія (E^y) або вона подається ззовні (E^x) з надсистеми, яка здатна перевести залишкову частину сировини по відношенню до себе в термодинамічно сильно нерівноважний стан (див. табл. 1), то можна говорити про умовну емісію частки ентропії ΔS_{i-2} з цієї системи в надсистему, з якої ця енергія вийшла. В цьому випадку в системі з'являється робота, здатна

перевести розглянуту частину сировини зі складу відходів до складу товарного продукту.

Ентропія надсистеми збільшується принаймні на емісійну величину ентропії відходів самої системи. За певних умов емісія ентропії з системи перевищує межу ентропії самої системи, і тоді в цій системі можуть спостерігатися синергетичні ефекти. Це саме той випадок, який належить принципу термодинамічної двоєдності, і який не існує супротив другого закону термодинаміки, коли в системі з'являється додаткова або існуюча, але модифікована енергія, яка може змінити стан тих компонентів, які при традиційних умовах перетворюються в відходи. У нашому випадку умовна робота, що виконується цією енергією, буде більше, ніж в традиційному технологічному процесі, на величину не збільшення ентропії в підсистемі $(i - 1)$, пов'язаної з утворенням відходів і її емісії в надсистему.

Додаткова або модифікована зовнішня енергія $E^x = \Delta E_1^x + \Delta E_2^x$ у вигляді своїх частин ΔE_1^x і ΔE_2^x в певній пропорції витрачається на дві підсистеми – $(i - 1)$ та $(i - 2)$ (див. табл. 1). Можливий варіант, коли модифікація джерела енергії здійснюється за рахунок внутрішньої енергії такої системи $E^y = \Delta E_1^y + \Delta E_2^y$ також у певній пропорції для вказаних двох підсистем.

Умовою отримання такої додаткової енергії $E^x + E^y$ є емісія ентропії з кожної з двох підсистем шляхом «транзиту» в надсистему $(i + 1)$ зі збільшенням її сумарної ентропії на величину $(\Delta S_{i-1} + \Delta S_{i-2})$. Але при цьому ентропія двох наших підсистем $(i - 1)$ і $(i - 2)$ сумарно зменшується, відповідно, на ΔS_{i-1} та ΔS_{i-2} . Та й ентропія самої i -ї системи, принаймні, не збільшується. Хоча б, в кінцевому результаті, може й зменшитися на величину $(\Delta S_{i-1} + \Delta S_{i-2})$. Різниця між підведеною енергією та функціями $(f(\Delta S_{i-1})$ і $\varphi(\Delta S_{i-2}))$, що нас цікавлять, її втрати у вигляді ентропії $(E^x + E^y) - [f(\Delta S_{i-1}) + \varphi(\Delta S_{i-2})]$, це й є додаткова робота, що здійснюється в підсистемах, що отримали сильну нерівноважність. У нашому випадку це робота щодо перетворення компонентів однієї з підсистем (наприклад, відходи – підсистема $(i - 1)$) в корисні продукти.

Продукцію, що випускається, можна розглядати як підсистему, в структуру якої закладена якісна енергія даної виробничої системи. На перший погляд, такі висновки слід застосувати і до перетворення іншої частини сировини, яка потім перетворюється у відходи. Однак це не так. Порядок переробки сировини, особливості фізичних, хімічних, механічних та інших процесів, що лежать в основі тієї чи іншої технології, найчастіше не сприяють використанню енергії певного типу, запозиченої ззовні, для впорядкування елементів тієї частини сировинної бази, яка стає відходами. У цю матеріальну частину системи закладається максимально можлива ентропія всього

виробничого процесу (пов'язана з втратами як теплової енергії, так і неструктурованої речовини). Тому відмінною рисою системи, що відповідає за отримання відходів, може бути її термодинамічна рівноважність із максимальною ентропією (див. рис. 1).

Здатність до перерозподілу якісної енергії всередині чи зовні виробничої системи та можливості емісії ентропії не в підсистему отримання відходів, а в надсистему, разом із компонентною структуризацією сировини, є основою для прогнозування мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – технологічному процесі. Для того, щоб задовольнити вимогу мінімізації відходів у джерелі їх виникнення, технологічному процесі, необхідно змінити якісну складову використовуваної енергії, мінімізувавши ентропію самого технологічного процесу і забезпечивши її викид у надсистему.

Література:

1. Волошин В. С. Відходи та їх природа. Київ ; Маріуполь, 2024. 630 с.
2. Prigogine I. Etude Thermodynamique des Phenomenes Irreversibles. These d'agregation presentee a la faculte des sciences de l'Unoversite Libre de Bruxelles (1945). Paris : Dunon, 1947.
3. Prigogine I., George C. The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipativ Processes in Quantum Systems. *Proceeding of the National Academy of Science*. 1983. Vol. 80. P. 4590–4594.
4. Волошин В. С. Щодо питання про методологію мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – технологічному процесі. *Екологічні науки*. № 2 (53). 2024. С. 114–122.