

183 ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 622.807:504.06

doi: 10.31498/2225-6733.49.2.2024.321361

© Волошин В.С.¹, Бурко В.А.²

ВІДПОВІДНІСТЬ ПРИНЦИПУ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ДВОЄДНОСТІ, ЯК ПРИЧИНИ ВІДХОДОУТВОРЮВАННЯ

Мета дослідження – розробка та дослідження інноваційної технології управління виробничою системою, що дозволяє змінити якісну складову використовуваної енергії і мінімізувати ентропію технологічного процесу, за рахунок перерозподілу її в надсистему, що стає донором для нової енергії. Ця нова енергія здатна впливати на компоненти сировини, що не підлягають переробці за традиційною технологією, зменшуючи кількість відходів у джерелі їх виникнення.

Ключові слова: енергетичний баланс, ентропія, надсистема, якісна енергія, переробка відходів, сировина, технологічний процес, мінімізація відходів, екологічна ефективність, інноваційні технології.

V.S. Voloshyn, V.A. Burko. Improvement of individual protection equipment against falls from a height using the methods of focal objects and control questions. The purpose of the research is the development and research of an innovative production system management technology that allows changing the qualitative component of the used energy and minimizing the entropy of the technological process, due to its redistribution into the supersystem, which becomes a donor for new energy. This new energy is able to affect the components of raw materials that cannot be processed according to traditional technology, reducing the amount of waste at the source of their occurrence. A feature of the traditional technological process is the redistribution of the used energy by quality and its reservation for processing only that part of the raw materials, from which a marketable product is then obtained product. But at the same time, as a result of such borrowing of high-quality energy spent on the production of useful products, the share of entropy that settles in the spontaneously processed, but «unnecessary» material part of production - waste - increases. Ideas are presented for the development of waste management methodology at the source of their occurrence - the technological process. The basis of research is the principle of thermodynamic duality, which refers to the ratio of the component raw material base of the technological process and its energy capabilities at the limit of thermodynamic disequilibrium. The recognized range of parameters of the technological process within which the process of matching energy sources required for the technological process with the components of its raw material base in order to minimize waste is possible. The methodology for evaluating the last indicator allows you to objectively evaluate possible target modernizations in the technological process. As an indicator of scientific novelty, this approach is the basis of the method of determining the theoretical minimum of waste generation directed to the natural environment from the production sector. In the development of the principle of thermodynamic duality, methodological foundations are provided for identifying such an indicator as the theoretical minimum of waste generation in the technological process.

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-8423-2663, vsvlshn52@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-7384-4226, burko_v_a@pstu.edu

Keywords: *energy balance, entropy, supersystem, quality energy, waste processing, raw materials, technological process, waste minimization, ecological efficiency, innovative technologies.*

Постановка проблеми. В останній час з'явилися роботи, в яких доводиться взаємозалежність між термодинамічними процесами, що супроводять технології виробництва товарної продукції та виникнення відходів. Ці дані можуть бути об'єктивними, якщо вони можуть відповідати другому закону термодинаміки. А саме, знаходитися у відповідності до дисипативно-репаративних взаємодій, що стосується відношень в ієрархічно структурованих системах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні положення принципу термодинамічної двоєдності, який відповідає за механізми утворення відходів в будь-яких виробничих системах, стосуються 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]. Як результат, в системі з'являється готова продукція та відходи, відповідно. Такий принцип повинен повністю відповідати умовам другого закону термодинаміки, що має робити його легітимним в галузях будь-яких технологічних процесів. Підкреслюється дисипативно-репаративне сполучення енергетичних перетворень [2], що приводить до конструктивного результату, спрямованого на зниження ентропії системи таким чином, що $dS_U = dS_f^{\pm} + dS_i^{\pm} + dS_p^{\pm} \geq 0$. Індокси «f», «i», «p» позначають складові ентропії відкритої системи, а саме визначають її форму, інтенсивність і щільність, а знак ($\pm$) позначає вектор зміни ентропії, що стосується відповідної енергії дисипативного і репаративного напрямків відповідно [3].

Мета статті – встановлення можливості принципу термодинамічної двоєдності як прикладного механізму мінімізації промислових відходів у технологічних процесах шляхом перерозподілу якісної енергії всередині чи зовні системи.

Виклад основного матеріалу. Енергія, що використовується в будь-якому технологічному процесі, як правило, задіяна на отримання певних запрограмованих змін у стані тієї частини сировини, з якої потім отримується корисна продукція (рис. 1). Як правило ж ми не звертаємо уваги на те, що в традиційному технологічному процесі та ж сама енергія впливає і на інші компоненти сировини, до яких вона геть не запрограмована. Такий вплив цієї енергії призводить до зростання частки ентропії ΔS_o , що осідає в спонтанно переробленій, але «непотрібній» матеріальній частині виробництва – відходах.

Механізм такого перерозподілу ентропії між основними компонентами сировинної бази складає наступне: *закладена нами в готовий продукт негентропія збільшується за рахунок зростання ентропії решти матеріальної частини системи, і в першу чергу тієї, якій приписуються властивості відходів.* Це й складає суть принципу термодинамічної двоєдності у будь-якій виробничій системі відносно її сировинної компонентності.

В цій його частині, якщо це стосується об'єкту аналізу ентропії – неізолюваної нерівноважної системи з певними як дисипативними, так і репаративними процесами перетворення енергії та речовин, вказаний принцип відповідає другому закону термодинаміки, який в інтегральному вигляді має бути як

$$\Delta S_k = \sum_k \Delta S_k^{\pm} \geq 0, \quad (1)$$

де $\Delta S_k^{\pm}$ відноситься до тієї з k -их властивостей, які в даній системі змінюються в дисипативному ($\Delta S_k^{\pm} > 0$) або репаративному ($\Delta S_k^{\pm} \leq 0$) напрямках.

У цьому сенсі, розуміння формули другого закону термодинаміки дозволяє зробити висновки, які раніше не використовувалися для опису механізмів утворення відходів у виробничих системах. А саме. Будь-який технологічний процес – це термодинамічно незамкнута та нерівноважна система, що відносно сировини поводить себе як механізм спонтанного перерозподілу ентропії між різними компонентами сировини.

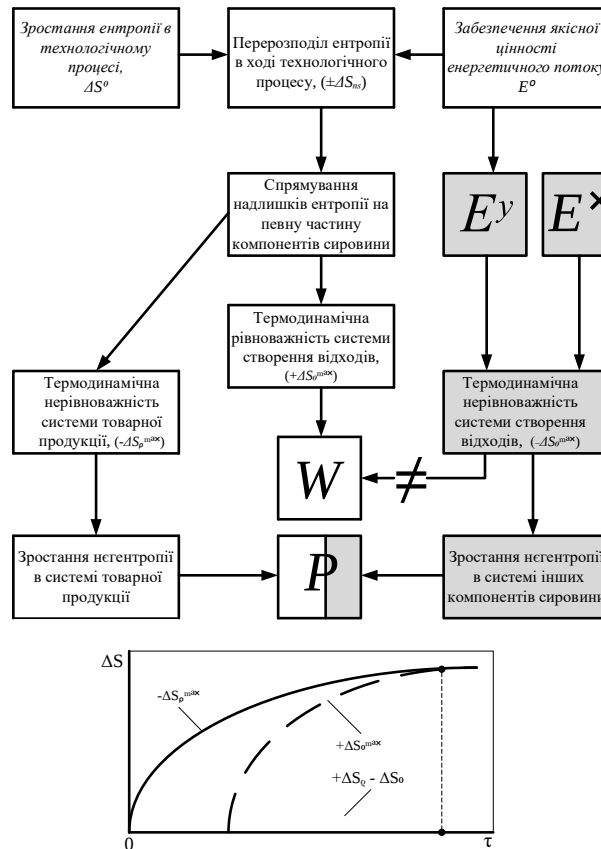


Рис. 1 – Умови перерозподілу ентропії і негентропії в процесі виробництва корисних продуктів та їх графічна інтерпретація

В результаті реалізації будь якого технологічного процесу, що має ознаки термодинамічно нерівноважної неізолюваної системи, відбувається наступна, вже знайома нам узагальнююча реструктуризація, до якої належить ця система (назвемо її i -тою системою) та яка сама має дві підсистеми ($i-1$) – виробництво відходів та ($i-2$) – виробництво корисної продукції, ентропії (рис. 2). Означимо, як ($i+1$) назву надсистеми для нашого технологічного процесу. 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 тією, яка споживала енергію ($E_{i-2}^0 + \Delta E_2^x$) на перетворення «корисної» частини сировини у продукцію, з одного боку, і тією, для якої притаманна енергія ($E_{i-1}^0 + \Delta E_1^x$), як для «непотрібної» частини 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 негентропія 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.

Якщо систему забезпечити певною внутрішньою енергією (E^y) або енергія подається ззовні (E^y) 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 (див. рис. 2).

Ентропія надсистеми збільшується принаймні на перерозподілену величину ентропії відходів самої системи. За певних умов така емісія ентропії з системи до надсистеми 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 (E^x) або існуюча, але модифікована (E^y) енергія, яка може змінити стан тих компонентів, які при традиційних умовах перетворюються у 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 (див. рис. 2).

Параметр	Надсистема			
	$i+1$	Система i	Підсистема $i-1$	Підсистема $i-2$
Вихідна енергія: - від внутрішнього джерела	E_{i+1}^0	$E_i^0 = E_{i-1}^0 + E_{i-2}^0$ $E^x = \Delta E_1^x + \Delta E_2^x$ $E^y = \Delta E_1^y + \Delta E_2^y$	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^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 $S_{i-1}^0 + \Delta S_{i-2}$ $S_{i-1}^0 + \Delta S_{i-2}$	S_{i-2}^0 $\frac{S_{i-2}^0 - \Delta S_{i-2}}{P}$ $\frac{S_{i-2}^0 - \Delta S_{i-2}}{P}$
Сировина, матеріали - для традиційної технології - для системи в сильній термодинамічній нерівноважності	C_{i+1}^0	C_i^0	C_{i-1}^0 $\frac{C_{i-1}^0}{W_{i-1} \sim C_{i-1}^0} + \frac{C_{i-2}^0}{P_{i-2} \sim C_{i-2}^0}$ $\frac{\dot{W}_{i-1} + P_{i-1}}{W} + \frac{P_{i-2}}{P}$	C_{i-2}^0 $\frac{C_{i-2}^0}{P_{i-2} \sim C_{i-2}^0}$ $\frac{P_{i-2}}{P}$

Рис. 2 – Актуалізація принципу термодинамічної двоєдності та управління перерозподілами ентропії між компонентами сировини в нерівноважних системах

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.

Додаткова енергія $E^x + E^y$ отримується за умовою емісії ентропії з кожної з двох підсистем шляхом «транзиту» в надсистему ($i + 1$) зі збільшенням її сумарної ентропії на величину $(\Delta S_{i-1} + \Delta S_{i-2})$. Ентропія двох наших підсистем ($i - 1$) і ($i - 2$) при цьому 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 (див. рис. 2). У нашому випадку це робота щодо перетворення компонентів однієї з підсистем (наприклад, відходи – підсистема ($i - 1$)) в корисні продукти.

Будь-який технологічний процес спрямований на якісну зміну його матеріальної та енергетичної складової через свідоме перетворення компонентів сировинної бази. Чим нижча якість використовуваної енергії в співвідношенні опосередкованих теоретичних (e^0) і фактичних (e^Φ) її витрат, тим вища відносна інтенсивність утворення відходів (рис. 3). І навпаки, зі зростанням якості фактично використовуваної енергії інтенсивність утворення відходів спадає за рахунок того, що ця енергія витрачається на переробку тієї частини сировини, яка в нормальних умовах перетворювалася би у відходи.

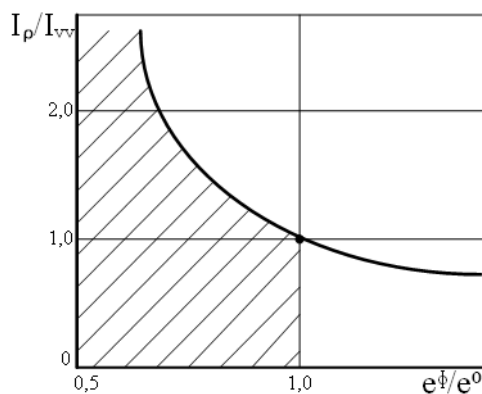


Рис. 3 – Вплив структури енергоспоживання на відносну інтенсивність утворення відходів e^0 і e^Φ – теоретично обумовлений та фактичний рівень енергоспоживання приведений до об'єму ресурсу; I_p і I_w – інтенсивність утворення продукції та відходів, відповідно, приведена до їх маси

Якісне поліпшення енергії в цій частині має бути пов'язане в першу чергу з її впорядкуванням у структурі вироблених корисних продуктів за рахунок цілеспрямованої технології перетворення тільки частки сировини. 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. Якість енергії, використовуваної в процесі виробництва для перетворення цієї другої частини сировини, практично ніколи не відповідає її структурі та якості, мало впливає і на якість її перетворення. Таким чином, 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).

Таким чином, основною властивістю відходів різного типу є не тільки їх низька споживча привабливість, але і те, що, потрапляючи в навколишнє середовище, вони є продуктами-носіями збільшення ентропійних процесів у цьому середовищі. У той же час будь-яка виробнича система є яскравою ілюстрацією сполучених дисипативно-репаративних процесів перетворення енергії і речовини [4, 9, 8]. Ми глибоко переконані, що саме вони є основою механізмів утворення відходів.

Резюмуючи вищесказане, можна зупинитися на деяких ознаках, які можна прийняти ґрунтовно принципу термодинамічної двоєдності як відповідні до другого закону термодинаміки і впливають з нього (табл. 1).

З такого співвідношення можна зробити висновок про те, що тільки сумісна взаємодія на структуру сировини та на якість джерел енергії в технологічному процесі дозволяє досягати можливого результату, а саме, змінити особливості та якість тих компонентів сировини, що раніше потрапляли до стану відходів.

Таблиця 1

Відповідність деяких ознак принципу термодинамічної двоєдності виробничої системи другому закону термодинаміки для відкритих систем

№№ п\п	Признак	Другий закон термодинаміки	Відповідність у принципі двоєдності
1	Поводження енергії	Транзит енергії відкритої системи в підсистему	Потрібність у додатковій енергії для переробки відходів
2	Поводження ентропії	Не збільшення ентропії відкритої системи та її емісія в надсистему	Видалення ентропії з системи з метою мінімізації відходів
3	Дисипативні процеси	Процеси втрати якості енергії при її витрачанні	Процеси переносу ентропії з продукції на відхід
4	Репаративні процеси	Процеси запозичення енергії та мінімізація ентропії в відкритій системі	Додаткова синергія відносно стану компонентів сировини, що відносяться до відходів
5	Дисипативно-репаративні взаємодії	Проява синергізму та максимальне використання якісної енергії в системі	Використання якісної енергії як для продукції, так і для дій щодо мінімізації відходів

В якості нового джерела енергії, крім основного, що бере участь в даному технологічному процесі, може виступати накладене поле різної якості: *синхронізуючий енергетичний сигнал, вторинний енергетичний вплив, енергетична модуляція сильного сигналу більш слабким, резонансний ефект і т. д.*, зокрема, представлені на рис. 4. З метою підвищення ефективності енергетичного впливу в технологічному процесі існують способи його послідовної модифікації, а саме забезпечення полем протилежного знаку, змінним у часі полем, високочастотним полем тієї ж якості, імпульсним енергетичним полем такої ж якості, як і основне. І, нарешті, поле резонансного стану по відношенню до початкового, якщо ми маємо справу зі змінними полями. Кожна з цих модифікацій дає технологам нові можливості впливати на склад вихідної сировинної бази технологічного процесу в напрямку переробки всіх її компонентів.

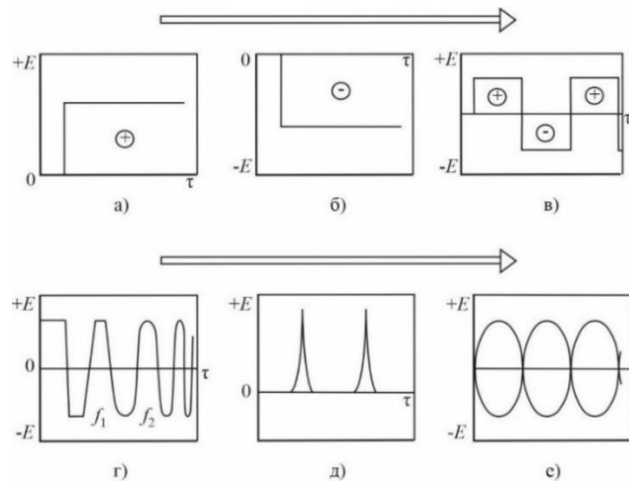


Рис. 4 – Лінія розвитку характеристик енергетичного поля, що бере участь у технологічному процесі: а) енергетичне поле постійного знаку; б) поле протилежного знаку; в) змінне енергетичне поле; г) високочастотне змінне поле; д) імпульсне енергетичне поле; е) резонансне частотне поле

Далеко не кожна нова енергія, задіяна в технологічному процесі, дозволяє мінімізувати одержувані відходи. Наприклад, відома в металургії практика модернізації мартенівських печей в 70-х роках минулого століття продувкою пічної ванни киснем і поява нового джерела теплової енергії – теплоти екзотермічних реакцій в зоні продувки, ніяк не вплинули на необхідну якісну

зміну складу і структури відходу – мартенівського шлаку, хоча і сприяли зниженню кількості чавуну, що подавалася у піч. Шлаки, як і раніше, залишаються лише інструментарієм для підвищення якості одержуваної сталі нових марок і, як і раніше, відходами. Причому більшість компонентів, що входили до складу чавуну (Si, Mn, P, S, V, Cr і ін.), підлягали більш інтенсивному окисленню і додатково збільшували кількість шлаку.

З таких позицій більш раціональним є приклад використання в доменному агрегаті нового покоління такого джерела енергії, як електричний струм і умови електролітичної дисоціації в зоні створення доменного шлаку, при спроможності для просторого розділу шлаків в нижній частині цього агрегату [5]. Безумовно, це потребує додаткових досліджень, але таке джерело здатне, принаймні, цілеспрямовано впливати на структуру доменного шлаку в напрямку мінімізації оксидів.

Ще одним прикладом є технологія розкрою листового металу [1], що здатна відійти від відхідної обрізі за рахунок нових джерел енергії, що використовуються в технології. Таких прикладів ще дуже обмаль, зокрема [6, 7, 10], але вони тим більш важливі в якості аргументації відносно мінімізації відходів у сучасних технологіях. Всі вони виглядають, як проява відомих дисипативно-репаративних процесів, в основі яких лежить емісія ентропії та скриті можливості для мінімізації відходів у будь-якому технологічному процесі.

Висновки

Ми маємо справу зі здатністю виробничої системи щодо перерозподілу якісної енергії всередині чи зовні системи з одночасним перерозподілом ентропії не в підсистему, що відповідає за отримання відходів, а в надсистему, яка стає донором для нової енергії, що здатна впливати на ті компоненти сировини, які не підлягають переробці за традиційною технологією. Для досягнення можливостей щодо мінімізації відходів у джерелі їх виникнення, технологічному процесі, мають бути створені умови для зміни якісної складової використовуваної енергії, мінімізувавши ентропію самого технологічного процесу, за рахунок викиду її в надсистему.

Перелік використаних джерел:

1. Волошин В. С. Природа отхообразования. Мариуполь : Видавництво «Рената», 2007. 666 с.
2. Prigogine I., George C. The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems. *Proceeding of the National Academy of Science*. 1983. Vol. 80. Pp. 4590-45945. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.80.14.4590>.
3. Prigogine I. Etude Thermodynamique des Phenomenes Irreversibles. These d'agregation presentee a la faculte des sciences de l'Unoversite Libre de Bruxelles. Paris: Dunon, 1947. 143 p.
4. Чаленко О. Ю. Самоорганізація, ентропія в природі та економіці. *Наука та інновації*. 2013. Т. 9. № 4. С. 13-24. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/114544>.
5. Johnson K. L. Thermodynamic Aspects of Industrial Waste Formation. *Journal of Industrial Ecology*. 2021. Vol. 25. Iss. 4, pp. 892-904. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.13085>.
6. Zhang Y., Yang W. Thermodynamic Analysis of Resource Utilization and Waste Generation. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 315. Pp. 128-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128933>.
7. Волошин В. С. Щодо питання про методологію мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – технологічному процесі. *Екологічні науки*. 2024. № 2(53). С. 114-122. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.17>.
8. Бутенко Е. О., Волошин В. С. Сучасні технології очищення стічних вод промислових підприємств. *Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг* : матеріали V Міжн. наук.-техн. конф., м. Львів, 11-13 жовтня 2023 р. Київ : Яроченко Я.В., 2023. С. 86-87.
9. Волошин В. С., Бутенко Е. О. Відносно питання про деякі нормативні вимоги щодо питної води. *Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг* : матеріали V Міжн. наук.-техн. конф., м. Львів, 11-13 жовтня 2023 р. Київ : Яроченко Я.В., 2023. С. 88-90.
10. Волошин В. С., Бурко В. А. Щодо питання про відповідність принципу термодинамічної двоедності, причини відходоутворювання, другому закону термодинаміки. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XX Міжнародної науково-практичної

конференції, м. Харків, 19-20 вересня 2024 р. УКРНДІЕП, 2024. С. 160-169. URL: http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf.

References:

1. V.S. Voloshyn, *Pryroda otkhodoobrazovaniya* [The nature of waste formation]. Mariupol, Ukraine: Renata Publ., 2007. (Rus.)
2. I. Prigogine, and C. George, «The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems», *Proceeding of the National Academy of Science*, vol. 80, pp. 4590-45945, 1983. doi: 10.1073/pnas.80.14.4590.
3. I. Prigogine, «Etude Thermodynamique des Phenomenes Irreversibles», these d'agregation, la faculte des sciences de l'Unoversite Libre de Bruxelles. Paris, France: Dunon, 1947. (Fr.)
4. O.Y. Chalenko, «Samoorhanizatsiia, entropiia v pryrodі ta ekonomitsi» [«Self-organization, entropy in nature and economics»], *Nauka ta innovatsii – Science and Innovation*, vol. 9, № 4, pp. 13-24, 2013. (Ukr.)
5. K. L. Johnson, «Thermodynamic Aspects of Industrial Waste Formation», *Journal of Industrial Ecology*, vol. 25, iss. 4, pp. 892-904, 2021. doi: 10.1111/jiec.13085.
6. Y. Zhang, and W. Yang, «Thermodynamic Analysis of Resource Utilization and Waste Generation», *Journal of Cleaner Production*, vol. 315, pp. 128-139, 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128933.
7. V.S. Voloshyn, «Shchodo pytannia pro metodolohiiu minimizatsii vidkhodiv u dzhereli yikh vynyknennia – tekhnolohichnomu protsesi» [«On the question of the methodology of waste minimization at the source of occurrence»], *Ekolohichni nauky – Ecological Sciences*, № 2(53), pp. 114-122, 2024. doi: 10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.17. (Ukr.)
8. E.O. Butenko, and V.S. Voloshyn, «Suchasni tekhnolohii ochyshchennia stichnykh vod promyslovykh pidpriemstv» [«Modern technologies for wastewater treatment of industrial enterprises»], in Proc. V Int. sci.-techn. conf. «Water supply and wastewater: design, construction, operation, monitoring», Lviv, 2023, pp. 86-87. (Ukr.)
9. V.S. Voloshyn, and E.O. Butenko, «Vidnosno pytannia pro deiaki normatyvni vymohy shchodo pytnoi vody» [«Regarding the question of some regulatory requirements for drinking water»], in Proc. V Int. sci.-techn. conf. «Water supply and wastewater: design, construction, operation, monitoring», Lviv, 2023, pp. 88-90. (Ukr.)
10. V.S. Voloshyn, and V.A. Burko, «Shchodo pytannia pro vidpovidnist pryntsypu termodynamichnoi dvoiednosti, prychyny vidkhodoutvoriuvannia, druhomu zakonu termodynamiky» [«Regarding the question of the compliance of the principle of thermodynamic duality, the cause of waste generation, with the second law of thermodynamics»], in Proc. XX Int. sci.-pract. conf. «Environmental safety: problems and solutions», Kharkiv, 2024, pp. 160-169.

Стаття надійшла 26.10.2024

Стаття прийнята 06.11.2024

УДК 504.06:504.05

doi: 10.31498/2225-6733.49.2.2024.321363

© Волошин В.С.*

ЧОМУ ЛЮДИНА ПОЧИНАЄ ПРОГРАВАТИ КОНКУРЕНЦІЮ ЗА ТЕРМОДИНАМІЧНУ НЕРІВНОВАЖНІСТЬ, ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ В НАВКОЛИШНЬОМУ ТЕХНОГЕННОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У роботі запропоновано до розгляду деякі безпекові умови для людини в навколишньому природному середовищі, через її відношення до термодинамічної

* д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-8423-2663, vsvlshn52@gmail.com