

УДК 504.064.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.13>

ПРО ДЕЯКІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ У ДЖЕРЕЛІ ЇХ ВИНИКНЕННЯ – ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ

Волошин В.С.

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»
вул. Дм. Яворницького, 19, 49057, м. Дніпро
vsvlshn52@gmail.com

В роботі представлені деякі аргументи щодо відповідності принципу термодинамічної двоєдності в технологічних процесах другому закону термодинаміки. Такий принцип дозволяє знаходити механізми мінімізації відходів у джерелі їх виникнення, в технологічному процесі. Підлеглисть цього принципу до другого закону термодинаміки в тій його частині, що стосується переносу ентропії від відкритої відходоутворюючої системи в надсистему з послідовним зустрічним переносом енергії певної якості з надсистеми для утворення умов для переробки тієї частини сировини, яка раніше отримувала статус відходів. Зручно посилатися на аргументацію І. Р. Пригожина про те, що у відкритих термодинамічних системах ентропія може мати спроможність не збільшуватися у результаті енергетичних змін в цієї системі, шляхом свого переносу в надсистему, і таким чином, звільняючи поле для тієї частини енергії, що йде на здійснення корисної роботи в цій системі. Другий закон об'єктивно охоплює не тільки дисипативні, але і зворотні репаративні процеси концентрації енергії і речовини, задля виникнення і розвитку складних відкритих систем у живій і неживій природі шляхом запозичення енергії у надсистеми. Таке розуміння формули другого закону термодинаміки дозволяє зробити висновки, які раніше не використовувалися для опису механізмів утворення відходів у виробничих системах. Надані тези про те, що існує поступова взаємна залежність між термодинамічними процесами, пов'язаними з технологіями виробництва готової продукції, та їх відходами, з одного боку, і дисипативно-репаративними взаємодіями як всередині системи, так і поза неї, з другого. Умовою для мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – технологічному процесі, є необхідність забезпечення перерозподілу ентропії між компонентами сировинної бази таким чином, щоб закладена в готовий продукт негентропія була спроможна до збільшення за рахунок зростання ентропії іншої матеріальної частини системи, і розповсюджувалась, в першу чергу, на ту частину сировини, якій приписуються властивості відходів. Наведено приклади та перелік процесів, для яких притаманні перерозподіли ентропії і протилежні їм процеси транзиту якісної енергії з надсистеми в систему, що дозволяє забезпечити синергізм цієї системи відносно її відходів. Показані можливості різних засобів введення додаткових та модифікованих джерел енергії в такі системи. *Ключові слова:* промислові відходи, технологічний процес, термодинамічна двоєдність, емісія ентропії, негентропія.

On some regularities of waste minimization in the source of their origin – the technological process. Voloshyn V.

The paper presents some arguments regarding the correspondence of the principle of thermodynamic duality in technological processes to the second law of thermodynamics. This principle makes it possible to find mechanisms for minimizing waste at the source of their origin, in the technological process. The subordination of this principle to the second law of thermodynamics in that part of it concerns the transfer of entropy from an open waste-generating system to a supersystem with a sequential counter transfer of energy of a certain quality from supersystems to create conditions for the processing of that part of raw materials that previously received the status of waste. It is convenient to refer to I. R. Prigogine's argument that in open thermodynamic systems entropy may not be able to increase as a result of energy changes in this system, by transferring it to the supersystem, and thus freeing up the field for that part of the energy that is used to carry out useful work in this system. The second law objectively embraces not only dissipative, but also inverse reparative processes of concentration of energy and matter, for the emergence and development of complex open systems in animate and inanimate nature by borrowing energy from supersystems. This understanding of the formula of the second law of thermodynamics allows us to draw conclusions that have not been previously used to describe the mechanisms of waste generation in production systems. The thesis that there is a gradual mutual dependence between the thermodynamic processes associated with the technologies of production of finished products and their waste, on the one hand, and dissipative-reparative interactions both inside and outside the system, on the other, are presented. The condition for minimizing waste in the source of their origin – the technological process, is the need to ensure the redistribution of entropy between the components of the raw material base in such a way that the negentropy embedded in the finished product is capable of increasing due to the increase in the entropy of the other material part of the system, and spreads, first of all, to that part of the raw material to which the properties of waste are attributed. Examples and a list of processes characterized by redistributions of entropy and opposite processes of transit of qualitative energy from the supersystem to the system are provided, which allows to ensure the synergy of this system with respect to its waste. The possibilities of various means of introducing additional and modified energy sources into such systems are shown. *Key words:* industrial waste, technological process, thermodynamic duality, entropy emission, negentropy.

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, знаходиться у відповідності до дисипативно-репаративних взаємодій що стосується відношень в ієрархічно структурованих системах. Виникає потреба в доказах про цю залежність як зна-

чушу в додатку до технологічного процесу, що може означати отримання чергового підтвердження принципу термодинамічної двоєдності як основи механізму утворення відходів у виробничих системах.

Актуальність дослідження. Проблеми мінімізації відходів на протязі останніх десятиріч змінюють свої напрямки, знаходять, на перший погляд, радикальні рішення, які мали б вирішити проблеми з накопиченням відходів на планеті, але кількість та міцність світових виробництв така, що на кожен тону старих промислових відходів від нових виробничих систем. Автори запропонували спосіб мінімізації відходів у джерелах їх походження, в технологічному процесі, що, може стати одним з актуальних методів мінімізації нових відходів, може стати орієнтиром для створення технологій, що наближені до безвідходних. І не зважаючи на додаткові витрати, пов'язані з розробкою таких технологій, цей напрямок має суттєві перспективи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні положення принципу термодинамічної двоєдності, як частковий випадок термодинамічного дуалізму, 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. Доречно буде звернутися на давні роботи групи І. Р. Пригожина [2, 3] та сучасні роботи [4, 5] 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 до них репаративні процеси концентрації енергії і речовини, виникнення і розвиток складних відкритих систем у живій і неживій природі, які здійснюються шляхом запозичення енергії у надсистемі. Підкреслюється дисипативно-репаративне сполучення енергетичних перетворень, що

приводить до конструктивного результату, спрямованого на зниження ентропії системи таким чином, що $ds_U = ds_f^{\pm} + ds_i^{\pm} + ds_p^{\pm} \geq 0$. Індeksi «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 [2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Правила перерозподілу енергії та ентропії в будь-якій системі може відбуватися тільки у відповідності до другого закону термодинаміки. Принцип термодинамічної двоєдності, як такий, що відповідає за створення умов для отримання готової продукції та відходів у будь-якому технологічному процесі, також не може відходити поза рамки другого закону термодинаміки у тій його частині, що стосується сильно нерівноважних систем. Тому аргументи щодо такої відповідності мають стати підставою для об'єктивізації цього актуального технологічного принципу і стати його додатковим підтвердженням

Новизна. Аргументовано, як відповідне другому закону термодинаміки, існування принципу термодинамічної двоєдності у технологічному процесі, як основи для механізму виникнення відходів, а саме, за рахунок переносу ентропії до надсистеми та забезпечення зустрічного транзиту енергії, спроможною по іншому впливати на ті компоненти сировини, які є потенційними відходами.

Методологічна значимість. Умовою для використання принципу термодинамічної двоєдності заради створення механізмів мінімізації відходів у джерелі їх виникнення, технологічному процесі, є можливість створення зустрічних процесів переносу ентропії та транзиту енергії потрібної якості між ієрархічними структурами системи, заради перетворення частини компонентів сировини у товарну продукцію.

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_0 , що осідає в спонтанно переробленій, але «непотрібній» матеріальній частині виробництва – відходах.

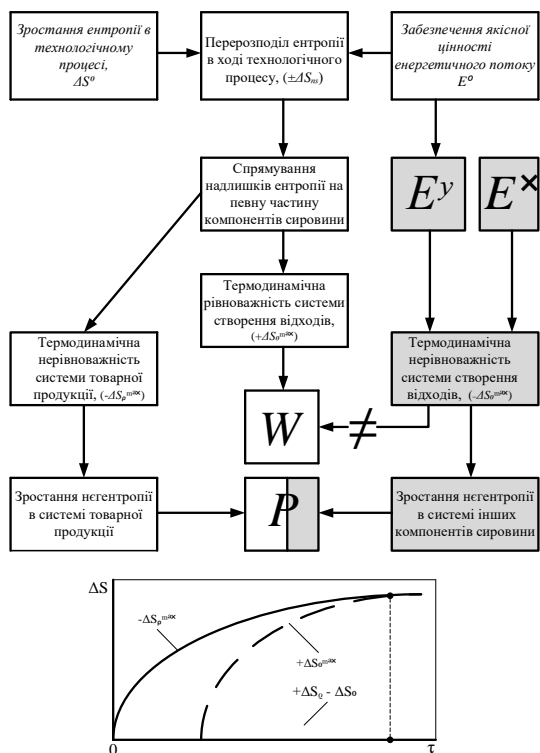


Рис. 1. Умови перерозподілу ентропії і негентропії в процесі виробництва корисних продуктів та їх графічна інтерпретація

Механізм такого перерозподілу ентропії між основними компонентами матеріальної 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 ΔS_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

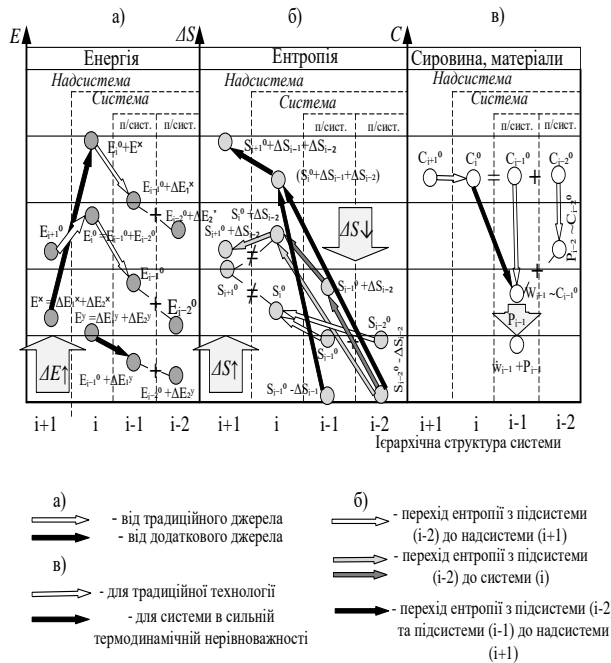


Рис. 2. Актуалізація принципу термодинамічної двоєдності та управління перерозподілами ентропії між компонентами сировини в нерівноважних системах

В результаті реалізації будь якого технологічного процесу, що має ознаки термодинамічно нерівноважної не ізолюваної 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 ($E_{i-2}^0 + \Delta E_2^x$) як 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 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 вона подається ззовні (E^y) з над-

системи, 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 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^y) або існуюча, але модифікована (E^y) 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 та 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 ($i-1$) та ($i-2$) 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. 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 використо-

ваної 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.

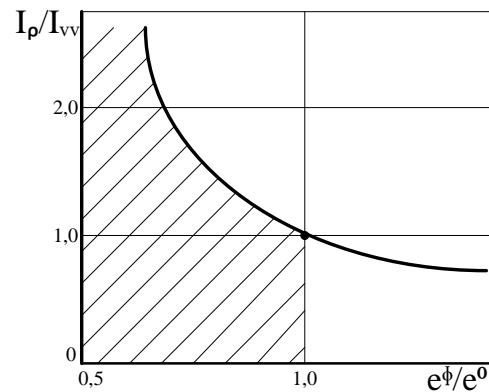


Рис. 3. Вплив структури енергоспоживання на відносну інтенсивність утворення відходів e^0 і e^Φ – теоретично обумовлений та фактичний рівень енергоспоживання приведені до об'єму ресурсу;

I_p і I_w – інтенсивність утворення продукції та відходів, відповідно, приведена до їх маси

Раніше в наших міркуваннях ми могли бачити, що зростання негентропії виробничої системи повинно бути пов'язане з процесами перерозподілу ентропії між мінливими матеріальними компонентами системи, а також процесом загального зростання ентропії тієї ж системи, що відбувається в процесі виробничої діяльності. Причинами зростання негентропії у виробничій системі можуть бути: вдосконалення існуючих і розробка нових технологій і способів обробки сировини, нових для цього технічних засобів, інших принципів перетворення енергії в системі і т. д. Ці новітні процеси мають природні обмеження, особисті властиві кожній матеріальній системі, зокрема, що накладає другий закон термодинаміки, а також у залежності від якості використовуваної в системі енергії (див. рис. 3).

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 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 [3]. Ми глибоко переконані, що саме вони є основою механізмів утворення відходів.

Резюмуючи вищесказане, можна зупинитися на деяких ознаках, які можна прийняти стосовно 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.

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.

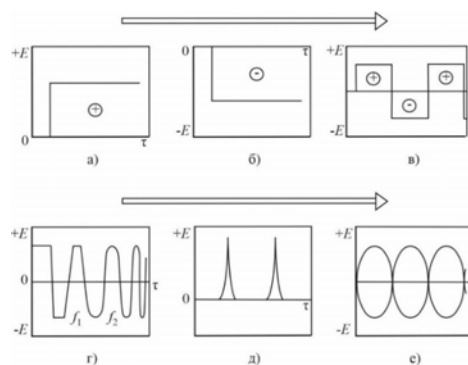


Рис. 4. Лінія розвитку характеристик енергетичної складової, що бере участь у технологічному процесі
 а) енергетичне поле постійного знаку;
 б) поле протилежного знаку;
 в) змінне енергетичне поле;
 г) високочастотне змінне поле;
 д) імпульсне енергетичне поле; е) резонансне поле

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, остаються лише інструментарієм для підвищення якості одержуваної сталі нових марок і, як і раніше, відходами. Причому більшість компонентів, що вхо-

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

дили до складу чавуну (Si, Mn, P, S, V, Cr і ін.), підлягали більш інтенсивному окисленню і додатково збільшували кількість шлаку. Однак, при цьому, за рахунок зменшення потреб у чавуні, відходи в паралельній системі можна зменшити, якщо розглядати як таке доменне виробництво (доменний шлак). Але це непрямий результат. Те ж саме, як і зменшення втрат металу при продуванні і пиловидаленні, а також у вигляді корольків у зливному 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 [1]. 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 розкרוлю 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], 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.

1. 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.

2. Встановлено, що такий механізм існує, як перерозподіл якісної енергії між надсистемою та системою з одночасним перерозподілом ентропії з підсистеми, відповідальною за появу відходів, до цієї надсистеми, яка стає енергетичним донором для нової енергії. Ця енергія повинна мати можливість особливого впливу на ту частину сировини в технологічному процесі, з якої раніше були отримані відходи.

3. При цьому більша частина сировини може бути перероблена в корисну продукцію, а найменша – у промислові відходи.

Література

1. Волошин В. С. Відходи та їх природа. Видання друге, доповнене. 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.4590-45945.
4. Чаленко О. Ю. Самоорганізація, ентропія в природі та економіці. Наука та інновації. 2013. Т. 9, № 4. – С. 13-24. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn_2013_9_4_3
5. Волошин В. С. Щодо питання про методологію мінімізації відходів у джерелі їх виникнення -технологічному процесі. Екологічні науки. № 2 (53). 2024. С. 114-122.
6. Бутенко Э. О., Волошин В. С. Сучасні технології очищення стічних вод промислових підприємств. V Міжнародна науково-технічна конференція «Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг» (11-13 жовтня 2023, Україна, Львів): Збірник матеріалів – Київ, 2023. – С. 86-87.
7. Волошин В. С., Бутенко Е. Ю. Відносно питання про деякі нормативні вимоги щодо питної води. V Міжнародна науково-практична конференція «Водопостачання та водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг» 2023, Україна, Львів. С. 88-90.