

ПРО ОДНУ ОСОБЛИВІСТЬ ЩО ЛЕЖИТЬ В ОСНОВІ ПРИНЦИПУ СТВОРЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

¹ДВНЗ «Приазовський Державний Технічний Університет»

²ДВНЗ «Приазовський Державний Технічний Університет»

Анотація

Робота присвячена доказам підлеглості принципу термодинамічної двоєдності, як механізму утворення промислових відходів, до другого закону термодинаміки в сенсі перерозподілу енергії та ентропії технологічного процесу заради створення умов для мінімізації промислового відходу.

Ключові слова: промислові відходи, технологічний процес, термодинамічна двоєдність, емісія ентропії, негентропія.

Abstract

The work is devoted to proving the subordination of the principle of thermodynamic duality, as a mechanism for the formation of industrial waste, to the second law of thermodynamics in the sense of redistribution of energy and entropy in the technological process in order to create conditions for minimizing these wastes.

Keywords: industrial waste, technological process, thermodynamic duality, entropy emission, negentropy

Вступ

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 утилізованих відходів, світ створює 5-6 тон нових 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 [1]. І не зважаючи на додаткові витрати, пов'язані з розробкою таких технологій, цей напрямок має суттєві перспективи.

В основі принципу термодинамічної двоєдності, 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 [2, 3]. 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.

Тут доречно буде звернутися на давні роботи професора Г. А. Михайлівського (1962, 1979) і Г. Н. Алексєєва (1968), які підтверджені дослідженнями групи І. Р. Пригожина [4, 5] та сучасні роботи В. І. Пампура [6], В. П. Кухаря В. П. [7], Чекаленко О. Ю. [8] 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, 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 $dS_U = dS_f^\pm + dS_i^\pm + dS_p^\pm \geq 0$, де індекси «f», «i», «p» позначають складові ентропії відкритої системи, а саме визначають її форму, інтенсивність і щільність, а знак (\pm) позначає вектор зміни відповідної енергії дисипативного і репаративного напрямків відповідно [4].

Результати дослідження

Особливістю традиційного технологічного процесу є перерозподіл використовуваної 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.

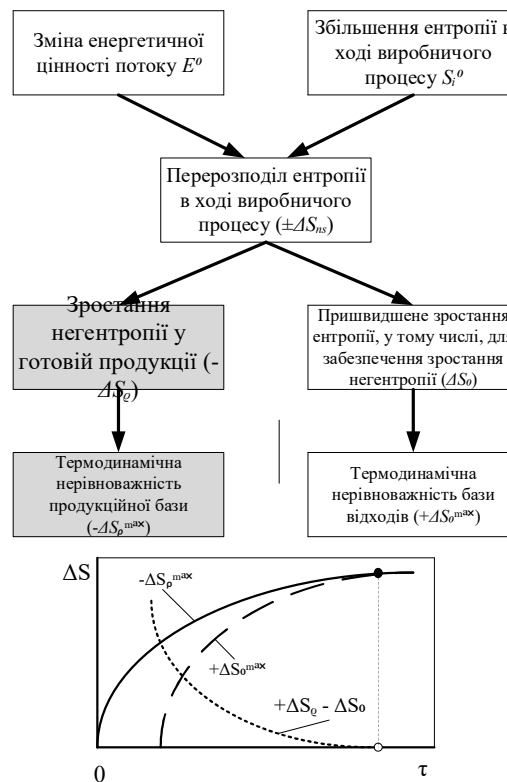


Рис. 1. — Умови перерозподілу ентропії і негентропії в процесі виробництва корисних продуктів та її графічна інтерпретація.

У виробничих системах, де створюються відходи, перерозподіл ентропії між компонентами матеріальної бази 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. Це ще раз підтверджує термодинамічну двоєдиність будь-якої виробничої системи відносно сировинної компонентності.

В результаті такого запозичення якісної енергії, витраченої на виробництво корисних продуктів, зазвичай, зростає частка ентропії, що осідає в якось переробленій, але «непотрібній» матеріальній частині виробництва — відходах.

Якщо об'єктом аналізу енергетичної ентропії є нерівноважна неізолювана 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

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

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.

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 неізолюваній 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 (Рис. 2). А саме: якщо ми прийнемо за основу ($i+1$) – 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 индексам 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 (рис. 1). Це ще раз підтверджує існування термодинамічної двоєдності для будь-якої виробничої системи.



Рис.2 – Умови для створення принципу термодинамічної двоєдності, як механізму утворення промислових відходів у виробничих системах

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, що зображений на рис.2, 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.

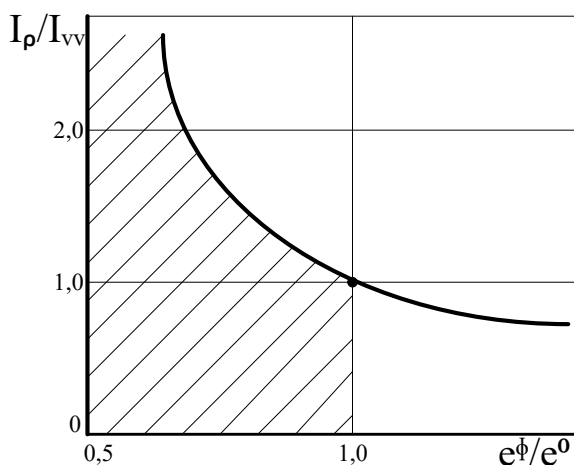


Рис. 3. — Вплив структури енергоспоживання на відносну інтенсивність утворення промислових відходів e^0 і e^ϕ — теоретично обумовлений та фактичний рівень енергоспоживання приведений до об'єму ресурсу; I_p і I_w — інтенсивність утворення продукції та відходів, відповідно, приведена до їх маси.

Безумовною метою будь-якого виробничого процесу є якісна зміна його матеріальної та енергетичної складової через свідоме перетворення компонентів сировинної бази. Причому, 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.

У розвитку цих положень четвертий і п'ятий закони енергоентропії відображають ту частку потенційних можливостей для репаративних процесів, які притаманні конкретній виробничій системі. В тому числі, ці можливості слід віднести до обмеження механізмів утворення відходів.

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. Цей 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 (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 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, і 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 (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 [8]. 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).

Табл. 1. – Відповідність деяких ознак принципу термодинамічної двоєдності, як механізму створення промислових відходів, другому закону термодинаміки для відкритих систем.

№	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

Як впливає з такого співвідношення, 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.

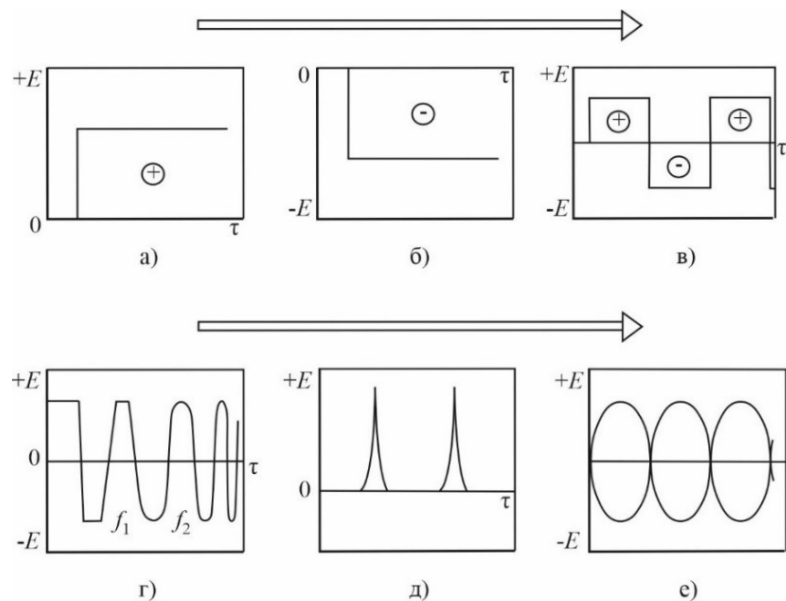


Рис. 4 – Лінія розвитку характеристик енергетичного поля, що бере участь у технологічному процесі

- 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 мартенівського шлаку, хоча і сприяли зниженню кількості чавуну, що подавалася у піч. Вони, як і раніше, остаються лише інструментарієм для підвищення якості одержуваної стали 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, 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 розкрою листового металу [2], що здатна відійти від відхідної обрізи за рахунок нових джерел енергії, що використовуються в технології. Таких прикладів ще дуже

обмаль, зокрема [9, 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

Здатність до перерозподілу якісної енергії всередині чи зовні системи та можливості емісії ентропії не в підсистему отримання відходів, а в надсистему, разом із компонентною структуризацією сировини, є основою для забезпечення умов, щодо мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – виробничому 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, забезпечивши її викид в надсистему. Подібна методологія вже знаходить розуміння як серед чистих екологів, так і серед промисловців, особливо, якщо це стосується нових технологічних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошин В. С. Щодо питання про методологію мінімізації відходів у джерелі їх виникнення -технологічному процесі. Екологічні науки. № 2 (53). 2024. С.114-122.
2. Волошин В. С. Відходи та їх природа. Київ-Маріуполь, 2024. 661 с.
3. Волошин В. С. Відходи та термодинаміка. Київ-Маріуполь, 2024. – 80 с.
4. 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.
5. 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
6. Пампура В. И. Оптимальное управление безопасностью экологически опасных объектов. К., 2012. – 348 с.
7. Кухарь В. П. Экотехнология. Оптимизация технологии производства и природопользования. К. : Наукова думка, 1989. 264 с.
8. Чаленко О. Ю. Самоорганізація, ентропія в природі та економіці / О. Ю. Чаленко // Наука та інновації. 2013. Т. 9, № 4. - С. 13-24. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn_2013_9_4_3
9. Бутенко Е. 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 – Львів-Київ, 2023. – С. 86-87.
10. 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-Київ. С. 88-90

Волошин В'ячеслав Степанович, – д-р техн. наук, професор, Приазовський Державний Технічний Університет, м. Маріуполь (м. Дніпро)

Бурко Вадим Анатолійович, – кандидат техн.наук, доцент кафедри промислових теплоенергетичних установок і теплопостачання, Приазовський Державний Технічний Університет, м. Маріуполь (м. Дніпро), e-mail: burko_v_a@pstu.edu

Voloshyn Vyacheslav S., – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Pryazovsky State Technical University, Mariupol (Dnipro)

Burko Vadim A., – Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the department of industrial thermal power plants and heat supply, Pryazovsky State Technical University, Mariupol (Dnipro), e-mail:burko_v_a@pstu.edu