

ПРИНЦИП МІНІМІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ У ДЖЕРЕЛІ ПОХОДЖЕННЯ ЯК НОВИЙ ПІДХІД ДО СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТРОЇВ

В'ячеслав Волошин

доктор технічних наук, професор

Приазовський державний технічний університет, вул. Гоголя, 29, Дніпро, Україна, 49000, rector2591@gmail.com

ORCID: 0009-0005-6809-6779

Тетяна Данилова

кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювання та споріднених технологій

Приазовський державний технічний університет, вул. Гоголя, 29, Дніпро, Україна, 49000, kvitonk@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3086-9044

Марія Мнацаканян

кандидат технічних наук, доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

Маріупольський державний університет, вул. Преображенська, 6, Київ, Україна, 03037,

m.s.mnatsakanian@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1829-2334

Статтю присвячено актуальній проблемі утворення відходів у технологічних установках та їхньому впливу на сучасне технологічне суспільство. Однією з основних причин цієї актуальності є те, що відходи, які утворюються під час виробництва та експлуатації технологічних устроїв, стають серйозною загрозою для навколишнього середовища та здоров'я людей. Проблема відходів стає ще більш актуальною через нерівномірний розподіл сучасних технологічних устроїв у світі. Сьогодні багато країн розвинутого світу мають велику кількість технологічних устроїв п'ятого і шостого рівнів, тоді як країни третього світу мають переважно технології четвертого і третього рівнів. Це створює нерівновагу та негативний вплив на глобальну екологічну ситуацію. Часто технології п'ятого і шостого рівнів, які мають бути безвідходними, насправді генерують значну кількість відходів. У статті проводиться аналіз і порівняння функцій афінності та відштовхування в різних технологіях і вказано на те, що навіть нові технології не завжди вирішують проблему утворення відходів ефективно. Під час порівняння обсягів виробництва та обсягів утворення відходів стає очевидним, що технології п'ятого і шостого рівнів не завжди є менш забруднюючими порівняно з технологіями четвертого і третього рівнів. Структура технологічного процесу, яку розглядає стаття, включає у себе матеріальний сировинний потік, потік енергії та інформаційний потік. Інформаційний потік відображає методи і умови переробки сировини в продукцію та відходи. Важливою особливістю цього підходу є те, що якість та структура відходів залежать від багатьох чинників, що впливають на виробничий процес. Стаття підкреслює важливість ефективного управління відходами на рівні джерела їх виникнення та наголошує на тому, що ця проблема є невід'ємною частиною розвитку сучасного суспільства. Навіть під час упровадження нових технологій необхідно дбати про мінімізацію відходів та збереження навколишнього середовища. Розвиток нових технологій пов'язаний із перспективою для людства, і вирішення проблеми відходів є важливим складником цього процесу.

Ключові слова: технологічний устрій, відходи, нанотехнології, навколишнє середовище.

Актуальність роботи. Обговорення утворення відходів у технологічних устроях є надзвичайно актуальним для сучасного технологічного суспільства хоча б тому, що вони закладають на майбутнє ті ж самі проблеми, з якими постійно стикається суспільство за традиційних технологічних устроїв, зокрема пов'язаних зі ступенем впливу на навколишнє середовище.

Нерівномірність розподілу сучасних технологічних устроїв істотно стримує їх розвиток у світі, але робить їх найважливішим інструментом у вирішенні багатьох сучасних економічних

та екологічних проблем і навіть у політичних питаннях. Як приклад можна навести глобальну динаміку транзакцій у високовідходних технологіях у рамках IV і навіть III технологічних устроїв у країнах третього світу (Туреччина, Китай, Індонезія, Індія, Бразилія) у кінці минулого століття і переважне розміщення сучасних технологій V і VI технологічних устроїв у США, країнах Західної Європи [1; 2].

Далеко не все гаразд із виробництвом шостого технологічного устрою. Такі технології, як нано, засновані на складанні нанопродуктів із

вихідних наночастинок, які, за загальним задумом їх засновників Н. Танігуті, Х. Дрекслера і Р. Фейнмана, повинні бути практично безвідходними [3], сьогодні не є такими. Якщо врахувати обсяги утворення відходів, перераховані у відношенні до обсягів виробництва товарної продукції, то виробництва п'ятого і шостого технологічних устроїв за таким показником навіть поступаються технологіям четвертого і третього технологічних устроїв [4]. Розрахункове співвідношення між функціями афінності та відштовхування, що визначене за нашою методикою [5] і вказує на відносну потужність утворення відходів у будь-якій технології, свідчить про це табл. 1. Причина багато в чому полягає у тому, що фахівці у сфері технологій шостого порядку практично співвідносять нові технології за своїми ідеологіями з технологіями більш низьких устроїв, тим самим своєрідно «розвиваючи культуру» утворення відходів.

Актуалізація проблем утворення відходів у контексті їх прив'язки до існуючих технологічних рівнів виробництва. Пропонування нових можливостей та шляхів реалізації актуальних підходів до проблем мінімізації відходів у технологічних процесах.

Матеріали і результати дослідження. Структура сучасної класичної системи технологічного процесу складається із самої технічної системи (рис. 1), покликаної забезпечити здійснення цього процесу. За входу в таку систему деякий матеріальний сировинний потік (S_k – безперервний або дискретний), потік енергії (E_o), який активізує інструменти самої технічної системи (ТС), щоб цілеспрямовано змінювати стан сировини,

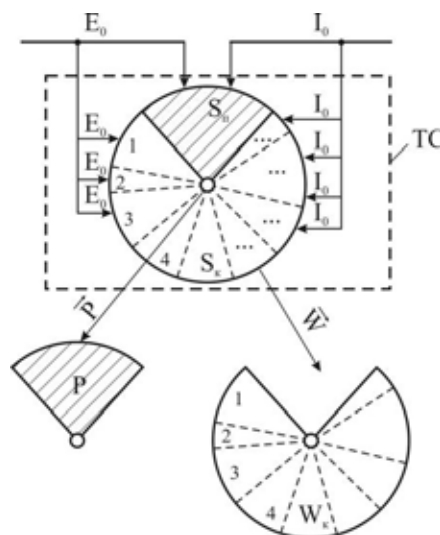


Рис. 1. Умовна схема традиційного технологічного процесу

Примітка: позначення у тексті

а також інформаційний потік (I_o), який, по суті, відображає методи і допустимі умови переробки сировини в матеріальні потоки готової продукції (P) і відходів (W). На виході системи ми традиційно маємо власне корисний продукт (P), заради якого ця система виробництва існує, і відходи (W), структура і якість яких доволінь й залежать від багатьох чинників самого виробничого процесу. Ця схема кочує по літературних джерелах незалежно від наукових цілей публікацій.

Результати та обговорення. Звернемо увагу на деякі особливості такої схеми.

1. Сировинний потік, як правило, багатокомпонентний, складається з n компонентів і призначе-

Таблиця 1

Розрахункове співвідношення між функціями афінності та функціями відштовхування у матеріальних потоках у нанотехнологіях

Назва технології	Матеріально-технічна база експериментального виробництва, г			Функція	
	Сировина	Продукція	Відходи	Афінність	Відштовхування
Отримання нанопорошків ⁽¹⁾	0,25	0,17	0,08	0,68	0,32
Виробництво нанопроводів ⁽²⁾	0,070	0,063	0,007	0,90	0,10
Отримання «файнмета» ⁽³⁾	100,0	77,5	22,5	0,775	0,225
Отримання вуглецевих трубок ⁽⁴⁾	0,030	0,0285	0,0015	0,95	0,05
Технології інтенсивної пластичної деформації ⁽⁵⁾	160,0	149,7	10,3	0,936	0,064
Технологія механосинтезу*	0,010000	0,009975	0,000025	0,9975	0,0025

(1) – згідно з роботою [7]; (2) – згідно з роботою [8]; (3) – згідно з роботою [9]; (4) – згідно з роботами [6] і [10]; (5) – згідно з роботою [8]; * – дані, отримані розрахунковим шляхом із використанням [8] і [11]

ний для отримання корисних продуктів у вигляді найчастіше одно- або двокомпонентної речовини (S_n). Решта компонентів ($(S_k, k=1(1)n)$) сировинної бази якщо й обробляються, то тільки тими ж способами і тими ж джерелами енергії, що і основний компонент. І не більше того. Якщо основний компонент (S_n) обробляється, наприклад, за допомогою теплової енергії, то інші компоненти (S_k) сировинної бази також переробляються цим видом енергії. Найчастіше виробнича система не має інших джерел енергії.

2. Джерело енергії у технологічному процесі вибирається відповідно до існуючих інженерних уявлень про способи отримання необхідного корисного продукту із заданої багатокомпонентної сировини. Загальні умови такі. *Початковий корисний компонент сировинної бази в рамках даного технологічного процесу повинен відповідати такому енергетичному ресурсу, за допомогою якого з нього отримують товарну продукцію. Решта компонентів сировинної бази автоматично підпорядковуються одному і тому ж джерелу енергії* (рис. 1). При цьому вони зазнають найбільш довільних перетворень, які згодом роблять їх непридатними як товарна продукція: такі вузли або деталі сировини для основного технологічного процесу деформується (стружка), взаємно спекаються (шлаки), змішуються (сипучі речовини), взаємно розчиняються (забруднення), розсіюються (пил) і т. п. Приклади очевидні. Для корисної зміни цих компонентів потрібні різні енергія, різні технологічні умови (інша інформація). Переважна більшість існуючих технологічних процесів до цього не пристосована (такі завдання на них ніколи не покладалися).

Приклад. Сировинна база доменного процесу містить до 20 компонентів, серед яких – хімічні сполуки кремнію, сірки, фосфору, марганцю, заліза, вуглецю та ін. Для цього в технологічному процесі використовується тепла енергія згоряння природного газу і коксу. Екзотермічна енергія окремих реакцій поки не може бути врахована. Вони не дають значного приросту енергії у процесі доменної печі. Але енергія цих джерел тепла також використовується для переробки інших компонентів вихідної сировини.

Так, у максимально спрощеному варіанті має право на існування гіпотеза про те, що *характер появи відходів може бути укладено у два рівнозначні складника: багатокомпонентну сировинну базу і місцеві джерела енергії, які використовуються в даному технологічному процесі.*

У багатьох галузях промисловості існують технології збагачення, флотації, сепарації, за яких відбувається вимушене збільшення частки компонента сировинної бази, з якої потім отримують товарну продукцію, або відбувається відділення одних, «потрібних» компонентів від інших, «непотрібних».

Ідеально коли в технологічному процесі є як технічні, так і енергетичні умови переробки *кожного компонента* сировинної бази (рис. 2) до стану товарної продукції. Зокрема, система, крім власного джерела енергії (E_o), призначеного для переробки необхідної частини сировини (S_n), повинна додатково містити такі джерела енергії (e_k), які як за якістю, так і за кількістю відповідають вимогам до переробки кожного компонента (S_k) в обсязі сировинної бази для подальшого перетворення її на корисні продукти (назвемо це відходи з ознаками корисних продуктів – $W(P)_k$). Звичайно, для цього потрібні нові технології, нові джерела інформації (i_k). Технологів першодусім цікавить, яким чином можна переробляти первинну сировину для отримання дійсно корисних продуктів і, як правило, мало турбуються про те, як інші компоненти сировинної бази змінять свої властивості, структуру і зовнішній вигляд. У результаті маємо те, що називається компонентною базою відходів, – марні продукти конкретного виробничого процесу.

Спробуємо уявити абстрактний технологічний процес (назвемо його *полімодалним* для зручності відмінності від класичних), за якого

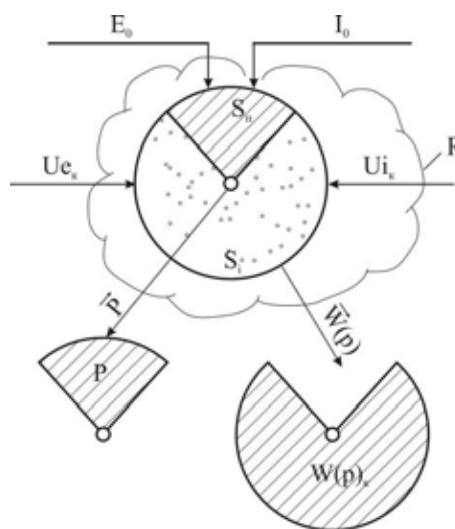


Рис. 2. Умовна схема полімодалного технологічного процесу

Примітка: позначення у тексті

кожен компонент сировинної бази був би зустрі-
нутий таким джерелом енергії, який однозначно
переробив би його незалежно від стану інших
компонентів сировинної бази до стану корисного
продукту.

Покажемо на прикладі доменного процесу.
Без урахування конструкції доменної печі уявімо
собі фізико-хімічний реактор (R) (рис. 2), у якому
відбувається функціональний поділ багатоком-
понентної сировини у вигляді доменної руди,
флюсових добавок і коксу на окремі компо-
ненти: одні сполуки кремнію, сірки, фосфору,
окремо – миш'яку, окремо – інші компоненти
рудного матеріалу (табл. 2). При цьому умовний
кількісний складник корисної товарної продукції
міг досягати 88–95% від маси використаної руди,
коксу і добавок. У цьому разі доменне виробни-

цтво замість 45% сировини перевело б у відходи
лише 5–10% цієї сировини у вигляді «ще» його
частини, що не підлягає переробці. Зокрема,
у такому реакторі, наприклад, можна викорис-
товувати високотемпературні електролітичні або
хімічні (пов'язані з каталітичними процесами)
джерела енергії. Так, їх ще потрібно розробити,
але гра варта свічок. По суті, йдеться про способи
придушення причин виникнення відходів у дже-
релах, тобто у самому процесі. Приваблива ідея!

Висновки. Незважаючи на існування у світі
шостого технологічного устрою, велика частина
товарної продукції й товарів народного спожив-
вання виготовляється у технологіях п'ятого, чет-
вертого і навіть третього технологічних устроїв.
А суспільство ще не навчилося ні ефективно
справлятися з відходами біля джерела їх виник-

Таблиця 2

Розрахункові дані про розподіл деяких компонентів сировинної бази доменного процесу між товарною
продукцією і відходами, приведені до відносних кількісних показників товарного чавуну, %

Складники сировинної бази	Масова частка в сировині, %	Традиційні технології		Полімодальні технології*	
		Продукція	Відходи	Продукція	Відходи
Залізо	16-72	60	-	60	-
Кремній	8-10 і більше	-	25-30	23-28	-
Фосфор руди					
Фосфор коксу	0,15				
0,015-0,04	-				
-	0,1-0,25				
0,03-0,05	0,15				
0,01-0,04	-				
-					
Коксовий вуглець	80-88	3-4	-	3-3,5	-
Сірка руди					
Сірка коксу	0,1-0,3				
0,5-1,8	-				
-	0,11-0,25				
0,05-0,10	0,2				
-	-				
-					
Миш'як	0,05-0,09	-	0,03-0,05	0,01-0,05	-
	<i>CaO вапняку</i>				
<i>SiO₂ вапняку</i>	55				
45	-				
-	3-4				
2,5-3,0		~ 2			
~ 1	-				
-					
Зола коксу	8-12	-	8-10	-	5-11
Усього	-	63-64	33,3-40,7	89,37-94,9	5-10

* – оцінка варіантів розподілу компонентів, задіяних у технологічному процесі, якщо в ньому присутні полі-
модальні технології

нення хоча б в одному з існуючих технологічних устроїв, ні мінімізувати їх до безпечного для навколишнього середовища рівня. І якщо традиційні технології існують уже багато століть і навіть тисячоліть і вони, по суті, відповідальні сьогодні за забруднення навколишнього середовища, то нові ідеології у технологічних устроях будуть пробиватися ще довго. Але за ними стоїть перспектива. Вона пов'язана з існуванням людства, і альтернативи їй бути не може. Принаймні для самих людей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Василенко В. Технологічні устрої в контексті прагнення економічних систем до ідеалу. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2013. № 1. С. 65–72.
2. Rogoff M., Skryv F. Waste to energy. Technologies and project implementation. Oxford, 2019. 228 p.
3. Дрекслер К.Е., Мінський М. Двигуни творення. Наступаюча ера нанотехнологій. Київ : Всесвіт, 1987. 227 с.
4. Волошин В.С. Особливості відходоутворення в нанотехнологіях. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи*

вирішення : матеріали 7-ї наук.-практ. конф., м. Алушта, 12–16 вересня 2011 р. С. 23–27.

5. Волошин В.С., Сменченко П.М. Методи управління ресурсними потоками в екологічних циклах. Донецьк, 1997. 72 с.
6. Шевердяев О.М. Нанотехнології. Стан та перспективи. *Вісті Академії промислової екології*. 2006. № 1. С. 26–32.
7. Бардаханов С.П., Ларічкін В.В., Корчагін А.І., Черепков В.В. Інженерні проблеми отримання та застосування нанопорошків для екологічних застосувань. *Вісті Академії промислової екології*. 2006. № 1. С. 20–25.
8. He L., Ma E. Structure and properties of nanocomposites. *Mat. Sci. Eng.* 1995. Vol. 20. № 4. P. 204–245.
9. Зайцев А.І., Садіков В.В., Соснін В.В. Нанокристалічні магнітно-м'які сплави – новий клас матеріалів. *Сталь*. 2004. № 5. С. 98–102.
10. Terrones M., Grobert N., Hsu W.K., Zhu Y.O., Hu W.B., Hare J.P. Morphology, structure and growth of WS₂ nanotubes. *MRS Bulletin*. 1999. Vol. 24. № 8. P. 43–49.
11. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. *Acta Mater.* 2000. Vol. 48. № 1. P. 29–34.

THE PRINCIPLE OF WASTE MINIMIZATION AT THE SOURCE AS A NEW APPROACH TO MODERN TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Vyacheslav Voloshin

Doctor of Technical Sciences, Professor

Pryazovskyi State Technical University, 29 Gogolya str., Dnipro, Ukraine, 49000, rector2591@gmail.com

ORCID: 0009-0005-6809-6779

Tetyana Danilova

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Welding and Related Technologies

Pryazovskyi State Technical University, 29 Gogolya str., Dnipro, Ukraine, 49000, kvitonk@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3086-9044

Mariia Mnatsakanian

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of System Analysis and Information Technologies

Mariupol State University, 6 Preobrazhenska str., Kyiv, Ukraine, 03037, m.s.mnatsakanian@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1829-2334

The article addresses the pressing issue of waste generation in technological facilities and its impact on contemporary technological society. One of the primary reasons for the relevance of this problem is that the waste generated during the production and operation of technological devices poses a significant threat to the environment and human health. The waste problem becomes even more critical due to the unequal distribution of modern technological devices worldwide. Currently, many developed countries possess a substantial number of fifth and sixth-level technological devices, while third-world countries predominantly have fourth and third-level technologies. This creates an imbalance and a negative impact on the global environmental situation. Often, fifth and sixth-level technologies, which are supposed to be waste-free, actually generate a considerable amount of waste. The article conducts an analysis and comparison of affinity and repulsion functions in different technologies, highlighting that even new technologies do not always effectively address the issue of waste generation. When comparing production volumes and waste generation, it becomes evident that fifth and sixth-level technologies are not necessarily less polluting compared to fourth and third-level technologies. The structure of the technological process, as examined in the article, encompasses a material raw material flow, an energy flow, and an information flow. The information flow reflects the methods and conditions of raw material processing into products and

waste. An important feature of this approach is that the quality and structure of waste depend on various factors affecting the production process. In conclusion, the article underscores the importance of effective waste management at the source of generation and emphasizes that this problem is an integral part of the development of modern society. Even with the implementation of new technologies, it is necessary to focus on waste minimization and environmental preservation. The development of new technologies is linked to prospects for humanity, and addressing the waste problem is a crucial component of this process.

Key words: technological paradigm, waste, nanotechnology, environment.

REFERENCES

1. Vasylenko V. (2013). Tekhnolohichni ustroi v konteksti prahennia ekonomichnykh system do idealu [Technological devices in the context of economic systems' striving for the ideal]. *Sotsialno-ekonomichni problemy i derzhava – Social-Economic Problems and the State*. № 1, 65–72 [in Ukrainian].
2. Rogoff M. & Skryv F. (2019). *Peretvorennia vidkhodiv u enerhiyu: Tekhnolohii ta realizatsiya proektu [Waste to energy. Technologies and project implementation]*. Oxford [in Ukrainian].
3. Dreksler K. Eryk & Minsky M. (1987). *Dvyhuny tvorennia. Nastupaiucha era nanotekhnolohii [Engines of Creation: The Emerging Era of Nanotechnology]*. VAT Vsesvit [in Ukrainian].
4. Voloshyn V.S. (2011). Osoblyvosti vidkhodooutvorennia v nanotekhnolohiiakh [Peculiarities of Waste Generation in Nanotechnologies]. *VII naukovo-praktychna konferentsiia «Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia» – The Seventh Scientific-Practical Conference «In Ecological Safety: Problems and Solutions»*. (pp. 23–27). [in Ukrainian].
5. Voloshyn V.S. & Smenchenko P.M. (1987). *Metody upravlinnia resursnyimi potokamy v ekolohichnykh tsyklakh [Methods of resource flow management in ecological cycles]*. Donetsk : Publisher [in Ukrainian].
6. Sheverdiaiev O.M. (2006). Nanotekhnolohii. Stan ta perspektyvy [Nanotechnologies: State and prospects]. *Visti Akademii promyslovoi ekolohii – Proceedings of the Academy of Industrial Ecology*, 1, p. 26–32 [in Ukrainian].
7. Bardahanov S.P., Larichkin V.V., Korchahin A.I. & Cherepkov V.V. (2006). Inzhenerni problemy otrymannia ta zastosuvannia nanoporoshkiv dlia ekolohichnykh zastosuvan [Engineering issues in the production and application of nanopowders for ecological purposes]. *Visti akademii promyslovoi ekolohii-Proceedings of the Academy of Industrial Ecology*, 1, p. 26–32 [in Ukrainian].
8. He, L., & Ma, E. (1995). Structure and properties of nanocomposites. *Materials Science and Engineering*, 20(4), 204–245 [in English].
9. Zaitsev A.I., Sadikov V.V. & Sosnin V.V. (2004). Nanokrystalichni mahnitno-m'aki splavy – novyi klas materialiv [Nanocrystalline magnetic-soft alloys – a new class of materials]. *Stal – Steel*, 5, pp. 98–102. [in Ukrainian].
10. Terrones M., Grobert N., Hsu W.K., Zhu Y.O., Hu W.B., Hare J.P. (1999). Morphology, structure and growth of WS₂ nanotubes. *MRS Bulletin*, 24(8), pp. 43–49 [in English].
11. Gleiter, H. (2000). Nanostructured materials: Basic concepts and microstructure. *Acta Materialia*, 48(1), pp. 29–34 [in English].

Стаття надійшла 27.08.2023