

УДК 664.8:620.9

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2026.1.2.24>

## ZERO-WASTE ТЕХНОЛОГІЇ У ПЕРЕРОБЦІ РОСЛИННОЇ ТА МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

**Тараймович І. В.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри харчових технологій та хімії  
Луцького національного технічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-4129-2671

**Вовк Б. І.** – кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри професійної освіти та технологій  
сільськогосподарського виробництва  
Глухівського національного педагогічного університету  
імені Олександра Довженка  
ORCID ID: 0000-0003-1161-7818

Дана стаття зосереджена на аналізі сучасних безвідходних підходів у переробці рослинної та молочної сировини. Метою даного дослідження є визначення ефективності zero-waste технологій у переробці овочевих та молочних компонентів, визначення можливостей застосування побічних продуктів харчової промисловості та створення стратегій їх інтеграції в довгострокові процеси розвитку компанії. Під час наукового дослідження використовувалися такі наукові методи як: метод аналізу та систематизації для узагальнення наукових праць, індукція та дедукція для формування теоретичних висновків, структурно-функціональний метод для ретельного дослідження для оцінки ефективності переробки рослинної та молочної сировини. В роботі наведено результати досліджень zero-waste технологій у переробці рослинної та молочної сировини. Визначено поняття та принципи zero-waste технологій у харчовій промисловості, зокрема у переробці рослинної та молочної сировини. Класифікація технологій безвідходної переробки. Розглянуто світовий досвід та приклади успішних кейсів (Agri-food industries, ЄС, США, Японія). Досліджено методи та технології переробки побічних продуктів рослинної сировини у корисні продукти (корм, біоенергія, харчові добавки, косметичні компоненти). Визначено характер та обсяги побічних продуктів молочної промисловості (сироватка, вершки, відходи ферментації). Розглянуто технології використання побічних молочних продуктів у виробництві білкових концентратів, кормів, біоенергії та косметичних компонентів. Проведено порівняльний аналіз ефективності zero-waste технологій для рослинної та молочної сировини з погляду економічної та екологічної доцільності. Представлено оптимальні моделі впровадження zero-waste на підприємствах. Надано пропозиції щодо комбінованого використання побічних продуктів. Визначено можливості інтеграції у локальні та національні стратегії сталого розвитку.

**Ключові слова:** харчова промисловість, рослинна сировина, молочна сировина, переробка, екологічні технології, безвідходні технології, zero-waste технології, побічні продукти, циркулярна економіка.

**Taraimovych I. V., Vovk B. I. Zero-waste technologies in the processing of vegetable and dairy raw materials**

*This article concentrates on minimal-waste approaches in managing fruit and dairy supplies, stressing the prospect for shared deployment of food sector remnants to reduce rubbish, enhance material efficiency, and curb negative environmental impacts. The aim of this study is to review and validate the effectiveness of minimal-waste procedures in treating vegetable and dairy components, identify possibilities for joint application of food industry byproducts, and create strategies for*

© Тараймович І. В., Вовк Б. І., 2026



Стаття поширюється на умовах  
відкритої ліцензії CC BY 4.0

*their integration into companies' lasting development routines. During the scientific inquiry, broad scientific modes of knowledge were employed, notably the review and combination method for summarizing scholarly works, intuition and deduction for shaping theoretical findings, a structured perspective for a thorough look at zero-waste approaches, and parallel examination for gauging the performance of processing vegetable and dairy materials. The concepts and principles of zero-waste technologies in the food industry, in particular in the processing of vegetable and dairy raw materials, are defined. Classification of waste-free processing technologies. World experience and examples of successful cases (Agri-food industries, EU, USA, Japan) were considered. Methods and technologies for processing plant by-products into useful products (feed, bioenergy, food additives, cosmetic components) were studied. The nature and volumes of dairy industry by-products (whey, cream, fermentation waste) were determined. Technologies for using dairy by-products in the production of protein concentrates, feed, bioenergy and cosmetic components were considered. A comparative analysis of the effectiveness of zero-waste technologies for plant and dairy raw materials was conducted from the point of view of economic and environmental feasibility. Optimal models for implementing zero-waste at enterprises were presented. Proposals were made for the combined use of by-products. Possibilities for integration into local and national sustainable development strategies were identified.*

**Key words:** *food industry, plant raw materials, dairy raw materials, processing, environmental technologies, waste-free technologies, zero-waste technologies, by-products, circular economy.*

**Постановка проблеми.** Умови глобальної продовольчої нестабільності, кліматичних змін та зростання антропогенного навантаження на довкілля зумовлюють необхідність переосмислення традиційних підходів до переробки харчової сировини. За даними FAO, щорічно у світі втрачається або утилізується понад 1,3 млрд тонн харчових ресурсів, значна частина яких припадає саме на рослинну та молочну галузі. Одночасно харчова промисловість залишається одним із найбільших генераторів органічних відходів та стічних вод.

В умовах переходу до біоекономіки актуалізується потреба у впровадженні технологій замкненого циклу, здатних забезпечити максимальне залучення кожного компонента сировини до створення кінцевого продукту.

Завдання безвідходної переробки рослинного та молочного матеріалу має як наукову, так і практичну вагу. З наукового погляду, вивчення зразків zero-waste дає змогу впорядкувати наявні методи, знайти найбільш дієві способи перетворення побічних продуктів у цінні ресурси та визначити їхню економічну та екологічну виправданість. Воно дозволяє сформувані науково обґрунтовані поради щодо вдосконалення виробничих циклів та застосування свіжих технологій, які відповідають засадам циркулярної економіки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання zero-waste технології у переробці рослинної та молочної сировини знаходять своє відображення у багатьох дослідженнях як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. У роботі Н. О. Стеценко [1, с. 199] підкреслюється важливість zero-waste підходів як складової сталого розвитку харчових технологій та «зеленої» економіки, що відповідає світовим тенденціям ресурсозбереження. М. Яцков, Н. Корчик, В. Беседюк [2, с. 80] проаналізували можливості реалізації концепцій глибокої переробки сировини в цільовий продукт, а також повне використання сировини та допоміжних матеріалів. Г. П. Хомич, Ю. Г. Наконечна, Л. Б. Олійник, З. М. Гайворонська, К. Р. Наконечний [3, с. 127] досліджували вдосконалення харчових технологій шляхом впровадження концепції «Зеровідходи», яка передбачає використання вторинних продуктів переробки фруктів як джерела цінних біологічно активних речовин у технологіях різних харчових продуктів. Г. Дейниченко, В. Гузенко, Д. Дмитревський, І. Золотухіна, В. Перекрест [4, с. 82] вивчали основні напрямки безвідходної переробки вторинної молочної сировини у харчові продукти із застосуванням мембранних методів розділення.

Серед іноземних дослідників варто звернути увагу на праці Z. T. Popovski, M. Svetozarevic – Arsovic, Z.Saiti – Musliji, A. Chadikovski, D. A. Bajrami, T. Tripunovski, T. Nestorovski [5], які досліджували можливості для впровадження концепції нульових відходів. N. Akhundova, A. Babashli [6, с. 86] акцентували увагу на створенні безвідходної технології переробки, яка перетворює молочну сироватку на функціональний продукт з покращеними органолептичними та харчовими властивостями. R. Kumar, G. Gupta, A. Hussain et al. [7] зосереджені на інноваційних безвідходних технологіях та децентралізованих систем утилізації відходів для інтеграції в циркулярну економіку та покращення відновлення ресурсів. O. Awogbemi, D.V.V. Kallon, K. A. Bello [8] досліджували способи переробки ресурсів з метою досягнення безвідходного виробництва. J. Szulc, B. Błaszak, A. Wenda-Piesik, G. Gozdecka, Żary-Sikorska E., M. Bąk, J. Bauza-Kaszewska [9] вивчали безвідходну технологію переробки сої. A. A. Nassani, N. Isac, J. Rosak-Szyrocka, Z. Yousaf, M. Haffar [10] досліджували практики нульових відходів у покращенні безвідходної економічної ефективності (СЕТР) виробничих підприємств. P. K. Sarangi, R. K. Srivastava, A. K. Singh, Sahoo, U. K., Prus, P., & Dziekański, P. [11] Використання харчових та фруктових відходів має потенціал для виробництва сталої енергії та біохімічних речовин. стратегія для досягнення нульових відходів у різних процесах перетворення. Цілі цього огляду були досягнуті завдяки детальному зосередженню на скороченні відходів джекфрута/відновленні поживних речовин за допомогою розробки сталого продукту, що включає безвідходний процес.

Таким чином, наявні наукові публікації формують комплексний контекст, у якому технології zero-waste розглядаються як важливий напрям циркулярної економіки, що обґрунтовує актуальність і наукову новизну даного дослідження.

**Метою роботи є:** вивчення та визначення дієвості zero-waste технік у переробленні рослинної та молочної бази з метою скорочення кількості сміття, зростання фінансової віддачі виробництва та формування додаткових активів для харчової, фуражної чи біоенергетичної галузей.

**Виклад основного матеріалу.** Безвідходні технології формують комплексну модель організації виробництва, що ґрунтується на поглибленому розподілі сировини на фракції, поєднанні мембранних, ферментативних і біотехнологічних методів, а також інтеграції побічних потоків у суміжні виробничі цикли. Так, молочну сироватку можна використовувати для одержання білкових концентратів і лактози, рослинні жмихи – як сировину для вилучення харчових волокон та поліфенольних сполук, а органічні залишки – як основу для генерації біоенергії.

Безвідходна переробка перестає бути лише екологічною концепцією та набуває ознак повноцінної технологічної стратегії підвищення конкурентоспроможності підприємств. У цьому контексті дана робота спрямована на узагальнення сучасних zero-waste рішень у переробці рослинної та молочної сировини та визначення перспектив їх практичного впровадження.

Міжнародні організації, як-от ФАО, ООН та ЄС, жваво підтримують політику зменшення харчових решток через законодавчі ініціативи, фінансування інновацій та поширення кращих практик. Наприклад, Європейський Союз у межах програми «Farm to Fork» ставить за мету скоротити харчові відходи на 50% до 2030 року, що стимулює впровадження безвідходних технологій у виробництві та переробці продовольчої сировини [13].

Міжнародні напрямки зменшення харчових відходів формують потребу у технологіях нульових відходів, що дають змогу вправно використовувати побічні

продукти та збільшувати економічну й природоохоронну результативність харчової індустрії.

Сучасні тенденції у сфері скорочення харчових відходів орієнтовані на принципи сталого розвитку та циркулярної економіки. Основні напрямки включають [12]:

1. Уникнення формування відходів на етапі виробництва та обробки.
2. Перетворення побічних продуктів у цінні ресурси.
3. Розвиток систем сортування, зберігання та логістики.
4. Наукові й технологічні інновації.

Наведено результати виконання третього зобов'язання щодо звітності щодо обсягів харчових відходів у Європейському Союзі за секторами діяльності згідно з класифікацією NACE rev.2 та за домогосподарствами, за винятком втрат харчових продуктів (їжа, не зібрана або не дозволена до продажу з міркувань безпеки) за 2023 рік (рис. 1).

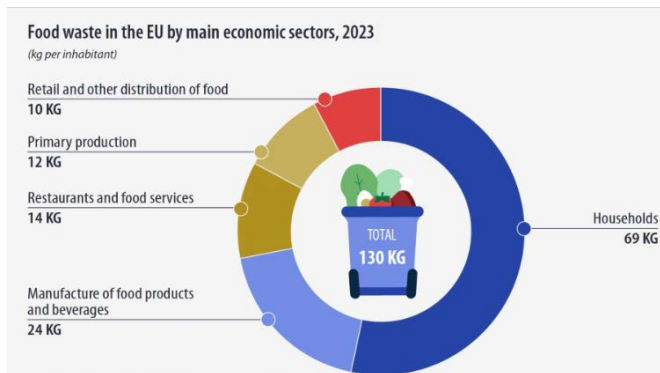


Рис. 1. Динаміка харчових відходів у Європейському Союзі за секторами діяльності у 2023 р.

Джерело: [14].

У 2023 році в ЄС утворилося близько 130 кг харчових відходів на одного мешканця. Домогосподарства виробили 53% харчових відходів, що становить 69 кг на мешканця. Решта 47% становили відходи, що утворювалися в ланцюжку постачання продуктів харчування. Харчові відходи домогосподарств трохи менше ніж удвічі перевищують обсяг харчових відходів, що утворюються в секторах первинного виробництва та виробництва харчових продуктів і напоїв (12 кг та 24 кг на мешканця; 10% та 19% відповідно), секторах, у яких існують стратегії щодо скорочення харчових відходів, наприклад, з використанням викинутих частин як побічних продуктів. Нарешті, на сектори ресторанів та громадського харчування, а також роздрібною торгівлі та інших видів розповсюдження продуктів харчування припадало 14 кг та 10 кг харчових відходів на особу (11% та 8% відповідно); однак вплив закінчення карантину COVID-19 на ці два сектори все ще аналізується.

У межах ЄС загальна кількість харчових відходів, виміряна у 2023 році, склала понад 58 мільйонів тонн свіжої маси. Побутові харчові відходи становили 31 мільйон тонн свіжої маси, що становить 53% від загальної кількості. Другим за частотою сектором (19%) була переробка та виробництво, де обсяг виміряних харчових відходів становив менш як 11 мільйонів тонн свіжої маси. Решта, близько 29% від загальної кількості, припадала на сектор первинного виробництва (менш як 6 мільйонів тонн, 10% від загальної кількості харчових відходів), ресторани та

громадське харчування (менш як 7 мільйонів тонн, 11% від загальної кількості), а також роздрібну торгівлю та інші види розповсюдження харчових відходів (трохи менше 5 мільйонів тонн, 8% від загальної кількості). Ці обсяги представлені на рис. 2.

**Food waste estimations in the EU, 2023**  
(million tonnes of fresh mass)

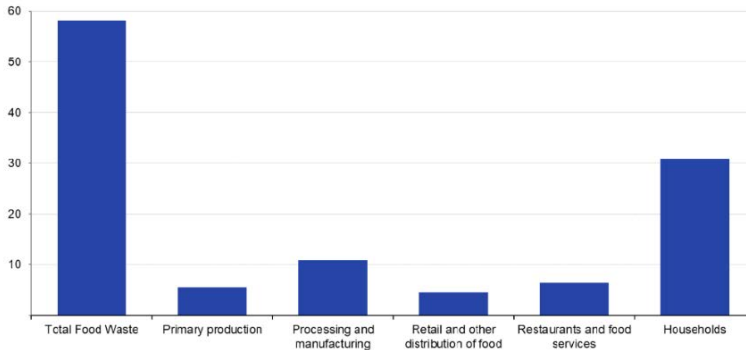


Рис. 2. Оцінка харчових відходів у ЄС, 2023 р.

Джерело: [14].

На рис. 2 узагальнено харчові відходи за агрегованими секторами в кілограмах на мешканця у порівнянні з рис. 1. На рис. 3 також представлені дані з секторів первинного виробництва, переробки та виробництва, агреговані в одному класі; дані з секторів роздрібної торгівлі та іншого розподілу харчів, а також ресторанів та послуг громадського харчування також агреговані в одному класі. Таким чином, на рисунку 2 для кожної країни 5 секторів об'єднані в 3 сектори, представлені поруч із загальною кількістю харчових відходів, усі в кілограмах на мешканця.

**Food waste by sector of activities, EU, 2023**  
(kg per inhabitant)

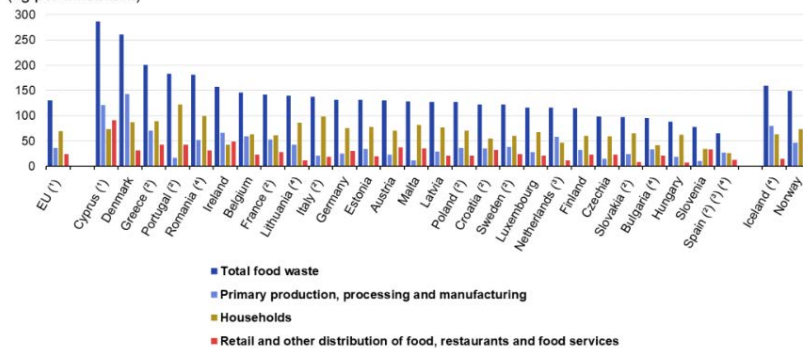


Рис. 3. Харчові відходи за секторами діяльності, ЄС, 2023 р.

Джерело: [14].

Держави-члени ЄС вимірюють обсяг харчових відходів на всіх етапах ланцюга постачання харчових продуктів, використовуючи методологію [15].

Zero-waste підходи передбачають максимальне використання всіх ресурсів виробництва та мінімізацію або повне усунення відходів на всіх стадіях технологічного циклу. У харчовій промисловості це означає не лише ефективне використання основної сировини, але й перетворення побічних продуктів на корисні ресурси, такі як корми для тварин, біоенергія, харчові добавки та косметичні інгредієнти [1, с. 199].

Зважаючи на важливість максимального використання ресурсів та зведення до мінімуму відходів у харчовій промисловості, ключовою складовою стає дослідження того, які саме субстанції та процеси утворюють побічні продукти. Особливу увагу приділяють сировині, від якої залежить обсяг і склад відходів. Саме рослинна та молочна сировина є основними джерелами побічних продуктів, і їхній хімічний та фізичний склад визначає можливості для ефективного застосування zero-waste технологій. Розглянемо детальніше роль цих видів сировини у формуванні побічних продуктів та потенціал їх подальшого використання [5].

Таким чином, і рослинна, і молочна сировина створюють значний потенціал для впровадження zero-waste технологій, оскільки побічні продукти містять цінні компоненти, які можуть бути використані у виробництві кормів, біоенергії, харчових добавок та косметичних інгредієнтів. Ефективне використання цих ресурсів дозволяє не лише зменшити екологічне навантаження, але й підвищити економічну ефективність підприємств харчової промисловості [17].

Zero-waste технології, або безвідходна технологія, – це підхід до виробництва та споживання, який передбачає найбільше використання ресурсів та цілковите або майже цілковите усунення сміття. У харчовій промисловості він спрямований на те, щоб побічні продукти переробки не викидалися, а перетворювалися на нові цінні надбання: корм для тварин, біоенергію, харчові та косметичні домішки. Основні принципи zero-waste включають [18]:

1. Запобігання утворення відходів шляхом оптимізації технологічних процесів.
2. Повторне використання ресурсів – застосування побічних продуктів як сировини для інших виробництв.
3. Переробка та відновлення – конверсія залишків у корисні матеріали або енергію.
4. Екологічна та економічна доцільність – мінімізація негативного впливу на довкілля та підвищення прибутковості виробництва.

Безвідходна переробка харчової сировини є складовою частиною принципів zero-waste і передбачає системне використання всіх побічних продуктів виробництва. Для ефективного впровадження таких технологій важливо не лише визначити їх види, але й класифікувати за різними критеріями, що дозволяє оцінити можливості повторного використання ресурсів, економічну доцільність та екологічну ефективність. Класифікація технологій безвідходної переробки допомагає структуровано розглянути способи перетворення побічних продуктів у корисні матеріали, визначити оптимальні методи для конкретних видів сировини та побудувати комплексну стратегію впровадження zero-waste підходів у харчовій промисловості [8].

Для систематизації сучасних підходів до безвідходної переробки харчової сировини доцільно розглядати технології за різними критеріями. Це дозволяє чітко визначити, які методи застосовуються для конкретних видів побічних продуктів, якими технологічними процесами вони реалізуються та на якому рівні інтегруються у виробничий цикл. У таблиці 1 наведена класифікація технологій zero-waste з поділом за характером використання побічних продуктів, технологічним процесом та рівнем інтеграції у виробництво.

Таблиця 1

**Класифікація технологій безвідходної переробки**

<b>Критерій класифікації</b>	<b>Тип технології</b>	<b>Приклад застосування</b>
За характером використання побічних продуктів	Біоенергетичні	Перетворення відходів у біогаз, біопаливо, компост
	Виробництво кормів та кормових добавок	Макуха, шрот, сироватка для тварин
	Виробництво харчових та косметичних добавок	Білки, пектин, антиоксиданти, вітаміни
За технологічним процесом	Фізико-хімічні методи	Сушіння, пресування, екстракція, концентрування
	Біотехнологічні методи	Ферментація, анаеробне та аеробне бродіння, мікробіологічна конверсія
	Механічні методи	Сортування, подрібнення, компостування
За рівнем інтеграції у виробничий процес	Локальні рішення	Переробка побічних продуктів безпосередньо на підприємстві
	Інтегровані системи	Передача побічних продуктів на інші підприємства для виробництва кормів, біоенергії, добавок

*Джерело: сформовано авторами на основі [19–21].*

Безвідходні технології є різноманітними та гнучкими, що дозволяє їх адаптувати до конкретних видів сировини та виробничих умов. Такий системний підхід допомагає підприємствам визначити оптимальні методи переробки побічних продуктів, підвищити економічну ефективність та зменшити негативний вплив на довкілля. Крім того, таблиця демонструє, що поєднання фізико-хімічних, біотехнологічних та механічних методів у рамках локальних або інтегрованих систем забезпечує максимальне використання ресурсів і відповідає принципам циркулярної економіки [20].

Впровадження zero-waste технологій у харчовій промисловості набуває глобального значення, оскільки економічна ефективність виробництва тісно пов'язана з екологічною безпекою. У різних країнах світу існують успішні практики застосування безвідходних підходів, які можна розділити за регіонами та типами підприємств (табл. 2).

Побічні продукти переробки рослинної сировини складають значну частину харчових відходів і містять цінні компоненти, такі як білки, жири, клітковина та біологічно активні речовини. Ефективне використання цих ресурсів є ключовим елементом zero-waste підходу та циркулярної економіки, оскільки дозволяє перетворювати відходи у корисні продукти, мінімізуючи негативний вплив на довкілля і підвищуючи економічну ефективність виробництва. У цьому розділі розглядаються основні методи та технології переробки побічних продуктів рослинної сировини з метою отримання кормів для тварин, біоенергії, харчових добавок та косметичних компонентів [27, с. 67].

Рослинна сировина є однією з основних складових харчової промисловості та характеризується значними обсягами переробки. До найпоширеніших видів рослинної сировини належать зернові культури, олійні культури, овочі та фрукти, які широко використовуються для виробництва харчів, кормів та промислових інгредієнтів. Разом із готовою продукцією в процесі їх переробки утворюється значна

кількість побічних продуктів і відходів, що потребує ефективних підходів до їх подальшого використання [12].

Один із найпоширеніших шляхів безвідходної переробки є компостування та виробництво біогазу, які дозволяють утилізувати органічні рештки та одночасно здобувати добрива або альтернативні джерела потужності. Такі технології є екологічно безпечними та сприяють зменшенню викидів парникових газів [11].

Ще одним ефективним напрямом є виробництво кормів для тварин, де макуха, шрот і лушпиння слугують джерелом поживних речовин. Таке використання побічних продуктів дозволяє зменшити витрати на корми та підвищити загальну економічну ефективність агропромислового виробництва [28].

Побічні продукти рослинної сировини містять значну кількість цінних компонентів, таких як білки, клітковина, жири та біологічно активні речовини, що робить їх потенційно корисними для переробки. Для ефективного впровадження zero-waste підходів важливо систематизувати методи їх перетворення у кінцеві продукти, які можуть використовуватися у харчовій, кормовій, біоенергетичній та косметичній промисловості [27, с. 67]. Таблиця 3 демонструє основні методи переробки побічних продуктів рослинної сировини та відповідні корисні продукти.

Розгляд наданої класифікації свідчить, що побічні матеріали рослинної сировини можна слушно перетворювати на різноманітні цінні продукти за допомогою фізико-хімічних, біотехнологічних та механічних способів. Таке усебічне використання запасів дозволяє зменшити утворення залишків, покращити економічну результативність установ і водночас гарантувати екологічну надійність виробництва. Табл. 3 ілюструє практичне впровадження концепцій zero-waste та наочно демонструє потенціал інтеграції цих технологій у нинішню харчову індустрію.

Окрему увагу заслуговують інноваційні zero-waste підходи, що передбачають створення харчових добавок, косметичних інгредієнтів та упаковки з біоматеріалів на основі рослинних залишків. Ці технології відповідають принципам циркулярної економіки та відкривають нові можливості для комплексного використання рослинної сировини без утворення відходів [2, с. 80].

Таблиця 2

### Світовий досвід у zero-waste технологіях харчової промисловості

Країна/Регіон	Сфера застосування	Приклади технологій та рішень
ЄС (Німеччина, Нідерланди)	Рослинна та молочна промисловість	Компостування та ферментація; використання сироватки для виробництва білкових концентратів та ферментованих напоїв
США	Агропромислові та молочні підприємства	Біоенергетичні технології (біогаз, електроенергія); виробництво високобілкових харчових добавок із сироватки
Японія	Рослинна та молочна промисловість	Інтегровані системи сортування, сушіння та екстракції; виробництво харчових, косметичних та фармацевтичних компонентів
Agri-food industries (загальносвітові приклади)	Загальні агропромислові процеси	Використання побічних продуктів у кормах для тварин; інтеграція zero-waste у виробничі процеси

*Джерело: сформовано авторами на основі [22–26].*

Молочний сектор є однією з ключових напрямів харчової промисловості. Водночас ця сфера відзначається високою ресурсомісткістю та формуванням значних обсягів побічних продуктів, що вимагає запровадження дієвих zero-waste методик. Особливістю молочної промисловості є складний біохімічний склад вихідної сировини та вагома частка рідких побічних потоків. У процесі обробки молока генеруються сироватка, вершки, залишки бродіння та виробничі осади, які містять білки, лактозу, мінеральні субстанції та біологічно активні елементи. За відсутності результативної утилізації такі продукти можуть спричиняти екологічне напруження через високу біохімічну потребу в кисні [32].

Одним із найбільш поширених напрямків zero-waste переробки є використання молочної сироватки. За допомогою анаеробного бродіння сироватку та інші органічні залишки переробляють на метан і біогаз, що може використовуватися для забезпечення енергетичних потреб підприємств. Крім того, побічні продукти молочної сировини застосовуються у виробництві кормів для тварин та косметичних компонентів. Білкові та жирові фракції використовують як кормові добавки, а молочні білки та ліпіди знаходять застосування у косметичній промисловості як зволожувальні та живильні інгредієнти [4, с. 82].

З огляду на високий рівень ресурсоемності молочної промисловості та значні обсяги побічних продуктів, актуальним є впровадження zero-waste технологій, спрямованих на комплексне використання молочної сировини. У табл. 4 представлено основні види побічних продуктів молочної промисловості, їх склад, сучасні технології безвідходної переробки та напрями отримання корисної продукції. Такий підхід дозволяє оцінити потенціал вторинних ресурсів і обґрунтувати доцільність їх залучення у повторні виробничі цикли.

Zero-waste технології у переробці рослинної та молочної сировини мають спільну мету – максимальне використання всіх компонентів сировини та мінімізацію відходів, однак відрізняються за технологічними підходами та характером побічних продуктів. Рослинна сировина формує переважно тверді побічні продукти (лушпиння, макуха, жом, очистки), які легко піддаються механічній, біохімічній та термічній обробці. Натомість молочна промисловість характеризується утворенням значних

Таблиця 3

### Методи переробки побічних продуктів рослинної сировини

Вид рослинної сировини	Тип побічних продуктів	Zero-waste технології переробки	Кінцевий продукт
Зернові культури	Лушпиння, висівки, солома	Компостування, анаеробне бродіння, подрібнення	Біогаз, органічні добрива, корм для тварин
Олійні культури	Макуха, шрот	Пресування, сушіння, екстракція	Кормові добавки, рослинні олії, біопаливо
Овочі	Очистки, стебла, листя	Компостування, екстракція, ферментація	Біодобрива, харчові добавки, біоенергія
Фрукти	Шкірка, насіння, м'якоть	Екстракція пектину та антиоксидантів, сушіння	Харчові добавки, косметичні інгредієнти
Узагальнені рослинні відходи	Органічні залишки	Виробництво біоматеріалів	Біорозкладна упаковка

*Джерело: сформовано авторами на основі [28–31].*

обсягів рідких побічних продуктів, зокрема сироватки, що потребує використання мембранних, ферментативних і біотехнологічних методів [33].

Економічна ефективність впровадження zero-waste технологій визначається рівнем капіталовкладень, операційними витратами та потенційними доходами від реалізації вторинної продукції. Для рослинної сировини характерні відносно низькі інвестиційні витрати, оскільки значна частина технологій (компостування, виробництво кормів, біогаз) є технічно простими та швидко окупними.

У молочній промисловості впровадження zero-waste технологій потребує більших інвестицій, зокрема у мембранні установки та біореактори. Проте висока ринкова вартість білкових концентратів, функціональних продуктів і біоенергії забезпечує середньо- та довгострокову економічну доцільність таких рішень. Додатковим економічним ефектом є зменшення витрат на утилізацію відходів та сплату екологічних зборів [19].

З екологічного погляду zero-waste технології сприяють істотному скороченню обсягів відходів та зменшенню викидів парникових газів. У рослинній переробці повторне використання побічних продуктів дозволяє зменшити навантаження на полігони та скоротити викиди CO<sub>2</sub>-еквіваленту шляхом заміщення викопних енергоресурсів біоенергією. У молочній промисловості переробка сироватки запобігає забрудненню водних ресурсів, оскільки цей побічний продукт має високу біохімічну потребу в кисні. У сукупності це підтверджує екологічну доцільність комплексної переробки як рослинної, так і молочної сировини [5].

Сучасні виклики у сфері сталого розвитку та зростаючі вимоги до екологічної відповідальності зумовлюють необхідність впровадження zero-waste підходів у діяльність підприємств харчової промисловості. Раціональне використання сировини, мінімізація відходів та повторне залучення побічних продуктів у виробничі

Таблиця 4

**Zero-waste технології переробки молочної сировини**

Вид молочної сировини	Основний склад	Zero-waste технології переробки	Кінцеві корисні продукти
Молочна сироватка	Білки, лактоза, мінеральні речовини	Мембранна фільтрація, ультрафільтрація, ферментація	Білкові концентрати та ізоляти, ферментовані напої
Сироватка (надлишки)	Органічні сполуки, цукри	Анаеробне зброджування	Біогаз, метан, тепла та електроенергія
Вершки та жирові фракції	Молочні жири, жиророзчинні вітаміни	Фракціонування, гідроліз	Косметичні компоненти, емульгатори
Відходи ферментування	Білки, мікроелементи, залишкова лактоза	Біотехнологічна обробка	Кормові добавки для тварин
Осади молочної промисловості	Органічні речовини	Компостування, біоконверсія	Органічні добрива
Побічні білкові фракції	Казеїн, сироваткові білки	Сушіння, модифікація білків	Харчові добавки, функціональні інгредієнти

*Джерело: сформовано авторами на основі [32–34].*

цикли є ключовими чинниками підвищення економічної ефективності та зниження негативного впливу на довкілля. У зв'язку з цим актуальним є формування оптимальних моделей впровадження zero-waste технологій, адаптованих до масштабів підприємств, специфіки сировини та рівня інвестиційних можливостей [17].

Ефективність впровадження zero-waste підходів на підприємствах харчової промисловості значною мірою залежить від правильно обраної моделі організації переробки побічних продуктів. З урахуванням масштабів виробництва, виду сировини та інвестиційних можливостей підприємств доцільним є застосування різних моделей впровадження безвідходних технологій. У таблиці 5 наведено основні моделі zero-waste, їх характеристики, сферу застосування, переваги та можливі обмеження, що дозволяє обґрунтувати вибір оптимального підходу для конкретного виробництва.

Необхідним є комплексне, комбіноване використання побічних продуктів, яке дозволяє одночасно отримувати кілька видів корисної продукції та інтегрувати ресурси у замкнені виробничі цикли. Крім того, впровадження таких практик має бути узгоджене з локальними та національними стратегіями сталого розвитку, що забезпечує відповідність підприємств сучасним екологічним і економічним вимогам та сприяє розвитку циркулярної економіки на регіональному і державному рівнях [20].

Таблиця 5

#### Оптимальні моделі впровадження zero-waste на підприємствах харчової промисловості

Модель впровадження	Характеристика моделі	Тип підприємств	Основні переваги
Інтегрована внутрішня модель	Переробка побічних продуктів безпосередньо на підприємстві з формуванням замкнених виробничих циклів	Великі агропромислові та молочні підприємства	Повний контроль процесів, зменшення витрат на утилізацію, висока екологічна ефективність
Кластерна модель	Кооперація кількох підприємств, де відходи одного виробництва є сировиною для іншого	Середні підприємства, регіональні агрокластери	Зниження інвестиційних витрат, ефективне використання ресурсів, розвиток регіональної економіки
Аутсорсингова модель	Передача побічних продуктів спеціалізованим компаніям для подальшої переробки	Малі та середні підприємства	Мінімальні інвестиції, швидке впровадження zero-waste принципів
Поетапна модель впровадження	Реалізація zero-waste рішень через аудит, пілотні проекти та масштабування	Підприємства будь-якого масштабу	Зменшення ризиків, гнучкість, адаптація до фінансових можливостей
Комбінована модель	Поєднання кількох моделей залежно від виду сировини та етапу виробництва	Великі та середні підприємства	Максимальна ефективність, адаптивність до змін

*Джерело: авторська розробка.*

Сучасна харчова промисловість виробляє значну кількість побічних продуктів рослинної та молочної сировини, які містять цінні компоненти та можуть бути повторно використані. Ефективне впровадження zero-waste технологій потребує системного та комбінованого підходу, що дозволяє одночасно отримувати різні види продукції та інтегрувати ресурси у замкнені виробничі цикли. Схема ілюструє логіку комплексного використання побічних продуктів, технологічні методи переробки, рівні інтеграції у локальні та національні стратегії сталого розвитку та очікуваний економічний і екологічний ефект (рис. 4).

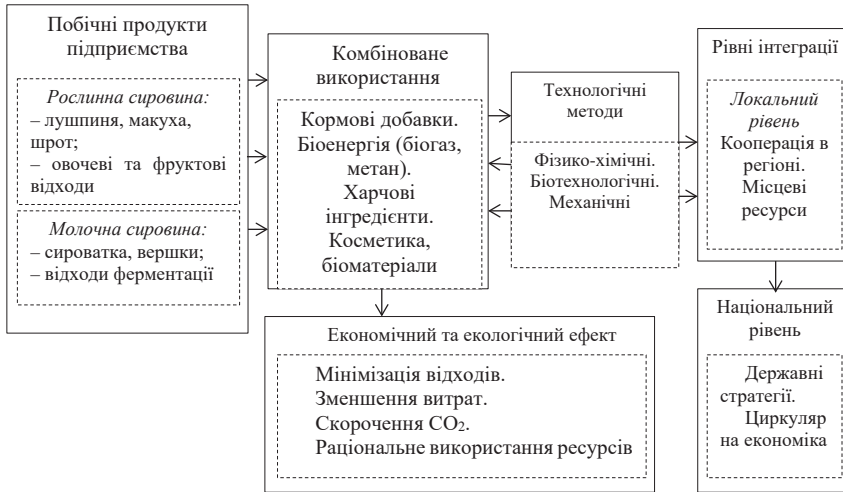


Рис. 4. Комбіноване використання побічних продуктів та інтеграція у стратегії сталого розвитку

Джерело: авторська розробка.

1. Комбіноване використання побічних продуктів використання побічних продуктів (рослинної та молочної сировини) включає:

– Перетворення побічних продуктів у різні види корисної продукції одночасно, наприклад, сироватку молочної промисловості використовують як для виготовлення білкових концентратів, так і для біоенергетичних цілей. Аналогічно рослинні відходи можна одночасно скеровувати на виробництво кормів, біогазу та харчових добавок.

– Інтеграцію фізико-хімічних, біотехнологічних та механічних методів, що дозволяє підвищити вихід цінних продуктів.

– Застосування багатофункціональних технологічних ліній на підприємствах, які здатні переробляти різні види сировини, створюючи замкнені цикли і скорочуючи операційні витрати.

Такий підхід забезпечує максимальне використання ресурсів, підвищує економічну ефективність підприємств і сприяє зменшенню обсягів відходів.

2. Інтеграція у місцеві та державні стратегії сталого розвитку. Запровадження технологій нульових відходів на підприємствах має відповідати регіональним та загальнодержавним стратегічним ініціативам, зокрема:

– Місцевий рівень – формування об'єднань підприємств, де побічні продукти одного виробництва задіюються іншим.

– Державний рівень: включення zero-waste технологій у державні проекти циркулярної економіки та плани сталого розвитку харчової галузі.

Комбіноване використання побічних продуктів у поєднанні з інтеграцією у стратегічні програми сталого розвитку створює умови для довгострокової екологічної та економічної стабільності підприємств харчової промисловості.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У межах дослідження доведено, що побічні продукти переробки рослинної та молочної сировини є джерелом значної кількості цінних речовин, зокрема білків, клітковини, жирів, мінералів і біоактивних сполук. Опрацьовано сучасні zero-waste практики роботи з такими залишками. Для рослинної сировини найбільш результативними є компостування, виробництво біоенергії, отримання харчових і косметичних інгредієнтів та виготовлення кормів. У молочному напрямі провідну роль відіграє використання сироватки для створення протеїнових концентратів і ферментованих продуктів, а також біотехнологічні рішення з одержання енергії й формування кормових та косметичних компонентів. Виконано порівняльний аналіз ефективності технологій, визначено оптимальні шляхи їх упровадження на підприємствах і підготовлено рекомендації щодо інтегрованого використання побічної сировини. Проведено зіставний аналіз дієвості технологій, окреслено найкращі моделі їх запровадження на виробництвах та сформовано рекомендації щодо спільного застосування побічних продуктів. Рослинні технології вирізняються гнучкістю та здатністю до багаторівневої переробки різноманітних побічних потоків, тоді як молочний сектор формує продукцію з високою доданою вартістю. Синергія різних типів вторинної сировини відкриває можливості для формування замкнених технологічних циклів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стеценко Н. О. Стеценко, Н. О. Розвиток концепції Zero-waste для харчової промисловості у контексті сталого розвитку. *Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід* : матеріали VII Міжнародної конференції, 23-25 грудня 2024 р. Дніпро : Журфонд, 2024. С. 199–200. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/46403>.
2. Яцков М., Корчик Н., Беседюк В. Проектування систем комплексної переробки молочної сировини в сирній промисловості. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2021. № 3 (11). С. 80–87. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234818>.
3. Хомич Г.П., Наконечна Ю.Г., Олійник Л.Б., Гайворонська З.М., Наконечний К.Р. Використання відходів сокового виробництва в харчових технологіях. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій*. Серія: Харчові технології. 2024. № 26 (101). С. 127-134. URL: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10119>.
4. Дейниченко Г., Гузенко В., Дмитревський Д., Золотухіна І., Перекрест В. Впровадження безвідходних технологій переробки вторинної молочної сировини. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2022. № 5(1). С. 82–96. URL: <https://doi.org/10.31866/2616-7468.5.1.2022.260878>.
5. Popovski Z. T., Svetozarevic – Arsovic M., Saiti – Musliji Z., Chadikovski A., Bajrami D. A., Tripunovski T., Nestorovski T. Few case studies as ideas for zero-waste from food production and processing. *Genetics & Applications*. 2023. Volume 7.No. 2. DOI: 10.31383/ga.vol7iss2ga08.
6. Akhundova N., Babashli A. Development of a production technology for functional beverages based on whey enriched with natural juices from plant-based raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Volume 5. No.11 (137). Pp. 86–93. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338568>.

7. Kumar R., Gupta G., Hussain A. et al. Pioneering zero-waste technologies utilization and its framework on sustainable management: international, national and state level. *Discov Appl.* 2025. Sci 7. 224. URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06693-z>.
8. Awogbemi O., Kallon D. V. V., Bello K. A. Resource Recycling with the Aim of Achieving Zero-Waste Manufacturing. *Sustainability.* 2022. Volume 14(8), 4503. URL: <https://doi.org/10.3390/su14084503>.
9. Szulc J., Błaszak B., Wenda-Piesik A., Gozdecka G., Żary-Sikorska E., Bąk M., Bauza-Kaszewska J. Zero Waste Technology of Soybeans Processing. *Sustainability.* 2023. Volume 15(20). 14873. URL: <https://doi.org/10.3390/su152014873>.
10. Nassani A. A., Isac N., Rosak-Szyrocka J., Yousaf Z., Haffar M. Institutional Pressures and Circular Economy Target Performance: Are Zero Waste Practices and Enviropreneurship Worth Pursuing? *Sustainability.* 2023. Volume 15(4), 2952. URL: <https://doi.org/10.3390/su15042952>.
11. Sarangi P. K., Srivastava R. K., Singh A. K., Sahoo U. K., Prus P., Dziekański P. The Utilization of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) Waste towards Sustainable Energy and Biochemicals: The Attainment of Zero-Waste Technologies. *Sustainability.* 2023. Volume 15(16). 12520. URL: <https://doi.org/10.3390/su151612520>.
12. Alcalde-Calonge A., Sáez-Martínez F.J., Ruiz-Palomino P. Evolution of research on circular economy and related trends and topics A thirteen-year review. *Ecological Informatics.* 2022. Volume 70, 101716. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101716>.
13. Food loss and waste. URL: <https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/food-systems/food-loss-and-waste.html>.
14. Food waste and food waste prevention – estimates. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food\\_waste\\_and\\_food\\_waste\\_prevention\\_-\\_estimates&stable=0&redirect=no](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food_waste_and_food_waste_prevention_-_estimates&stable=0&redirect=no).
15. Commission Delegated Decision (EU) 2019/1597 of 3 May 2019 supplementing Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council as regards a common methodology and minimum quality requirements for the uniform measurement of levels of food waste (Text with EEA relevance.). URL: [https://eur-lex.europa.eu/eli/dec\\_del/2019/1597/oj](https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_del/2019/1597/oj).
16. Стратегія «нуль відходів» задля збереження клімату: звіт глобального альянсу GAIA. URL: <https://zerowaste.org.ua/wp-content/uploads/2022/12/klimatychnyj-zvit-gaia-ua.pdf>.
17. Jiao Y., Chen H.-D., Han H., Chang Y. Development and Utilization of Corn Processing by-Products: A Review. *Foods.* 2022. Volume 11(22), 3709. URL: <https://doi.org/10.3390/foods11223709>.
18. Zero Waste. URL: <https://zerowaste.org.ua/pro-zero-waste/>.
19. Guide to European Union Practices on Waste Recycling Technologies. URL: [https://blacksea-cbc.net/wp-content/uploads/2020/09/BSB457\\_MWM-GMR\\_-\\_Guide-to-European-Union-Practices-on-Waste-Recycling-Technologies\\_EN.pdf](https://blacksea-cbc.net/wp-content/uploads/2020/09/BSB457_MWM-GMR_-_Guide-to-European-Union-Practices-on-Waste-Recycling-Technologies_EN.pdf).
20. Types of Waste: Recycling Methods and Innovations. URL: <https://patriot-nrg.com/en/content/types-waste-recycling-methods-and-innovations>.
21. Nahiduzzaman Md., Ahamed Md. F., Naznine M., Karim Md. Ja., Kibria H. B., Ayari M. A., Khandakar A., Ashraf A., Ahsan M., Haider Ju. An automated waste classification system using deep learning techniques: Toward efficient waste recycling and environmental sustainability. *Knowledge-Based Systems.* 2025. Volume 310. 113028, ISSN 0950-7051, URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.113028>.
22. EU Platform on Food Losses and Food Waste. URL: [https://food.ec.europa.eu/food-safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/eu-platform-food-losses-and-food-waste\\_en](https://food.ec.europa.eu/food-safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/eu-platform-food-losses-and-food-waste_en).
23. Okayama T., Watanabe K. Performance of the Food Waste Recycling Law in Japan with Reference to SDG 12.3. *Recycling.* 2024. 9(1):18. DOI:10.3390/recycling9010018.

24. Morais A. C., Ishida A. An overview of residential food waste recycling initiatives in Japan. *Cleaner Waste Systems*. 2025. 10(6):100232 .DOI:10.1016/j.clwas.2025.100232.
25. Closing the Loop: Evaluating Food Waste-to-Feed Pathways for a Circular Food System. 2025. URL: <https://refed.org/uploads/2025-food-waste-innovation-report-final.pdf>.
26. Sarangi P. K., Pal P., Singh A. K., Sahoo U. K., Prus P. Food Waste to Food Security: Transition from Bioresources to Sustainability. *Resources*. 2024. Volume 13(12), 164. URL: <https://doi.org/10.3390/resources13120164>.
27. Kaur S., Panesar P. S., Chopra H. K. Citrus processing by-products: an overlooked repository of bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Volume 63(1). Pp. 67–86. URL: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1943647>.
28. Shah M.A., Sunooj K.V., Mir S.A. Cereal-based food products. Springer. 2023. Nov 6. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-40308-8>.
29. Raj R., Shams R., Pandey V. K., Dash K. K., Singh P., Bashir O. Barley phytochemicals and health promoting benefits: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. Volume 14, 100677, ISSN 2666-1543. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100677>.
30. Singh M., Singh M., Singh S. K. Tackling municipal solid waste crisis in India: Insights into cutting-edge technologies and risk assessment. *Science of The Total Environment*. 2024. Volume 917. 170453, ISSN 0048-9697. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170453>.
31. Chavan S., Yadav B., Atmakuri A., Tyagi R.D., Jonathan W., Wong C., Drogui P. Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review, *Bioresource Technology*. 2022. Volume 344, Part B, 126398, ISSN 0960-8524. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126398>.
32. Pantoja L. S. G., Amante E. R., Cruz Rodrigues da A. M., Silva da L. H. M. World scenario for the valorization of byproducts of buffalo milk production chain, *Journal of Cleaner Production*. 2022. Volume 364. 132605, ISSN 0959-6526, URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132605>.
33. Singh T. A., Sharma M., Sharma M., Sharma G. D., Passari A. K., Bhasin S. Valorization of agro-industrial residues for production of commercial biorefinery products. *Fuel*. 2022. Volume 322, 124284, ISSN 0016-2361, URL: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124284>.
34. Liu Z., de Souza T. S. P., Holland B., Dunshea F., Barrow C., Suleria H. A. R. Valorization of Food Waste to Produce Value-Added Products Based on Its Bioactive Compounds. *Processes*. 2023. Volume 11(3), 840. URL: <https://doi.org/10.3390/pr11030840>.

#### REFERENCES:

1. Stetsenko, N. O., & Stetsenko, N. O. (2024). Rozvytok kontseptsii Zero-waste dlia kharchovoi promyslovosti u konteksti staloho rozvytku [Development of the Zero-waste concept for the food industry in the context of sustainable development]. *Innovatsiini tekhnologii v nauksi ta osviti. Yevropeyskyi dosvid – Innovative technologies in science and education. European experience: materialy VII Mizhnarodnoi konferentsii, 23-25 hrudnia 2024 r. Dnipro : Zhurfond, 199–200*. Retrieved from <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/46403> [in Ukrainian].
2. Yatskov, M., Korchyk, N., & Besediuk, V. (2021). Proektuvannia system kompleksnoi pererobky molochnoi syrovyny v syrni promyslovosti [Design of systems for complex processing of dairy raw materials in the cheese industry]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 3 (11), 80–87. Retrieved from <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234818> [in Ukrainian].

3. Khomych, H.P., Nakonechna, Yu.H., Oliinyk, L.B., Haivoronska, Z.M., & Nakonechnyi, K.R. (2024). Vykorystannia vidkhodiv sokovoho vyrobnytstva v kharchovykh tekhnolohiiakh [Use of juice production waste in food technologies]. *Naukovyi visnyk LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii – Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology*. Serii: Kharchovi tekhnolohii, 26 (101), 127-134. Retrieved from <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10119> [in Ukrainian].
  4. Deinychenko, H., Huzenko, V., Dmytrevskiy, D., Zolotukhina, I., & Perekrest, V. (2022). Vprovadzhennia bezvidkhodnykh tekhnolohii pererobky vtorynnoi molochnoi syrovyny [Implementation of waste-free technologies for processing secondary dairy raw materials]. *Restoranni i hotelnyi konsaltnh. Innovatsii – Restaurant and hotel consulting. Innovations*, 5(1), 82–96. Retrieved from <https://doi.org/10.31866/2616-7468.5.1.2022.260878> [in Ukrainian].
  5. Popovski, Z. T., Svetozarevic – Arsovic, M., Saiti – Musliji, Z., Chadikovski, A., Bajrami, D. A., Tripunovski, T., & Nestorovski, T. (2023). Few case studies as ideas for zero-waste from food production and processing. *Genetics & Applications*, 7, 2. DOI: 10.31383/ga.vol7iss2ga08 [in English].
  6. Akhundova, N., & Babashli, A. (2025). Development of a production technology for functional beverages based on whey enriched with natural juices from plant-based raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 11 (137), 86–93. Retrieved from <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338568> [in English].
  7. Kumar, R., Gupta, G., Hussain, A. et al. (2025). Pioneering zero-waste technologies utilization and its framework on sustainable management: international, national and state level. *Discov Appl*, 7, 224. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06693-z> [in English].
  8. Awogbemi, O., Kallon, D. V. V., & Bello, K. A. (2022). Resource Recycling with the Aim of Achieving Zero-Waste Manufacturing. *Sustainability*, 14(8), 4503. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su14084503> [in English].
  9. Szulc, J., Błaszak, B., Wenda-Piesik, A., Gozdecka, G., Żary-Sikorska, E., Bąk, M., & Bauza-Kaszewska, J. (2023). Zero Waste Technology of Soybeans Processing. *Sustainability*, 15(20), 14873. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su152014873> [in English].
  10. Nassani, A. A., Isac, N., Rosak-Szyrocka, J., Yousaf, Z., & Haffar, M. (2023). Institutional Pressures and Circular Economy Target Performance: Are Zero Waste Practices and Enviropreneurship Worth Pursuing? *Sustainability*, 15(4), 2952. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su15042952> [in English].
  11. Sarangi, P. K., Srivastava, R. K., Singh, A. K., Sahoo, U. K., Prus, P., & Dziekański, P. (2023). The Utilization of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) Waste towards Sustainable Energy and Biochemicals: The Attainment of Zero-Waste Technologies. *Sustainability*, 15(16), 12520. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su151612520> [in English].
  12. Alcalde-Calonge, A., Sáez-Martínez, F.J., & Ruiz-Palomino, P. (2022). Evolution of research on circular economy and related trends and topics A thirteen-year review. *Ecological Informatics*, 70, 101716. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101716> [in English].
  13. Food loss and waste. Retrieved from <https://www.oecd.org/en/topics/policy-issues/food-systems/food-loss-and-waste.html> [in English].
  14. Food waste and food waste prevention – estimates. Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food\\_waste\\_and\\_food\\_waste\\_prevention\\_-\\_estimates&stable=0&redirect=no](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food_waste_and_food_waste_prevention_-_estimates&stable=0&redirect=no) [in English].
  15. Commission Delegated Decision (EU) 2019/1597 of 3 May 2019 supplementing Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council as regards a common methodology and minimum quality requirements for the uniform measurement of levels of food waste (Text with EEA relevance.). Retrieved from [https://eur-lex.europa.eu/eli/dec\\_del/2019/1597/oj](https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_del/2019/1597/oj) [in English].
-

16. Stratehiia «nul vidkhodiv» zadlia zberezhennia klimatu: zvit hlobalnoho aliansu GAIA. Retrieved from <https://zerowaste.org.ua/wp-content/uploads/2022/12/klimatychnyj-zvit-gaia-ua.pdf> [in Ukrainian].
  17. Jiao, Y., Chen, H.-D., Han, H., & Chang, Y. (2022). Development and Utilization of Corn Processing by-Products: A Review. *Foods*, 11(22), 3709. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/foods11223709> [in English].
  18. Zero Waste. Retrieved from <https://zerowaste.org.ua/pro-zero-waste/> [in English].
  19. Guide to European Union Practices on Waste Recycling Technologies. Retrieved from [https://blacksea-cbc.net/wp-content/uploads/2020/09/BSB457\\_MWM-GMR\\_-\\_Guide-to-European-Union-Practices-on-Waste-Recycling-Technologies\\_EN.pdf](https://blacksea-cbc.net/wp-content/uploads/2020/09/BSB457_MWM-GMR_-_Guide-to-European-Union-Practices-on-Waste-Recycling-Technologies_EN.pdf) [in English].
  20. Types of Waste: Recycling Methods and Innovations. Retrieved from <https://patriot-nrg.com/en/content/types-waste-recycling-methods-and-innovations> [in English].
  21. Nahiduzzaman, Md., Ahamed, Md. F., Naznine, M., Karim, Md. Ja., Kibria, H. B., Ayari, M. A., Khandakar, A., Ashraf, A., Ahsan, M., & Haider, Ju. (2025). An automated waste classification system using deep learning techniques: Toward efficient waste recycling and environmental sustainability. *Knowledge-Based Systems*, 310. 113028, ISSN 0950-7051, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.113028> [in English].
  22. EU Platform on Food Losses and Food Waste. Retrieved from [https://food.ec.europa.eu/food-safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/eu-platform-food-losses-and-food-waste\\_en](https://food.ec.europa.eu/food-safety/food-waste/eu-actions-against-food-waste/eu-platform-food-losses-and-food-waste_en) [in English].
  23. Okayama, T., & Watanabe, K. (2024). Performance of the Food Waste Recycling Law in Japan with Reference to SDG 12.3. *Recycling*, 9(1):18. DOI:10.3390/recycling9010018 [in English].
  24. Morais, A. C., & Ishida, A. (2025). An overview of residential food waste recycling initiatives in Japan. *Cleaner Waste Systems*, 10(6):100232 .DOI:10.1016/j.clwas.2025.100232 [in English].
  25. Closing the Loop: Evaluating Food Waste-to-Feed Pathways for a Circular Food System. 2025. Retrieved from <https://refed.org/uploads/2025-food-waste-innovation-report-final.pdf> [in English].
  26. Sarangi, P. K., Pal, P., Singh, A. K., Sahoo, U. K., & Prus, P. (2024). Food Waste to Food Security: Transition from Bioresources to Sustainability. *Resources*, 13(12), 164. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/resources13120164> [in English].
  27. Kaur, S., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2023). Citrus processing by-products: an overlooked repository of bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(1), 67–86. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1943647> [in English].
  28. Shah, M.A., Sunooj, K.V., Mir, S.A. (2023). Cereal-based food products. *Springer*, 6. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-40308-8> [in English].
  29. Raj, R., Shams, R., Pandey, V. K., Dash, K. K., Singh, P., & Bashir, O. (2023). Barley phytochemicals and health promoting benefits: A comprehensive review, *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100677, ISSN 2666-1543. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100677> [in English].
  30. Singh, M., Singh, M., & Singh, S. K. (2024). Tackling municipal solid waste crisis in India: Insights into cutting-edge technologies and risk assessment, *Science of The Total Environment*, 917. 170453, ISSN 0048-9697. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170453> [in English].
  31. Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R.D., Jonathan, W., Wong, C., & Drogui, P. (2022). Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review, *Bioresource Technology*, 344, B, 126398, ISSN 0960-8524. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126398> [in English].
-

32. Pantoja, L. S. G., Amante, E. R., Cruz Rodrigues, da A. M., & Silva, da L. H. M. (2022). World scenario for the valorization of byproducts of buffalo milk production chain, *Journal of Cleaner Production*, 364. 132605, ISSN 0959-6526. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132605> [in English].

33. Singh, T. A., Sharma, M., Sharma, M., Sharma, G. D., Passari, A. K., & Bhasin, S. (2022). Valorization of agro-industrial residues for production of commercial biorefinery products. *Fuel*, 322, 124284, ISSN 0016-2361. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124284> [in English].

34. Liu, Z., de Souza, T. S. P., Holland, B., Dunshea, F., Barrow, C., & Suleria, H. A. R. (2023). Valorization of Food Waste to Produce Value-Added Products Based on Its Bioactive Compounds. *Processes*, 11(3), 840. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/pr11030840> [in English].

*Дата першого надходження статті до видання: 21.12.2025*

*Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.01.2026*

*Дата публікації (оприлюднення) статті: 07.04.2026*