

УДК 664:620.91

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.21>

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

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

Логвиненко Д. – кандидат технічних наук, начальник лабораторії
Державного підприємства «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр
стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів»
(ДП «Укрметртестстандарт»)
ORCID ID: 0009-0008-9507-1739

Кривохижа Є. М. – доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри агробіотехнологій, старший науковий співробітник
Західноукраїнського національного університету
ORCID ID: 0000-0001-7270-6529

Стаття присвячена дослідженню енергоефективних технологій у харчовій промисловості як ключового інструменту зниження енергоспоживання та забезпечення сталого розвитку. Метою дослідження є аналіз сучасних та інноваційних технічних рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності виробничих процесів у харчовій галузі. Методологія дослідження включає систематичний аналіз наукової літератури з питань енергозбереження та оцінку потенціалу впровадження технологій рекуперації тепла, індукційного нагріву, систем управління енергоспоживанням та використання відновлюваних джерел енергії. Дослідження проводилося шляхом узагальнення даних щодо енергоефективних практик на підприємствах харчової промисловості. Отримані результати свідчать, що впровадження рекупераційних установок дозволяє знизити споживання первинних енергоносіїв на 15–30 %, а використання індукційного та мікрохвильового нагріву підвищує коефіцієнт корисної дії до 90 %, скорочуючи час технологічних циклів на 30–50 %. Застосування систем управління енергоспоживанням забезпечує зниження витрат енергії на 10–20 % у перший рік експлуатації, тоді як теплові насоси та енергетичне акумулювання холоду оптимізують теплові та холодильні процеси, зменшуючи витрати на 15–25 %. Практична цінність дослідження полягає в наданні рекомендацій щодо впровадження енергоефективних технологій, що сприяють зниженню операційних витрат та підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Крім того, ці рішення забезпечують відповідність екологічним стандартам, що є важливим для інтеграції у міжнародні ринки. Наукова новизна дослідження полягає у комплексному аналізі сучасних енергоефективних технологій, адаптованих до специфіки харчової промисловості, зокрема шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як біогазові установки та сонячні панелі. Вперше запропоновано системний підхід до поєднання рекуперації тепла, інтелектуальних систем управління та енергетичного акумулювання для створення замкнених циклів ресурсокористування. Дослідження підкреслює потенціал гібридних енергетичних систем для забезпечення часткової енергетичної автономності.

Ключові слова: енергоефективність, харчова промисловість, теплові насоси, холодильні системи, відновлювана енергія, модернізація обладнання.

Taraimovych I. V., Logvynenko D., Kryvokhyzha Ye. M. Energy-efficient technologies in the food industry

The article is dedicated to the study of energy-efficient technologies in the food industry as a key tool for reducing energy consumption and ensuring sustainable development. The aim of the research is to analyze current and innovative technical solutions aimed at improving the energy efficiency of production processes in the food sector. The research methodology includes a systematic analysis of scientific literature on energy saving and an assessment of the potential for implementing heat recovery technologies, induction heating, energy management systems, and the use of renewable energy sources. The study was conducted by summarizing data on energy-efficient practices in food industry enterprises. The results obtained indicate that the implementation of recovery systems can reduce primary energy consumption by 15–30 %, while the use of induction and microwave heating increases the efficiency by up to 90 %, reducing technological cycle times by 30–50 %. The application of energy management systems provides a reduction in energy costs by 10–20 % in the first year of operation, while heat pumps and cold energy storage optimize thermal and refrigeration processes, reducing costs by 15–25 %. The practical value of the study lies in providing recommendations for the implementation of energy-efficient technologies that contribute to reducing operating costs and increasing the competitiveness of enterprises. Additionally, these solutions ensure compliance with environmental standards, which is important for integration into international markets. The scientific novelty of the research lies in the comprehensive analysis of modern energy-efficient technologies adapted to the specifics of the food industry, particularly through the integration of renewable energy sources such as biogas plants and solar panels. A systematic approach to combining heat recovery, intelligent management systems, and energy storage for creating closed-loop resource use cycles is proposed for the first time. The research emphasizes the potential of hybrid energy systems for providing partial energy autonomy.

Key words: energy efficiency, food industry, heat pumps, refrigeration systems, renewable energy, equipment modernization.

Постановка проблеми. Поточні проблеми, пов'язані із зростанням цін на енергоносії та необхідністю досягнення цілей сталого розвитку, формують тезу, що енергоефективність це ключовий чинник конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості. Цей сектор традиційно характеризується значним споживанням енергії через складність технологічних процесів, потребу в постійному тепловому та холодильному забезпеченні, а також в енергомісткому обладнанні. Саме тому впровадження енергоефективних технологій у харчовій промисловості набуває виняткової важливості як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними досліджень, зокрема Слободян Н., Левченко Ю., Іванюта Т. [5], Джайн В., Мітра А. [12], вказують, що харчова промисловість є однією з найбільш енергомістких галузей, а її модернізація має вирішальне значення для досягнення цілей сталого розвитку. У працях дослідників Андрющенко К. та ін. [7], Сенгар Г., Саксена Д. [15] наголошується на ефективності впровадження теплових насосів, систем рекуперації енергії, зберігання енергії для промислових виробництв.

Інтелектуальні системи управління холодильними установками в роботі Ван Л. [17] вивчаються у контексті їх здатності зменшувати навантаження на компресори та знижувати енерговитрати без порушення режимів зберігання продукції. Також Фаральдо Ф., Бірн П. [9] активно розглядають можливості інтеграції відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей та біогазових установок, як елементів енергонезалежності підприємств. Узагальнення цих підходів засвідчує наукову та практичну обґрунтованість комплексної модернізації енергетичних систем харчових виробництв.

Постановка завдання. Мета статті – дослідити сучасні і інноваційні технічні рішення щодо впровадження енергоефективних технологій у харчовій промисловості як інструментів зниження енергоспоживання.

Виклад основного матеріалу. З огляду на високу енергоємність харчової промисловості, яка охоплює різноманітні процеси – від попередньої обробки сировини до тривалого зберігання готової продукції в контрольованих умовах, – особливе значення набуває застосування технологій, що дозволяють зменшити споживання первинної енергії та одночасно забезпечити стабільність виробничих показників, безпеку продуктів та відповідність сучасним стандартам сталого розвитку. Енергоспоживання на підприємствах харчової промисловості охоплює як основні технологічні процеси (нагрівання, охолодження, пастеризація, сушіння, випарювання тощо), так і допоміжні функції (вентиляція, освітлення, транспортування сировини), і тому впровадження технологій, що дозволяють скоротити енергозатрати без втрати якості продукції, є не просто бажаним напрямом розвитку, а й критично важливою умовою для забезпечення конкурентоспроможності на внутрішньому й міжнародному ринках [6, с. 10].

1. Одним із найбільш перспективних рішень у сфері енергозбереження в харчовій промисловості є технологія рекуперації тепла, яка передбачає повторне використання теплової енергії, що утворюється під час функціонування різних агрегатів та установок, зокрема бойлерів, сушарок, печей, пастеризаторів тощо, для підігріву сировини, води, повітря або інших компонентів, необхідних у подальших фазах виробничого циклу. В умовах підприємств, що спеціалізуються на випуску молочної, кондитерської, м'ясної чи хлібобулочної продукції, використання рекупераційних установок дозволяє знизити споживання первинних енергоносіїв (газу, електроенергії, пари) щонайменше на 15–30 %, що забезпечує не лише зменшення витрат, а й відповідність екологічним стандартам, передбаченим європейським законодавством (рис. 1).

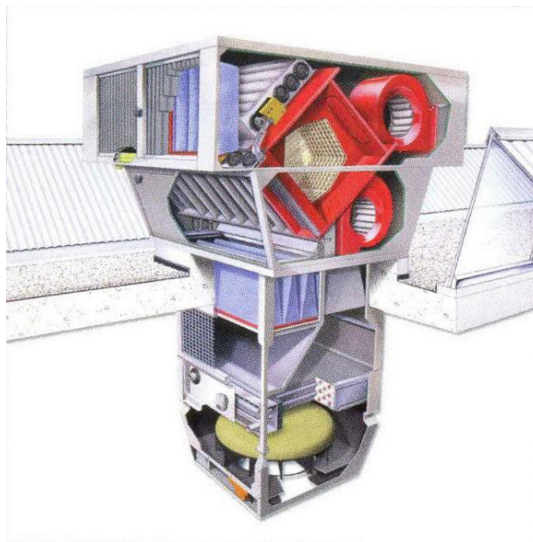


Рис. 1. Промислова рекупераційна установка інтегрована в дах виробничого приміщення [10]

Типовим прикладом реалізації даної технології може слугувати встановлення пластинчастого теплообмінника, у якому гарячі потоки відпрацьованого повітря або пари передають свою теплову енергію холодним потужностям, які входять

у процес, наприклад, воді для миття тари або для підігріву молока перед пастеризацією. Досить ефективною рекуперация виявляється у процесах, що мають циклічний характер з високими температурними перепадами, таких як смаження, випікання чи випарювання, де втрата тепла без технології повторного використання може становити понад половину загального обсягу енергії, що подається у систему [1].

2. У контексті модернізації виробничих систем харчових підприємств виділяємо впровадження індукційного та мікрохвильового нагріву, які розглядаються як альтернативні, значно ефективніші способи нагрівання порівняно з традиційними електричними або газовими джерелами тепла. У харчовій промисловості індукційний нагрів застосовується, зокрема, у варильних котлах, стерилізаторах, мішалках, а також при фасуванні гарячих продуктів у тару, що потребує миттєвого підігріву до заданої температури без перегріву або термічної деструкції компонентів. На відміну від традиційного нагріву, де втрачається значна частина енергії через теплопередачу та інерційність нагрівального елемента, індукція дозволяє досягти коефіцієнта корисної дії понад 90 %, що робить її надзвичайно привабливою з точки зору енергозбереження (рис. 2) [13, с. 52].

Такий тип нагрівання виявляється особливо корисним у таких технологічних операціях, як сушіння, пастеризація, розморожування, стерилізація та термообробка харчової сировини, де надзвичайно важливо забезпечити рівномірний

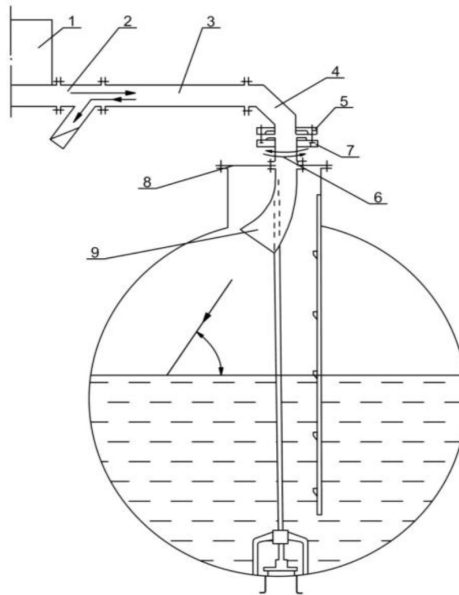


Рис. 2. Схема розміщення мікрохвильового нагрівального пристрою в резервуарі для харчової продукції [16]*

*1 – мікрохвильовий модуль, 2 – циркулятор, 3 – прямий хвилевід, 4 – магістральний злам, 5 – фланець, 6 – додатковий прямий хвилевід, 7 – фланець, 8 – кришка-екран, 9 – мікрохвильовий випромінювач.

Примітка: схема адаптована для використання в умовах харчової промисловості, наприклад, для нагрівання рідких продуктів у резервуарах (молоко, рідкі напівфабрикати, сиропи тощо).

температурний вплив і не створювати зони перегріву. Мікрохвильові установки можуть бути інтегровані як у безперервні лінії виробництва, так і у лабораторні ділянки, зберігаючи якість продукту, знижуючи його усушку та забезпечуючи скорочення технологічного циклу на 30–50 %, що особливо важливо для підприємств із високим обігом та обмеженим виробничим простором.

3. Третім технічним рішенням підвищення енергоефективності в харчовій промисловості є впровадження систем управління енергоспоживанням (EMS – Energy Management Systems), які функціонують на основі комплексного моніторингу, аналізу та оптимізації енергетичних потоків на всіх рівнях виробничого середовища. У разі впровадження таких систем на підприємстві забезпечується не лише постійне відстеження обсягів споживання електроенергії, пари, гарячої води, холоду, а й фіксація аномалій, виявлення надмірного енергоспоживання окремими технологічними вузлами та прогнозування пікових навантажень, що дозволяє уникати штрафів за перевищення встановлених лімітів (рис. 3). Практика передових підприємств засвідчує, що завдяки впровадженню EMS можна зменшити загальне енергоспоживання на 10–20 % у перший рік експлуатації, а також сформувати культуру енергоменеджменту серед персоналу, що включає дотримання регламентів, уникнення нераціонального використання обладнання, регулярну діагностику втрат енергії та участь у програмах внутрішньої мотивації на основі показників енергоощадності [14, с. 172].



Рис. 3. Спеціалізований програмний комплекс управління енергоспоживанням на підприємстві харчової галузі [11]

4. Одним із інноваційних технологічних рішень, що має високий рівень ефективності для повторного використання енергії, є впровадження теплових насосів, які дозволяють перетворювати низькопотенціальну теплову енергію з навколишнього середовища або з відпрацьованих потоків виробництва на корисне тепло для обігріву приміщень, підігріву води або підтримання стабільного температурного режиму у технологічних установках (рис. 4).

Теплові насоси, завдяки здатності перекачувати тепло з одного середовища в інше з мінімальними енергетичними витратами, забезпечують коефіцієнт перетворення COP (Coefficient of Performance), що в разі перевищує ефективність традиційних систем електро- або газового опалення [8]. На підприємствах харчової промисловості такі установки можуть бути інтегровані в системи рекуперації тепла від охолоджувальних установок, випарників, пастеризаторів або конденсаторів, що працюють з високими тепловими навантаженнями. Наприклад, теплова енергія, яку виводить система кондиціонування від холодильних камер, може



Рис. 4. Система роботи теплових насосів для опалення, охолодження в цеху харчової промисловості [8]

бути використана для підігріву води в системі очищення тари або в процесі мийки виробничих ліній, що значно знижує потребу в додаткових енерговитратах. Крім того, впровадження теплових насосів типу «повітря-вода» або «вода-вода» особливо ефективно на підприємствах із великим об'ємом споживання гарячої води, таких як м'ясопереробні комбінати, молокозаводи або пивоварні, де теплові навантаження можуть коливатися в широких межах залежно від виробничих циклів.

5. Впровадження систем енергетичного акумулювання холоду, коли надлишкове охолодження в нічний час або в періоди низького енергоспоживання використовується для підтримання температури у денний період (рис. 5).



Рис. 5. Установка енергетичного акумулювання холоду для забезпечення технологічних операцій підприємства харчової галузі [11]

Технічне рішення не тільки оптимізує графік навантажень на холодильне обладнання, а й забезпечує уникнення пікових витрат електроенергії у часи максимального тарифу. На практиці застосування подібних рішень дає змогу зменшити споживання енергії на охолодження на 15–25 %, що особливо важливо для логістичних складів, заморожувальних комбінатів і центрів дистрибуції, які працюють у цілодобовому режимі. Додаткові переваги забезпечуються через інтеграцію таких систем із модулями прогнозування попиту на холод, які базуються на аналізі температурних трендів, виробничих планів та історичних даних, дозволяючи формувати енергетичну стратегію підприємства з випередженням кілька днів наперед.

6. У контексті переходу харчової промисловості до моделі сталого розвитку сталим вектором трансформації виробничої енергосистеми є використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема шляхом інтеграції сонячних панелей, біогазових установок або вітрових електростанцій безпосередньо в інфраструктуру підприємства (рис. 6).



Рис. 6. Біогазова установка яка працює на відходах харчової промисловості [4]

Цей вид технічних рішень не лише скорочує споживання енергії з неекологічних джерел, а й забезпечують часткову або повну енергетичну автономність у певні періоди часу, що особливо актуально в умовах нестабільного енергозабезпечення або високих тарифів на електричну енергію для промислових підприємств. Наприклад, на підприємствах із великою площею дахів виробничих та складських приміщень можлива установка сонячних фотоелектричних модулів, які в літній період здатні покривати до 40 % загальних потреб у електроенергії, що суттєво знижує експлуатаційні витрати (рис. 7) [4].

Біогазові установки, у свою чергу, дозволяють ефективно використовувати залишки органічної сировини – шкіру, кістки, кров, осад після сепарації, відходи ферментації та інші компоненти, які раніше підлягали утилізації. За умов анаеробного зброджування ці залишки перетворюються на біогаз, який може бути використаний для вироблення теплової або електричної енергії, а також як заміник природного газу у котельнях. Додатковою перевагою біогазових систем є утворення дигестату – продукту ферментації, який може бути застосований як органічне добриво у сільському господарстві, що формує замкнений цикл



Рис. 7. Фотоелектричні модулі (сонячні панелі) на даху цеху підприємства [2]

ресурсокористування. Успішні приклади впровадження подібних технологій можна спостерігати на молокозаводах та спиртних заводах, де відходи сировини дозволяють отримувати до 50 % енергетичних потреб підприємства, значно знижуючи залежність від викопного палива [3, с. 22].

Вітрові електростанції, хоча й менш поширені у харчовому секторі через просторові обмеження, мають потенціал для використання на підприємствах, розташованих у вітряних регіонах із низькою щільністю забудови. Особливо ефективними є гібридні системи, які поєднують сонячну та вітрову генерацію, дозволяючи компенсувати нестабільність окремих джерел шляхом взаємодоповнення. Такі енергетичні комплекси можуть бути підключені до систем накопичення енергії (акумуляторів), що забезпечує безперервність постачання електроенергії навіть у випадку нестабільних метеоумов.

7. Усі описані рішення отримують ще більшу ефективність, коли впроваджуються в межах комплексної модернізації технологічного обладнання, що передбачає заміну застарілих агрегатів на нові, більш енергоощадні аналоги з високим коефіцієнтом корисної дії, меншим тепловим навантаженням і підвищеною автоматизацією. Наприклад, заміна парових котлів старого зразка на конденсаційні котли з регульованою потужністю дозволяє знизити витрати палива до 30 %, а застосування сучасних систем випарювання з багатоступеневим теплообміном забезпечує істотне зниження енерговитрат. У виробництві хлібобулочних виробів усе ширше використовуються пічні комплекси з рекуперацією тепла і конвекційною системою циркуляції повітря, які забезпечують рівномірне пропікання продукції при меншій витраті енергії.

Окремо виділяємо модернізацію насосних і компресорних станцій, які часто є «прихованими» споживачами енергії в харчовому виробництві. Заміна стандартних електродвигунів на енергоефективні моделі з частотними перетворювачами дає змогу не лише регулювати продуктивність залежно від потреб, а й уникати перевантажень і простоїв, які в умовах безперервного виробництва призводять до невідправданих енергетичних втрат [2]. У м'ясопереробній та молочній галузях поширення набувають вакуумні установки нового покоління, які мають знижений рівень шуму, менше споживання електроенергії і можливість адаптивного управління залежно від характеристик продукту. Встановлення систем автоматичного запуску

та відключення машинного парку відповідно до заданих технологічних параметрів дозволяє уникати роботи обладнання в режимі холостого ходу, що додатково сприяє підвищенню загального рівня енергоефективності підприємства харчової галузі.

Висновки і пропозиції. Досліджено можливості використання теплових насосів у технологічних процесах харчових підприємств, зокрема їхню здатність ефективно утилізувати низькопотенційне тепло, що виникає під час охолодження, випарювання або термічної обробки продуктів. Показано, що такі системи можуть бути успішно інтегровані в процеси миття, опалення та підготовки сировини, забезпечуючи додаткове енергозбереження. Досліджено сучасні методи оптимізації холодильного зберігання. Встановлено, що впровадження інтелектуальних систем керування дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії за рахунок точного регулювання роботи компресорів, прогнозування теплових навантажень та використання режимів накопичення енергії. Оцінено потенціал відновлюваних джерел енергії в харчовій промисловості. Виявлено, що встановлення сонячних фотоелектричних систем, біогазових установок та гібридних енергетичних рішень дозволяє покривати значну частину енергетичних потреб підприємств, зменшуючи залежність від централізованих мереж і сприяючи досягненню енергетичної самостійності. Обґрунтовано комплексну модель впровадження енергоефективних технологій у харчову промисловість, яка передбачає поступову інтеграцію теплових насосів, розумних систем охолодження, відновлюваних джерел енергії та сучасного обладнання в єдину систему енергоменеджменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бліщ Р. О., Петришин Н. З. Енергозберігаючі технології приготування пивного сусла. *Вісник Львівського торговельноекономічного університету. Технічні науки*. 2021. № 28. С. 1317. DOI: 10.36477/2522122120212802
2. Кондрашова М. В., Кондрашов О. М., Мех Л. М. Інвестиції в енергоефективність : шлях до сталого розвитку. *Економічний простір*. 2024. № 196. С. 2934. DOI: 10.30838/EP.196.2934
3. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16–26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
4. Селіхов Ю. А., Горбунов К. О., Стасов В. А. Інтеграція роботи гібридної енергетичної установки. *Енергетика теплотехнології та енергозбереження. Інтегровані технології та енергозбереження*. 2024. № 1. С. 3–15. DOI: 10.20998/20785364.2024.1.01
5. Слободян Н. Я., Левченко Ю. Г., Іванюта Т. М. Вплив інноваційних бізнесрішень на формування стратегічного потенціалу підприємств харчової промисловості. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Том 9, № 1. С. 122–130. DOI: 10.36887/241584532024120
6. Стадник І., Балабан С., Каспрук В., Деркач А. Оцінювання економічної доцільності використання технології утилізації тепла на підприємствах харчової промисловості. *Галицький економічний вісник*. 2022. Том 77. № 4. С. 7–12. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2022.04.007
7. Andriushchenko K., Liezina A., Slavkova A., Logvinov P., Lavruk V., Petrukha S., Storozhenko A. The Impact of EnergyEfficient Technologies on the Development of the Agricultural Industry. *Journal of Environmental & Earth Sciences*. 2025. vol 7. no 1. p. 423–437. DOI: 10.30564/jees.v7i1.7635
8. Clairand J. M., BriceñoLeón M., EscriváEscrivá G., Marco Pantaleo A. Review of Energy Efficiency Technologies in the Food Industry: Trends, Barriers, and Opportunities. *IEEE Access*. 2020. no 8. p. 48015–48029. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2979077

9. Faraldo F., Byrne P. A Review of Energy Efficient Technologies and Decarbonating Solutions for Process Heat in the Food Industry. *Energies*. 2024. vol 17. no 12. Article 3051. DOI: 10.3390/en17123051
10. Gupta S. P., Bhatt A. The Role of Technology and Energy Management System in Sustainable Food Industry Practices. *In Energy Efficient Technologies for Food Safety, Quality, and Security*. 2025. DOI: 10.4018/9798369383421.ch003
11. Jagtap S., Rahimifard S., Duong L. N. K. Realtime data collection to improve energy efficiency: A case study of food manufacturer. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022. vol 46. no 8. p. e14338. DOI: 10.1111/jfpp.14338
12. Jain V., Mitra A. Energy Efficient Technologies for Enhancing Food Safety, Quality, and Security: Innovations and Impacts. *In Energy Efficient Technologies for Food Safety, Quality, and Security*. February 2025. pp. 227-246. DOI: 10.4018/979-8-3693-8342-1.ch011
13. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). p. 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
14. Makedon V., Myachin V., Aloshyna T., Cherniavska I., Karavan N. Improving the Readiness of Enterprises to Develop Sustainable Innovation Strategies through Fuzzy Logic Models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*. 2025. no 5. p. 165–179. URL: https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf
15. Sengar G., Saxena D. Introduction to Energy Efficiency in the Food Industry. *In Energy Efficient Technologies for Food Safety, Quality, and Security*. February 2025. pp. 1–16. DOI: 10.4018/9798369383421.ch001
16. Thanasoulas S., Molinari M. Advancing energy efficiency and sustainability in supermarkets: A comprehensive analysis of integrated technologies and their impact on energy consumption. *Energy Reports*. 2025. vol. 13. p. 2855–2875. DOI: 10.1016/j.egyr.2025.02.021
17. Wang L. Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy Efficiency*. 2014. Vol. 7, no 5. p. 791–810. DOI: 10.1007/s1205301492568

REFERENCES:

1. Blishch, R. O., Petryshyn, N. Z. (2021). Enerhozberihaiuchi tekhnolohii pryhotovannia pynoho susla [Energy-saving technologies for brewing wort]. *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Bulletin of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 28, 13–17. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-28-02> [in Ukrainian].
2. Kondrashova, M. V., Kondrashov, O. M., Mekh, L. M. (2024). Investytsii v enerhoefektyvnist': shliakh do staloho rozvytku [Investments in energy efficiency: the path to sustainable development]. *Ekonomichnyi prostir – Economic Space*, 196, 29–34. <https://doi.org/10.30838/EP.196.29-34> [in Ukrainian].
3. Makedon, V. V., Bailova, O. O. (2023). Planuvannia i orhanizatsiia vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii v dial'nist' promyslovykh pidpriemstv [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky" – Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, 47, 16–26. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3> [in Ukrainian].
4. Selikhov, Yu. A., Horbunov, K. O., Stasov, V. A. (2024). Intehratsiia roboty hibridnoi enerhetychnoi ustanovky [Integration of the hybrid power plant operation]. *Enerhetyka teplotekhnolohii ta enerhozberezhennia. Integrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia – Energy Engineering, Thermal Technology and Energy Saving. Integrated Technologies and Energy Saving*, 1, 3–15. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2024.1.01> [in Ukrainian].

5. Slobodian, N. Ya., Levchenko, Yu. H., Ivaniuta, T. M. (2024). Vplyv innovatsiinykh biznes-rishen' na formuvannya stratehichnoho potentsialu pidpriemstv kharchovoi promyslovosti [Influence of innovative business solutions on the formation of strategic potential of food industry enterprises]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky – Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 9(1), 122–130. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-20> [in Ukrainian].
6. Stadnyk, I., Balaban, S., Kaspruk, V., Derkach, A. (2022). Otsiniuvannya ekonomichnoi dotsilnosti vykorystannia tekhnolohii utylizatsii tepla na pidpriemstvakh kharchovoi promyslovosti [Assessment of the economic feasibility of heat recovery technologies at food industry enterprises]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk – Galician Economic Bulletin*, 77(4), 7–12. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2022.04.007 [in Ukrainian].
7. Andriushchenko, K., Liezina, A., Slavkova, A., Logvinov, P., Lavruk, V., Petrukha, S., Storozhenko, A. (2025). The impact of energy efficient technologies on the development of the agricultural industry. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 7(1), 423–437. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i1.7635>
8. Clairand, J. M., Briceño-León, M., Escrivá-Escrivá, G., Marco Pantaleo, A. (2020). Review of energy efficiency technologies in the food industry: Trends, barriers, and opportunities. *IEEE Access*, 8, 48015–48029. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979077>
9. Faraldo, F., Byrne, P. (2024). A review of energy efficient technologies and decarbonating solutions for process heat in the food industry. *Energies*, 17(12), Article 3051. <https://doi.org/10.3390/en17123051>
10. Gupta, S. P., Bhatt, A. (2025). The role of technology and energy management system in sustainable food industry practices. In *Energy Efficient Technologies for Food Safety, Quality, and Security*. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8342-1.ch003>
11. Jagtap, S., Rahimifard, S., Duong, L. N. K. (2022). Real-time data collection to improve energy efficiency: A case study of food manufacturer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(8), e14338. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14338>
12. Jain, V., Mitra, A. (2025). Energy efficient technologies for enhancing food safety, quality, and security: Innovations and impacts. In *Energy Efficient Technologies for Food Safety, Quality, and Security*, 227-246. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8342-1.ch011>
13. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenko, N., Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(13(128)), 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
14. Makedon, V., Myachin, V., Alosyna, T., Cherniavska, I., Karavan, N. (2025). Improving the readiness of enterprises to develop sustainable innovation strategies through fuzzy logic models. *Economic Studies (Ikonomicheski Izsledvania)*, 5, 165–179. https://archive.econ-studies.iki.bas.bg/2025/2025_05/2025_05_09.pdf
15. Sengar, G., Saxena, D. (2025). Introduction to energy efficiency in the food industry. In *Energy Efficient Technologies for Food Safety, Quality, and Security*, 1–16. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8342-1.ch001>
16. Thanasoulas, S., Molinari, M. (2025). Advancing energy efficiency and sustainability in supermarkets: A comprehensive analysis of integrated technologies and their impact on energy consumption. *Energy Reports*, 13, 2855–2875. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.02.021>
17. Wang, L. (2014). Energy efficiency technologies for sustainable food processing. *Energy Efficiency*, 7(5), 791-810. <https://doi.org/10.1007/s12053-014-9256-8>

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.08.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 19.09.2025

Дата публікації: 30.10.2025