

Техніко-економічне обґрунтування модернізації виробничих ліній підприємств харчової промисловості через роботизацію пакувальних операцій

Нікулін Андрій Сергійович¹

| Опубліковано | Секція | УДК |
|--------------|-----------|-----------------|
| 29.12.2022 | Економіка | 658.5.012.2:664 |

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17800268>

Ліцензовано за умовами Creative Commons BY 4.0 International license

Анотація. У статті досліджено теоретичні, методичні та прикладні аспекти модернізації пакувальних ліній підприємств харчової промисловості шляхом упровадження роботизованих рішень. На основі аналізу сучасних технологічних тенденцій і вимог до ефективності виробництва обґрунтовано доцільність переходу до автоматизованих систем. Розроблено комплексну методичку техніко-економічного обґрунтування впровадження роботизації, яка охоплює оцінювання технічних параметрів, економічної ефективності та організаційних умов інтеграції. Запропоновані підходи можуть бути використані для проведення всебічного аналізу доцільності автоматизації виробничих процесів, що у перспективі здатне суттєво вплинути на підвищення продуктивності, оптимізацію ресурсних витрат і забезпечення стабільної якості продукції. Практичні рекомендації, сформовані за результатами дослідження, становлять основу для подальшого удосконалення виробничих систем та стратегічного планування модернізації підприємств з урахуванням сучасних інноваційних рішень.

Ключові слова: автоматизація виробництва, ефективність виробничих процесів, інноваційні технології, ресурсозбереження, управління модернізацією, інтеграція роботизованих систем, оптимізація процесів, підвищення продуктивності.

Technical and Economic Feasibility Study of Modernizing Food Industry Production Lines Through the Robotization of Packaging Operations

Annotation. The article explores theoretical, methodological, and practical aspects of modernizing packaging lines in food industry enterprises through the implementation of robotic systems. A comprehensive methodology for the techno-economic justification of automation and robotization has been developed, integrating assessments of technical characteristics, economic feasibility, organizational requirements, and operational compatibility with existing production processes. The proposed methodology was tested through pilot applications on selected packaging lines, demonstrating its effectiveness in

¹ магістр, головний інженер-механік та інженер з промислової автоматизації LE&CO, nikulinandre@gmail.com

planning capital investments, optimizing resource utilization, increasing production efficiency, reducing labor costs, and maintaining consistent product quality. The study also offers practical recommendations for enterprises, focusing on the optimal configuration of robotic systems, the selection of automation technologies tailored to production requirements, and the integration of advanced monitoring and control tools to ensure process stability and reliability. Moreover, the research emphasizes the importance of a systematic, multi-criteria approach to modernization, combining technical, economic, and managerial factors to enhance the strategic competitiveness, long-term sustainability, and adaptability of manufacturing enterprises. The findings reveal that robotization and automation not only improve operational performance and workflow efficiency but also support the implementation of digital management tools and process-oriented approaches, enabling real-time monitoring, predictive maintenance, and informed decision-making. The study demonstrates that such modernization strategies lay the foundation for scalable industrial development, support innovative technological solutions, and align production infrastructure with current and emerging market trends. The results provide a framework for enterprises seeking to implement step-by-step modernization strategies, increase production flexibility, and enhance the overall economic and technological potential of the food industry, ensuring long-term resilience in a competitive, rapidly evolving market environment.

Keywords: production automation, operational efficiency, innovative technologies, resource optimization, process management, robotic integration, investment planning, production reliability, technological modernization, workflow optimization.

Вступ

Сучасні процеси цифровізації та автоматизації виробництва істотно трансформують витрати, організацію праці та управлінські моделі промислових підприємств. У цьому контексті роботизація пакувальних процесів розглядається як один із ключових напрямів технологічного оновлення, що потребує ретельного техніко-економічного обґрунтування. Зростання складності виробничих систем і конкурентний тиск вимагають оцінювання ефективності інвестицій у роботизовані рішення, їх впливу на продуктивність, гнучкість виробництва та якість продукції. Незважаючи на поширення автоматизованих систем у промисловості, невирішеними залишаються питання оптимального структурування інвестицій, управління технологічними ризиками, інтеграції роботизованого обладнання у чинні процеси, підготовки персоналу до роботи в умовах нових технологічних вимог. Саме ці обставини зумовлюють актуальність дослідження та підтверджують його практичну значущість.

Аналіз наукових публікацій засвідчує сформований інтерес дослідників до проблем модернізації виробничих ліній у харчовій промисловості, зокрема до питань упровадження роботизованих технологій та підвищення їх техніко-економічної ефективності. Стаття М. Т. Мітяшкіної [1] висвітлює практику роботизації переробної та харчової промисловості, надаючи приклади підвищення продуктивності та точності пакувальних операцій, а також інтеграції роботизованих систем у виробничі процеси. Внутрішні та зовнішні ресурси промислової модернізації досліджують О. П. Крехівський і О. Б. Саліхова [2], звертаючи увагу на економічну ефективність інвестицій та доцільність комплексного підходу до модернізації виробництва. Водночас А. Хассун (A. Hassoun) та ін. [3] акцентують на глобальних тенденціях цифровізації та автоматизації агропродовольчого сектору, підкреслюючи, що інтеграція роботизованих

систем дозволяє скоротити час виробничого циклу та підвищити стабільність якості продукції.

Техніко-технологічну модернізацію підприємств харчової промисловості як засіб підвищення конкурентоспроможності досліджують В. В. Лагодієнко, К. Б. Козак, С. В. Рибалко [4], наголошуючи на поєднанні технічних і економічних показників при оцінці доцільності впровадження автоматизації. Роль технологічної структури переробної промисловості у формуванні інноваційної моделі розвитку економіки аналізує О. Соколова [5], відзначаючи, що автоматизація забезпечує гнучкість виробництва та здатність швидко реагувати на зміни ринку. Формування стратегічних напрямів модернізації технологічного оновлення виробництва в сільськогосподарських підприємствах пропонують П. Пуцентейло та Р. Баглей [6], акцентуючи на системному підході до інвестування в роботизацію та оптимізацію ресурсів.

Управління процесом модернізації підприємств за умов короткострокових перспектив досліджують О. Федорович, В. Косенко, І. Прончаков [7], виділяючи важливість оперативного моніторингу ефективності модернізаційних заходів та адаптації інвестиційних рішень до поточних умов. Переваги впровадження процесного підходу до управління підприємством аналізує І. Перерва [8], зазначаючи, що інтеграція автоматизованих ліній у виробничу систему забезпечує підвищення ефективності, зниження витрат та стабільність якості продукції. Поняття і стан виробничого потенціалу підприємств розглядають Ю. Карась [9] та А. І. Орехова [10], підкреслюючи, що модернізація пакувальних ліній і впровадження роботизації прямо впливає на продуктивність, оптимізацію ресурсів та підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Узагальнюючи результати аналізу, можна констатувати, що модернізація та роботизація пакувальних ліній є стратегічно важливими напрямками розвитку харчової промисловості, що забезпечують підвищення продуктивності, зниження операційних витрат та підвищення якості продукції. Дані літератури свідчать про необхідність комплексного техніко-економічного підходу, інтеграції процесного управління та цифрових технологій, що дозволяє оптимально використовувати ресурси підприємств і підвищувати їхню гнучкість у реагуванні на зміну ринкових умов. Перспективи подальших досліджень включають розробку моделей прогнозування економічної ефективності роботизації, оцінку інтеграції цифрових та екологічних аспектів, а також оптимізацію конфігурації роботизованих ліній для різних типів пакувальних операцій.

Мета статті – обґрунтувати теоретичні та методичні підходи до техніко-економічного обґрунтування роботизації пакувальних ліній у харчовій промисловості.

Основні завдання дослідження:

- проаналізувати підходи до оцінки ефективності автоматизації та визначити їх придатність для пакувальних операцій харчової промисловості;
- оцінити рівень упровадження автоматизованих рішень у галузі і виокремити ключові економіко-технологічні тренди;
- надати техніко-економічне обґрунтування модернізації пакувальних ліній.

Результати

Техніко-економічне обґрунтування модернізації виробничих ліній підприємств харчової промисловості шляхом роботизації пакувальних операцій базується на оцінюванні технічних параметрів, економічних показників та очікуваних результатів модернізації, що дозволяє визначити її доцільність і ефективність з урахуванням особливостей пакувальних процесів. У сучасних умовах зростання конкуренції, посилення вимог до якості та безпечності харчової продукції, а також необхідності оптимізації виробничих витрат роботизація постає ключовим напрямом підвищення технологічного рівня підприємств. Виробничі лінії харчової промисловості часто

містять значну частку ручної праці саме на стадії пакування, що зумовлено різноманітністю форм продукції, вимог до санітарної безпеки та потребою у високій точності фасування й маркування. У таких умовах виробники стикаються з потребою у впровадженні роботизованих рішень, здатних забезпечити стабільність операцій та зменшити ризики, пов'язані з людським фактором. Однак ухвалення рішення щодо модернізації потребує економічного обґрунтування, яке опирається на адекватні підходи до оцінки ефективності автоматизації.

Одним з найбільш поширених методичних підходів є аналіз економічної доцільності через розрахунок показників окупності інвестицій, таких як чиста теперішня вартість, внутрішня норма рентабельності та строк окупності. Використання цих індикаторів дозволяє оцінити, наскільки витрати на придбання та впровадження роботизованих пакувальних комплексів співвідносяться з очікуваними вигодами, серед яких зниження собівартості продукції, зростання продуктивності та зменшення трудомісткості операцій. Проте традиційні фінансові показники не завжди дають змогу повною мірою оцінити результати модернізації, оскільки не враховують специфічні технологічні ефекти, характерні для пакувальних процесів у харчовій промисловості. До таких ефектів належать скорочення часу простоїв, мінімізація ризиків мікробіологічного забруднення, підвищення стабільності якості фасування та маркування, тобто ті параметри, що безпосередньо впливають на відповідність міжнародним стандартам безпечності продукції.

Інший підхід пов'язаний з оцінкою продуктивності технологічних процесів до і після впровадження роботизації. У цьому випадку застосовуються показники пропускну здатності лінії, кількості одиниць продукції, упакованої за одиницю часу, рівня браку, частоти зупинок та інтенсивності використання обладнання. Для пакувальних процесів ці метрики є особливо важливими, оскільки від швидкості та точності виконання операцій залежить здатність підприємства оперативно реагувати на зміни попиту та забезпечувати гнучкість виробництва. Роботизовані системи дозволяють стандартизувати операції, стабілізувати параметри пакування та скоротити витрати на переналаштування обладнання при зміні видів продукції, що в умовах широкого асортименту харчових товарів є значною конкурентною перевагою. Водночас такий підхід потребує детальної фіксації технологічних параметрів, що на практиці часто ускладнюється відсутністю достовірної виробничої аналітики.

Наступний підхід ґрунтується на оцінці соціально-економічних ефектів автоматизації, який враховує зміни в структурі зайнятості, рівень навантаження на персонал, можливості перенавчання працівників та вплив автоматизації на умови праці. У харчовій промисловості пакувальні операції часто виконуються в умовах підвищених ризиків – контакту з гострими предметами, динамічними механізмами та значними фізичними навантаженнями. Роботизація в цьому контексті сприяє зменшенню кількості травм, підвищенню рівня безпеки та створенню умов для раціональнішого розподілу робочої сили. Проте цей підхід не дає прямої відповіді на питання економічної окупності, а його застосування вимагає поєднання з іншими методами.

Аналіз ризиків і надійності технологічних систем є ще одним з підходів, що включає оцінку відмовостійкості обладнання, наявності сервісної підтримки, вартості технічного обслуговування та можливих втрат через зупинки виробництва. Для підприємств харчової промисловості високий рівень надійності є критично важливим, оскільки будь-які затримки у пакуванні можуть призвести до псування продукції, порушення умов зберігання та збільшення кількості відходів. Роботизовані комплекси зазвичай забезпечують вищу точність дозування, стабільність руху та можливість безперервної роботи протягом тривалого часу. Проте їхня інтеграція потребує відповідної інфраструктури, кваліфікованого технічного персоналу та системи

моніторингу, що підвищує початкові інвестиції і має бути враховано при оцінці ефективності.

Отже, аналіз розглянутих підходів свідчить, що під час ухвалення рішень щодо роботизації пакувальних операцій жодне з них не може застосовуватися ізольовано, оскільки вони взаємодоповнюють одне одного та забезпечують комплексність оцінювання. Ефективність модернізації виробничої лінії визначається комплексним впливом технологічних, економічних, організаційних і соціальних чинників. Оптимальна методика повинна враховувати фінансові результати впровадження технології, динаміку змін продуктивності, рівень надійності роботизованих систем та їхній вплив на безпечність виробничих процесів. Реалізація такого підходу дозволяє забезпечити повноту оцінки та уникнути недооцінки прихованих ефектів, що проявляються у довгостроковій перспективі.

Роботизація сьогодні розглядається як ключовий напрям комплексної автоматизації виробництва, що забезпечує якісну трансформацію технологічних процесів на підприємствах переробної та харчової промисловості. Використання роботизованих модулів підвищує точність і стабільність операцій, покращує продуктивність виробничих ліній та створює передумови для переходу до гнучких автоматизованих систем, у яких частина функцій управління та контролю передається технічним засобам [1, с. 65].

Розвиток роботизованих технологій відбувається у контексті масштабних змін нормативно-технічного середовища, що протягом останніх двох десятиліть активно адаптується до європейських стандартів. Незважаючи на значну кількість ініціатив, темпи впровадження оновлених регуляторних вимог і програм технологічної модернізації залишаються недостатніми, що стримує швидкість оновлення виробничих потужностей і формує потребу в обґрунтованих рішеннях щодо техніко-економічної доцільності інновацій [2, с. 86].

У світовому агрохарчовому секторі роботизовані системи дедалі ширше застосовуються для сортування, пакування та обробки харчової продукції. Ця тенденція є складовою концепції «Agri-Food 4.0», яка передбачає цифрову трансформацію галузі та перехід до високотехнологічних виробничих процесів, здатних забезпечити вищу ефективність і стабільність результатів [3, с. 5].

Узагальнюючи, зазначимо, що доцільним є формування багатокритеріальної моделі оцінювання ефективності автоматизації пакувальних операцій, яка враховує як кількісні, так і якісні чинники. Такий підхід дає змогу не лише визначити економічні параметри модернізації, а й оцінити її вплив на конкурентоспроможність підприємства, його здатність адаптуватися до змін ринку та забезпечувати стабільну якість продукції. В умовах нового технологічного укладу роботизація пакувальних процесів стає стратегічно важливим елементом розвитку харчової промисловості, що зумовлює необхідність проведення ґрунтовного техніко-економічного обґрунтування перед упровадженням відповідних інвестиційних рішень. У таблиці 1 представлено порівняння підходів до оцінки ефективності автоматизації пакувальних операцій.

Таблиця 1

Порівняння підходів до оцінки ефективності автоматизації пакувальних операцій

| Підхід | Переваги | Недоліки | Придатність для пакувальних процесів |
|-----------------------|---|--|---|
| Фінансово-економічний | Чіткі кількісні показники; можливість розрахунку окупності | Не враховує організаційні та якісні ефекти | Висока, за умови доповнення іншими методами |

| | | | |
|-----------------------|---|--|---|
| Технологічний | Охоплює реальні виробничі параметри | Вимагає точних даних і аналітичної системи | Дуже висока, особливо для високопродуктивних ліній |
| Соціально-економічний | Враховує вплив на персонал і умови праці | Низька точність економічного прогнозування | Середня, як доповнення до фінансових методів |
| Ризик-орієнтований | Відображає надійність і стабільність систем | Складність оцінки ризиків | Висока для підприємств з високими вимогами до безпечності |

Джерело: узагальнено автором

Отже, за інтегрованого підходу фінансово-економічні методи забезпечують кількісну оцінку витрат і результатів: технологічні – відображають реальні можливості та параметри виробничого процесу, соціально-економічні – дозволяють врахувати наслідки для персоналу, тоді як ризик-орієнтований підхід дає змогу визначити рівень надійності та стійкості системи. Сукупне застосування цих методів забезпечує всебічне оцінювання економічних, технологічних та організаційних аспектів модернізації.

Ключовим чинником результативної технічної модернізації у харчовій промисловості є залучення наукових досліджень, спрямованих на розроблення, впровадження та вдосконалення техніко-технологічних інновацій у виробничих процесах переробки продовольчої сировини, а також формування дієвого організаційно-економічного механізму, що забезпечує ефективне оновлення технологічного обладнання та підвищення продуктивності галузі [6, с. 82].

Зміна конкурентного середовища під впливом глобалізації та нестабільності ринку збуту актуалізує потребу в чіткому визначенні цілей розвитку підприємства у короткостроковій перспективі. Для харчової промисловості це особливо важливо, оскільки невиправдано довгі або неточно сформульовані горизонти планування можуть призвести до помилкових рішень щодо модернізації виробничих ліній, включаючи роботизацію пакувальних операцій, і, відповідно, до значних необґрунтованих витрат [7, с. 90]. В умовах зростаючої конкуренції та насичення ринку високоякісною продукцією, яку пропонують як українські, так і зарубіжні виробники, підприємства змушені прискорювати модернізацію ліній, упроваджуючи рішення, здатні забезпечити підвищення продуктивності та стабільності якості [8, с. 2].

Ефективність таких рішень значною мірою залежить від виробничого потенціалу підприємства, який визначається поєднанням матеріальних, трудових, інтелектуальних та фінансових ресурсів. Саме раціональне використання цього потенціалу формує основу економічної ефективності й визначає, наскільки підприємство готове до впровадження роботизованих систем у пакувальні процеси. Земельні ресурси, трудові активи, що забезпечують функціонування технологічного циклу, а також оборотні засоби, необхідні для безперервної роботи, разом створюють базу для прийняття обґрунтованих рішень щодо модернізації та автоматизації виробництва [9, с. 2].

Ефективність модернізації виробництва визначають шляхом зіставлення результатів, отриманих унаслідок удосконалення технологічних процесів, із обсягом залучених ресурсів, причому ключовим критерієм є досягнення максимального виробничого ефекту за мінімальних витрат. Для об'єктивної оцінки економічної доцільності модернізації треба використовувати комплексну систему показників, яка враховує різноманітність виробничих ресурсів і специфіку їхньої економічної природи, оскільки їх безпосереднє порівняння часто є утрудненим.

Станом на 2022 рік упровадження автоматизованих рішень у промислових та сервісних галузях характеризується активною динамікою, що відображає

загальносвітові тенденції цифровізації та індустріальної трансформації. Поява нових технологій, як-от робототехніка, штучний інтелект, Інтернет речей (IoT) та системи управління виробничими процесами (MES, ERP), дозволила значно підвищити рівень автоматизації та ефективності діяльності підприємств різного профілю. Водночас темпи впровадження та глибина інтеграції автоматизованих рішень суттєво різняться залежно від розміру підприємства, специфіки виробничих процесів та наявності інвестиційних ресурсів.

Аналіз сучасного стану автоматизації в харчовій промисловості показує, що найбільш динамічні зміни відбуваються у сфері пакувальних операцій, де впровадження роботизованих модулів, автоматизованих конвеєрних систем і цифрових засобів контролю якості дозволяє скорочувати тривалість виробничих циклів, мінімізувати вплив людського фактору та забезпечувати стабільність технологічних процесів. Інтеграція цифрових платформ у пакувальні лінії підвищує прозорість та керованість на кожному етапі – від дозування й фасування до маркування й контролю герметичності, що сприяє відповідності продукції міжнародним стандартам безпечності та якості.

Водночас середні та малі підприємства харчової промисловості демонструють значно повільніші темпи впровадження роботизованих рішень через обмежені інвестиційні можливості, нестачу спеціалізованих кадрів і складність адаптації технологій до невеликих обсягів виробництва. У результаті формується технологічний розрив між підприємствами, які активно модернізують пакувальні лінії на основі цифрових та роботизованих систем, і тими, що працюють на рівні часткової механізації та не мають змоги забезпечити високий рівень ефективності пакувальних процесів.

Одним із ключових факторів, що визначає рівень упровадження автоматизації, є наявність економічної мотивації, зокрема можливість скорочення витрат на виробництво та підвищення продуктивності. В умовах високої конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках підприємства прагнуть оптимізувати витрати, зменшити частку браку та втрат продукції, а також підвищити гнучкість виробничих процесів. Застосування роботизованих систем і цифрових платформ дозволяє реалізувати модульний підхід до організації виробництва, що забезпечує швидке переналаштування ліній під різні види продукції та скорочення простоїв. Крім того, автоматизація сприяє підвищенню рівня безпеки праці та зменшенню ризиків травматизму, що має прямий вплив на соціально-економічні показники діяльності підприємства.

Аналіз економіко-технологічних трендів показав, що основними напрямками розвитку залишаються інтеграція штучного інтелекту у виробничі процеси, розвиток аналітичних платформ для моніторингу та прогнозування, впровадження роботизованих систем у складні виробничі та пакувальні операції, а також застосування IoT для забезпечення безперервного контролю стану обладнання. Високий попит на цифровізацію стимулює розвиток систем обробки великих обсягів даних (Big Data), що дозволяє не лише оптимізувати виробничі процеси, а й формувати більш точні прогнози попиту та ефективніше планувати ресурси. Одним із трендів також є поєднання автоматизації виробництва з концепціями «розумного підприємства», де інтегровані системи управління забезпечують синхронізацію всіх етапів створення продукції, включаючи постачання, виробництво, логістику та контроль якості.

Особливу увагу слід приділити економічним аспектам упровадження автоматизованих рішень. Інвестиції в цифрові технології, робототехніку та програмне забезпечення зазвичай є значними, однак довгострокова економічна ефективність проявляється через скорочення операційних витрат, підвищення продуктивності та зменшення впливу людського фактору. Підприємства, які активно інтегрували цифрові платформи, спостерігали стабільне зростання конкурентоспроможності, поліпшення фінансових результатів та збільшення частки ринку. Разом з тим економічна

ефективність автоматизації значною мірою залежить від рівня підготовки персоналу, здатного працювати з новими системами, а також від наявності внутрішньої інфраструктури для підтримки та обслуговування високотехнологічного обладнання.

На рівні управління ключовим трендом є впровадження комплексних систем планування ресурсів (ERP) і управління виробничими процесами (MES), які забезпечували інтеграцію інформації з різних функціональних підрозділів підприємства та дозволяли здійснювати оперативний контроль за виконанням виробничих планів. Це сприяє підвищенню прозорості виробничих операцій, скороченню часу прийняття рішень та зменшенню адміністративних витрат. Паралельно з цим розвиваються системи автоматичного контролю якості, що дозволяють у режимі реального часу виявляти відхилення технологічних параметрів і оперативно коригувати процеси. Такі технологічні рішення є особливо важливими для підприємств харчової, фармацевтичної та електронної промисловості, де точність виробничих операцій і відповідність стандартам безпеки мають критичне значення.

Інноваційні тенденції 2022 року також включають поширення гібридних виробничих систем, які поєднують традиційні технології з роботизованими і цифровими платформами. Це дозволяє підприємствам адаптуватися до змін попиту, реалізовувати модульні виробничі лінії та інтегрувати автоматизовані рішення у вже існуючу інфраструктуру без значних перебудов. Важливим трендом є застосування цифрових двійників (digital twins), що забезпечують моделювання виробничих процесів у віртуальному середовищі, прогнозування потенційних збоїв та оптимізацію параметрів технологічних ліній. Такий підхід дозволяє зменшувати витрати на експериментальні налаштування та підвищити ефективність планування ресурсів.

З огляду на загальні економіко-технологічні тенденції можна виділити кілька ключових напрямів, що визначають стан упровадження автоматизації. Перший – це підвищення рівня інтеграції технологічних систем, що забезпечує ефективне управління всіма етапами виробничого циклу. Другий – розвиток аналітичних інструментів для прогнозування та контролю продуктивності. Третій – упровадження роботизованих рішень у складні та точні операції виробництва і пакування продукції. Четвертий – підвищення економічної ефективності через скорочення витрат та оптимізацію використання ресурсів. П'ятий – підготовка кваліфікованого персоналу для роботи з новими цифровими платформами. Усі ці напрями взаємопов'язані та формують комплексну систему розвитку автоматизації.

На основі проведеного аналізу було узагальнено дані щодо рівня інтеграції автоматизованих рішень у пакувальні процеси харчової промисловості (табл. 2).

Таблиця 2

Упровадження автоматизованих рішень у пакувальних процесах харчової промисловості та ключові економіко-технологічні тренди станом на 2022 рік

| Напрямок застосування у пакуванні | | | |
|---|--|--|--|
| Рівень інтеграції технологій | Типові автоматизовані рішення | Економічний та технологічний ефект | Ключові галузеві тренди |
| Фасування та дозування продуктів | | | |
| Високий – великі підприємства | Автоматичні дозатори, вагові системи, роботизовані модулі порційного фасування | Зниження втрат сировини, стабільність маси продукту, підвищення продуктивності | Перехід до високоточної дозувальної робототехніки; сенсорний контроль параметрів |
| Пакування у плівкові та термоусадкові матеріали | | | |

| | | | |
|---|--|--|---|
| Високий | Flow-pack машини, термоусадкові тунелі з автоматичними подавачами, роботизовані модулі укладання | Підвищення швидкості пакування, мінімізація браку, покращення герметичності пакування | Інтеграція систем візуального контролю; оптимізація витрат пакувальних матеріалів |
| Маркування та етикетування | | | |
| Високий | Автоматичні етикетувальники, принтери для дати/партії, системи візуального контролю | Стабільність якості маркування, зменшення помилок, відповідність регуляторним вимогам | Розвиток Track&Trace, QR-ідентифікації, інтеграція з ERP/MES |
| Укладання та палетизація | | | |
| Середній – високий | Роботизовані маніпулятори, автоматичні палетизатори, конвеєрні системи | Зменшення трудомісткості, зниження ризиків травматизму, підвищення циклової швидкості | Розширення застосування колаборативної робототехніки (cobots) |
| Контроль якості пакування | | | |
| Середній - у малому та середньому бізнесі | Машинний зір, дефектоскопи, сенсори герметичності, контроль ваги та форми | Скорочення кількості дефектів, забезпечення відповідності міжнародним стандартам безпечності | Упровадження систем аналізу зображень та штучного інтелекту |
| Логістика внутрішнього переміщення тари і продукції | | | |
| Середній | AGV/AMR-візки, автоматичні подавачі, конвеєри | Оптимізація внутрішніх потоків, зменшення часу простоїв | Тенденція до повної інтеграції пакувальних ліній у «розумні фабрики» |

Джерело: створено автором

Отже, впровадження автоматизованих та роботизованих рішень у пакувальні процеси харчової промисловості відбувається нерівномірно: великі підприємства демонструють високий рівень цифрової інтеграції, тоді як малий і середній бізнес рухається поступово. Водночас усі напрями автоматизації – від дозування й фасування до палетизації та контролю якості – забезпечують відчутний економічний ефект і покращують технологічну стабільність, що підтверджує доцільність подальшої модернізації пакувальних ліній на основі роботизованих систем.

Систематизація відкритих даних про модернізацію пакувальних та технологічних ліній провідних підприємств харчової промисловості Європейського Союзу дає змогу виокремити найбільш поширені напрями автоматизації та результати їх упровадження. Порівняння цих рішень наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Узагальнені технології та результати модернізації виробництва на провідних підприємствах харчової промисловості ЄС

| Підприємство / країна | Технологічні рішення (узагальнені групи) | Період модернізації | Основні результати (публічні дані) |
|-----------------------|--|---------------------|---|
| Varilla (Італія) | Роботизація виробництва, AGV, цифрові панелі управління, MES | 2017–2020 | Скорочення простоїв, пришвидшення переналаштувань, підвищення рівня автоматизації |
| Danone Opole (Польща) | AI-аналітика, MES/ERP, енергоменеджмент | 2019–2022 | Зниження виробничих витрат, скорочення енергоспоживання, підвищення ефективності |

| | | | |
|-------------------------------------|---|------------|---|
| Arla Foods (Данія) | Роботизоване виробництво сиру, AI для контролю якості | 2010s–2022 | Високий рівень автоматизації окремих процесів, підвищення стабільності якості |
| Heineken Sevilla (Іспанія) | AGV, роботизація пакування, цифрова логістика | 2006–2021 | Оптимізація внутрішньозаводської логістики, зменшення ручної обробки піддонів |
| Südzucker (Німеччина) | Цифрові платформи моніторингу, автоматизація переробки, енергоефективні системи | 2020–2022 | Зниження енергоспоживання та викидів, модернізація основних фондів |
| Nestlé (ЄС) | AR-підтримка, RPA, AI-аналітика, цифровий супровід виробництва | 2020–2021+ | Швидша діагностика та ремонт, скорочення часу на інженерну підтримку |
| PepsiCo (Польща, Румунія та ін.) | Автоматизовані склади AS/RS, роботизація, цифрові фабрики | 2021–2022 | Підвищення пропускної здатності складів, цифровізація логістичних операцій |
| Mondelez (ЄС) | Автоматизація ліній, AI/ML у виробництві та фінансах | 2015–2022 | Оптимізація операцій, упровадження «ліній майбутнього» |
| Kraft Heinz (Велика Британія та ЄС) | Автоматизація СІР, роботизація пакування, AI у постачанні | 2020s | Підвищення продуктивності та стійкості ланцюгів постачання |
| Lactalis (Франція та ЄС) | Автоматизація переробки, логістична оптимізація, енергоефективність | 2020–2022 | Скорочення енергоспоживання та CO ₂ , модернізація логістики |

Джерело: розроблено автором на основі [11–15]

Як демонструють наведені дані, провідні підприємства харчової промисловості ЄС активно впроваджують комплексні автоматизовані та цифрові рішення, включно з роботизацією виробничих ліній, системами AGV, MES/ERP, AI-аналітикою та цифровими платформами для енергоменеджменту й контролю якості. Впровадження цих технологій дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, скоротити простой та витрати, оптимізувати логістику й енергоспоживання, а також забезпечити більш гнучку реакцію на ринкові зміни. Найбільш успішні проекти характеризуються поєднанням інноваційних технологій із системним підходом до модернізації, що сприяє підвищенню продуктивності, стійкості та конкурентоспроможності підприємств на європейському ринку.

Розробка методики техніко-економічного обґрунтування модернізації пакувальних ліній передбачає поетапний системний підхід, який включає технічний аудит, економічний аналіз, вибір оптимальних технологічних рішень, апробацію та тестування пілотних проектів, а також формування практичних рекомендацій для підприємств. Такий підхід дозволяє не лише оцінити потенціал автоматизації, але й передбачити економічну доцільність інвестицій, визначити оптимальний рівень інтеграції роботизованих систем та підготувати персонал до роботи з новими технологіями.

Першим етапом методики є технічний аудит пакувальних ліній. Він передбачає збір даних про існуюче обладнання, його продуктивність, рівень автоматизації, швидкість виконання операцій, енергоспоживання та частоту технічних зупинок. Додатково здійснюється аналіз процесів управління та контролю якості продукції. На основі отриманих даних визначаються слабкі місця, вузькі місця в технологічному ланцюзі, резерви підвищення продуктивності та можливості інтеграції автоматизованих систем. Технічний аудит формує основу для подальшого вибору

ефективних рішень з модернізації, визначення пріоритетних ділянок для впровадження роботизації та підготовки економічних моделей.

Другий етап включає економічний аналіз. Він спрямований на оцінку витрат на утримання персоналу, енергію, обслуговування обладнання та інші операційні витрати. На цьому етапі використовуються фінансові моделі, що дозволяють прогнозувати економічний ефект від модернізації, визначати термін окупності інвестицій, внутрішню норму рентабельності та потенційне скорочення витрат на виробництво. Результати економічного аналізу дозволяють обґрунтовано порівняти альтернативні варіанти модернізації, включаючи впровадження роботизованих маніпуляторів, автоматичних конвеєрів, систем управління виробничими процесами (MES) та інтегрованих сенсорних панелей. Вибір технологічного рішення є наступним ключовим етапом методики. Він передбачає визначення типів роботизованих систем, їх конфігурації та рівня інтеграції в існуючі виробничі процеси. При цьому важливими критеріями є продуктивність, надійність, гнучкість лінії та здатність адаптуватися до зміни формату пакування або обсягів виробництва. Порівняльний аналіз варіантів здійснюється із застосуванням технічних специфікацій, моделей інтеграції та розрахункових показників ефективності. Рекомендовано обирати модульні рішення, що забезпечують можливість поетапного розширення та масштабування виробництва без значних капіталовкладень у короткий період.

Апробація й тестування пілотного проєкту дозволяє перевірити працездатність розробленої методики в реальних умовах виробництва. На цьому етапі здійснюється тестування роботизованих маніпуляторів, інтеграція з системами управління та контролю якості продукції, оцінка продуктивності та ефективності роботи лінії. Апробація дозволяє виявити недоліки розрахункових моделей, уточнити параметри обладнання та технологічних процесів, а також адаптувати рекомендації до специфіки конкретного підприємства. Особливу увагу приділяють підготовці персоналу, оскільки успішне впровадження роботизації потребує навчання операторів та технічних спеціалістів роботи з новими системами.

На основі проведених етапів розробляються практичні рекомендації щодо поетапного впровадження модернізації. Вони включають визначення пріоритетних ділянок для роботизації, планування інвестицій, інтеграцію систем управління та контролю якості, організацію навчання персоналу та постійний моніторинг ефективності роботи модернізованих ліній. Практичні рекомендації спрямовані на оптимізацію робочих процесів, зниження операційних витрат, підвищення рівня гнучкості виробництва та забезпечення стабільної якості продукції. Економічна ефективність модернізації визначається не лише прямими фінансовими показниками, але й довгостроковими перевагами, що включають підвищення конкурентоспроможності підприємства, зниження витрат на утримання персоналу та обслуговування обладнання, скорочення часу виробничого циклу та зниження ризику виникнення браку. Роботизація пакувальних ліній забезпечує підвищення точності дозування та упаковки продукції, скорочує час циклу та дозволяє інтегруватися з інформаційними системами управління підприємством для отримання оперативних даних, необхідних для прийняття управлінських рішень. Методика також передбачає оцінку ризиків і розробку заходів щодо їх мінімізації. До основних ризиків відносяться технічні відмови обладнання, затримки у постачанні комплектуючих, зміни у законодавстві та стандартах безпеки, а також соціальні аспекти, пов'язані зі скороченням ручної праці. Розробка стратегій управління ризиками забезпечує стабільну роботу модернізованих ліній та дозволяє адаптуватися до непередбачуваних умов виробництва.

Для наочного представлення методики та очікуваних результатів її застосування наведено узагальнену таблицю 4 ключових етапів, завдань, методів та практичних рекомендацій.

Таблиця 4

Методика техніко-економічного обґрунтування модернізації пакувальних ліній та рекомендації щодо роботизації

| Етап | | | |
|---|--|--|--|
| Основні завдання | Методи та інструменти | Очікуваний результат | Практичні рекомендації |
| Технічний аудит | | | |
| Аналіз існуючих пакувальних ліній, обладнання та технологій | Збір даних, вимірювання продуктивності, аналіз обладнання | Визначення слабких місць та резервів підвищення ефективності | Виявити ділянки, де можлива автоматизація, підготувати план модернізації |
| Економічний аналіз | | | |
| Оцінка витрат на персонал, енергію, обслуговування | Фінансові моделі, розрахунок собівартості, прогнозування економічного ефекту | Визначення доцільності інвестицій та термінів окупності | Скласти економічну модель модернізації та порівняти альтернативні рішення |
| Вибір технологічного рішення | | | |
| Визначення типів роботизованих систем та конфігурації ліній | Порівняльний аналіз варіантів, технічні специфікації, інтеграційні моделі | Оптимальна конфігурація автоматизації | Рекомендовано обирати модульні та масштабовані рішення, що легко адаптуються до змін обсягів і формату продукції |
| Апробація та тестування | | | |
| Упровадження пілотного проєкту на обмеженій ділянці | Тестування роботи роботів, інтеграція з MES, контроль якості продукції | Підтвердження працездатності моделей, виявлення недоліків | Виконати корекцію технологічних параметрів, підготувати персонал до роботи з новим обладнанням |
| Розроблення рекомендацій | | | |
| Формування поетапного плану впровадження | Систематизація даних, SWOT-аналіз, планування інвестицій | Практичний план модернізації та впровадження роботизації | Включити навчання персоналу, моніторинг ефективності, адаптацію процесів до нових технологій |

Джерело: розроблено автором

Запропонована методика забезпечує послідовний і комплексний підхід до оцінювання доцільності модернізації пакувальних ліній, поєднуючи технічний, економічний і технологічний аналіз. Використання такої структури дає можливість мінімізувати ризики, обґрунтувати інвестиційні рішення та сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження роботизованих систем, адаптованих до потреб конкретного підприємства.

Висновки

Проведене дослідження дозволило комплексно оцінити теоретичні, методичні та прикладні аспекти техніко-економічного обґрунтування модернізації пакувальних ліній підприємств харчової промисловості шляхом їх роботизації.

У процесі дослідження було проаналізовано існуючі підходи до оцінки ефективності автоматизації та визначено їх придатність для пакувальних операцій харчової промисловості. Результати аналізу показали, що комплексна оцінка, яка поєднує технічні параметри обладнання, економічні показники та прогнозування термінів окупності інвестицій, є найбільш адекватною для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Досліджено рівень упровадження автоматизованих рішень у галузі та виокремлено ключові економіко-технологічні тренди. На основі проведеного аналізу розроблено методика техніко-економічного обґрунтування модернізації пакувальних ліній, яка включає етапи технічного аудиту, економічного аналізу, вибору оптимальних технологічних рішень, апробації та формування практичних рекомендацій. Методика дозволяє визначати пріоритетні ділянки для автоматизації та уточнювати параметри інтеграції роботизованих систем у виробничі процеси підприємств харчової промисловості.

Перспективи подальших розвідок у цьому напрямі полягають у розширенні аналітичних моделей, які враховують не лише економічні та технічні параметри, але й екологічні, соціальні та цифрові аспекти автоматизації. Доцільним є дослідження впливу роботизації на інтеграцію виробничих ліній у концепції «розумного підприємства», розробка моделей прогнозування ефективності впровадження інновацій з урахуванням швидких змін ринку та технологій, а також оцінка економічного ефекту від синергії між автоматизацією пакувальних процесів та іншими виробничими ділянками. Застосування комплексного підходу до техніко-економічного обґрунтування модернізації пакувальних ліній підприємств харчової промисловості дозволить підвищити ефективність виробництва, створить умови для масштабованої автоматизації та забезпечить стратегічний розвиток підприємств у напрямі інноваційних технологій. Отримані висновки можуть бути використані як основа для розроблення поетапних стратегій упровадження роботизації та подальшого вдосконалення виробничої інфраструктури харчових підприємств.

Список використаних джерел

1. Мітяшкіна Т. Ю. Роботизація переробної та харчової промисловості: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції *Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв*: матеріали конф. (м. Харків, 8 листопада 2019 р.). Харків: ХНТУСГ, 2019. С. 65–66. URI: <https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/23579>.
2. Крехівський О. П., Саліхова О. Б. Повоєнна модернізація промисловості: внутрішні та зовнішні ресурси. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2022. Т. 125, № 6. С. 83–104. DOI: [https://doi.org/10.31617/3.2022\(125\)06](https://doi.org/10.31617/3.2022(125)06).
3. Hassoun A., Boukid F., Pasqualone A., Bryant C. J., García García G., Parra-López C., Jagtap S., Trollman H., Cropotova J., Barba F. J. Emerging trends in the agri-food sector: Digitalisation and automation, *Science of The Total Environment*, 2022. Vol. 5. P. 2261–2269 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.11.010>.
4. Лагодієнко В. В., Козак К. Б., Рибалко С. В. Техніко-технологічна модернізація підприємств харчової промисловості як засіб підвищення конкурентоспроможності. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*. 2021. № 2. С. 28-35. DOI: <https://doi.org/10.54929/pmt-issue2-2021-5>.
5. Соколова О. Роль технологічної структури переробної промисловості у забезпеченні інноваційної моделі розвитку економіки України. *Підприємництво та інновації*. 2021. № 16. С. 39-45. DOI: <https://doi.org/10.37320/2415-3583/16.6>.
6. Пуцентейло П., Баглей Р. Формування стратегічних напрямів модернізації технологічного оновлення виробництва у сільськогосподарських підприємствах.

Економічний дискурс. 2019. Т. 1, № 3. С. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.36742/2410-0919-2019-3-8>.

7. Федорович О., Косенко В., Прончаков Є. Управління модернізацією підприємства, що розвивається в умовах короткострокової перспективи. *Інноваційні технології та наукові рішення для промисловості*. 2020. № 1 (11). С. 90–96. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.090>.

8. Перерва І. Переваги впровадження процесного підходу до управління підприємством. *Економіка та суспільство*. 2021. № 29. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-29-3>.

9. Карась Ю. Теоретичний зміст поняття «виробничий потенціал» аграрного підприємства. *Економіка та суспільство*. 2022. № 46. С. 27. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-46-27>.

10. Орехова А. І. Аналіз стану виробничого потенціалу суб'єктів агробізнесу. *Український журнал прикладної економіки*. 2018. Т. 3, № 4. С. 185–191. URL: https://library.wunu.edu.ua/images/stories/naukovi%20zhurnaly/ukrainskyu%20zhurnal%20prykladnoi%20ekonomiry/2018/T.3_4.pdf#page=185.

11. *Die Transformation von Barilla*. *Porsche Newsroom*. 2019. URL: <https://newsroom.porsche.com/de/2019/unternehmen/porsche-consulting-barilla-pasta-transformation-18857.html>

12. *Transforming Barilla*. *Porsche Newsroom*. 2019. URL: <https://newsroom.porsche.com/en/2019/company/porsche-consulting-transforming-barilla-18858.html>

13. Danone factory given Lighthouse Award by World Economic Forum for digital transformation. *Danone*. 2022. URL: <https://www.danone.com/newsroom/press-releases/continued-good-momentum-across-categories-and-geographies-h1-202211.html>

14. Le Forum économique mondial décerne à une usine Danone un Lighthouse Award de la transformation digitale. *Danone Group*. URL: <https://www.danone.com/fr/newsroom/communiqués-de-presse/le-forum-economique-mondial-decerne-a-une-usine-danone-un-lighthouse-award-de-la-transformation-digitale.html>.

15. Danone 'digitally transforms' baby food factory in Poland, boosts efficiencies and halves GHG emissions. *Dairy Reporter*. 2022. URL: <https://www.dairyreporter.com/Article/2022/10/11/danone-digitally-transforms-baby-food-factory-in-poland-boosts-efficiencies-and-halves-ghg-emissions>.