

УДК 338.43:620.9:005.1
DOI: 10.31732/2663-2209-2026-82-277-295

Дата надходження: 27.03.2026
Дата прийняття до друку: 15.05.2026
Дата публікації: 30.05.2026



Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

МЕНЕДЖМЕНТ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЗАГОСТРЕННЯ ДЕФІЦИТУ РЕСУРСІВ: КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ, СТРАТЕГУВАННЯ ТА ІННОВАТИКА

Петруха Ніна¹, Петруха Сергій²

¹Канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, e-mail: psv03051984@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3805-2215>

²Канд. екон. наук, доцент, професор кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: psv03051984@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8859-0724>

ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES UNDER CONDITIONS OF INTENSIFYING RESOURCE SCARCITY: CONCEPTUALIZATION, STRATEGIZING, AND INNOVATION

Nina Petrukha¹, Serhii Petrukha²

¹Ph. D. (Economics), Associate Professor, Docent of the Department of Management in Construction, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: psv03051984@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3805-2215>

²Ph. D. (Economics), Associate Professor, Professor of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: psv03051984@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8859-0724>

Анотація. Метою статті є випрацювання інтегрованого підходу до формування архітектури систему менеджменту енергоефективності аграрних підприємств, у функціонуванні яких енергетичний чинник дедалі більшою мірою визначає не лише рівень виробничих витрат, а й операційну стійкість, технологічну безперервність та збереження конкурентних переваг на внутрішньому продовольчому ринку. Методологічну основу дослідження утворює одночасне застосування системного підходу, структурно-ресурсного аналізу, елементів сценарного моделювання управлінських рішень й інструментів енергетичного менеджменту, зорієнтованого на послідовне поліпшення енергетичної результативності функціонування аграрних підприємств в період панування кризи енергетичної інфраструктури внаслідок постійних російських військових атак на її об'єкти виробництва електроенергії та мережі передачі. На основі емпіричних даних обґрунтовано доцільність застосування адаптивної стратегії енергоменеджменту, у межах якої управління дефіцитними ресурсами інваріюється за базовим, напруженим й кризовим режимами функціонування аграрного підприємства. Доведено, що результативність інвестицій у частотне регулювання двигунів, автоматизацію процесів сушіння, теплоізоляцію виробничої інфраструктури, цифрову диспетчеризацію та системи контролю навантаження не обмежується прямою економією енергоресурсів, оскільки такі рішення одночасно впливають на стабільність виробничих процесів, зниження операційних ризиків, мінімізацію втрат аграрної продукції й скорочення потреби у дефіцитних ресурсах, зокрема технологічної енергії. Посаднання біогазових установок, сонячної генерації, гібридних модулів і накопичувачів енергії в дослідженні позиціонується як інструмент не абсолютної енергетичної незалежності, а керованої автономності аграрного виробництва, його здатності протистояти існуючим енергетичним ризикам. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості застосування запропонованого підходу для аналітичного супроводу інвестиційних рішень на різно масштабованих аграрних підприємствах з різним доступом до дефіцитних ресурсів. Наукова новизна полягає в інтеграції стратегічних, організаційних, фінансових і технологічних рішень у цілісний конструкт менеджменту енергоефективності аграрних підприємств з урахуванням існуючого стану (енергетичної кризи) й невизначеності щодо майбутнього (в коротко- і середньостроковому періоді) стану енергетичної інфраструктури України.

Ключові слова: енергоефективність, аграрний сектор економіки, аграрні підприємства, інвестиції, енергетичний менеджмент, ресурсний дефіцит, відновлювана енергетика, стратегічне управління, антикризове регулювання, точне землеробство, Інтернет речей.

Формули: 6; рис.: 1; табл.: 7; бібл.: 50

Abstract. *The aim of the article is to develop an integrated approach to shaping the architecture of an energy efficiency management system for agricultural enterprises, in whose operation the energy factor increasingly determines not only the level of production costs, but also operational resilience, technological continuity, and the preservation of competitive advantages in the domestic food market. The methodological basis of the study is formed by the simultaneous application of a systems approach, structural-resource analysis, elements of scenario modelling of managerial decisions, and energy management tools aimed at the consistent improvement of the energy performance of agricultural enterprises during the crisis of energy infrastructure caused by constant Russian military attacks on electricity generation facilities and transmission networks. On the basis of empirical data, the article substantiates the expediency of applying an adaptive energy management strategy, within which the management of scarce resources varies according to the basic, stressed, and crisis modes of operation of an agricultural enterprise. It is proven that the effectiveness of investments in variable-frequency motor control, automation of drying processes, thermal insulation of production infrastructure, digital dispatching, and load control systems is not limited to direct savings in energy resources, since such solutions simultaneously affect the stability of production processes, the reduction of operational risks, the minimization of agricultural product losses, and the reduction of demand for scarce resources, in particular technological energy. The combination of biogas plants, solar generation, hybrid modules, and energy storage systems is positioned in the study not as an instrument of absolute energy independence, but as a means of controlled autonomy of agricultural production and its ability to withstand existing energy risks. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of applying the proposed approach for the analytical support of investment decisions at agricultural enterprises of different scales and with different levels of access to scarce resources. The scientific novelty lies in the integration of strategic, organizational, financial, and technological solutions into a holistic construct of energy efficiency management for agricultural enterprises, taking into account the current state, namely the energy crisis, and uncertainty regarding the future, in the short and medium term, condition of Ukraine's energy infrastructure.*

Keywords: *energy efficiency, agricultural sector of the economy, agricultural enterprises, investments, energy management, resource scarcity, renewable energy, strategic management, anti-crisis regulation, precision agriculture, Internet of Things.*

Formulas: 6; **fig.:** 1; **tab.:** 7; **bibl.:** 50

Вступ. Проблема енергоефективності аграрних підприємств сьогодні виходить за межі ортодоксальнозabarвленої оптимізації виробничих витрат і набуває значення критерію господарської життєздатності. В умовах дефіциту енергетичних ресурсів, нестабільності постачання, зростання вартості палива й електроенергії, енергія перестає бути лише виробничим фактором і трансформується в стратегічну умову безперервності технологічного циклу. У такій постановці енергоефективність слід розглядати як форму організаційної раціональності, через яку аграрне підприємство переводить обмежений ресурс із зони некерованого дефіциту в простір вимірюваного, прогнозованого та відповідального управління. Саме тому енергетичний менеджмент в аграрному секторі економіки повинен поєднувати технічну модернізацію, ресурсний аудит, фінансову дисципліну, цифровий моніторинг і сценарне планування.

Практична значущість проблеми підтверджується державними та наднаціональними пріоритетами енергетичної і кліматичної політики.

Національний план з енергетики та клімату України на період до 2030 року задає рамку поєднання енергетичної безпеки, декарбонізації та економічного відновлення (Кабінет Міністрів України, 2024). У праві Європейського Союзу принцип «energy efficiency first» набув статусу одного з базових принципів енергетичної політики, вимагаючи зваження на енергоефективність під час ухвалення інвестиційних й секторальних рішень (European Commission, 2024). Для аграрного сектору економіки це означає, що енергоменеджмент не може залишатися периферійною технічною функцією, а стає інтегрованим у стратегію розвитку аграрного підприємства разом з традиційним поєднанням технологій бюджетування, ризик-менеджменту і вибору технологічних інновацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукове осмислення менеджменту енергоефективності аграрних підприємств формується на перетині кількох дослідницьких площин: стратегічного управління конкурентоспроможністю (Петруха & Рибіцький, 2024; Федірець & Дамаскін,

2025), енергетичної безпеки (Цикунов, 2025; Петруха & Назуков, 2024), ресурсної модернізації (Височанська & Гурін, 2025; Шубалий et al., 2023), цифровізації виробничих процесів (Shtuler et al., 2025; Stender et al., 2026), розвитку відновлюваної енергетики (Makedon et al., 2024; Makedon et al., 2025) та трансформації агропродовольчих ланцюгів доданої вартості (Ryzhakova et al., 2022; Petrukha et al., 2022). Така багатовимірність проблематики зумовлена тим, що енергоефективність у сучасних умовах уже не може розглядатися лише як технічний параметр скорочення витрат. Вона дедалі більше набуває значення управлінської категорії, через яку оцінюється здатність аграрного підприємства підтримувати виробничу безперервність, знижувати ресурсну залежність, мінімізувати операційні ризики та адаптуватися до структурних обмежень воєнної і повоєнної економіки.

У роботі І. Ажаман та інших (2023) систематизовано світовий досвід розвитку систем енергетичного менеджменту та окреслено перспективи його імплементації в Україні. Цінність цього дослідження полягає у виокремленні інституційних і організаційних передумов енергоменеджменту, зокрема необхідності переходу від фрагментарного енергозбереження до системного управління енергетичною результативністю. Водночас у контексті аграрних підприємств потребує подальшої деталізації питання адаптації таких систем до сезонності виробництва, просторової розосередженості активів і технологічної різноманітності ресурсоспоживання. Саме ці обставини актуалізують потребу в розробленні інтегрованого підходу, у межах якого енергоефективність пов'язується не лише з технічним контролем, а й із фінансовим плануванням, відповідальністю підрозділів і сценарним управлінням ресурсними ризиками.

У працях О. Федірця та інших (2025), Я. Ткаченко та інших (2024), К. Клименко та інших (2024), а також В. Цикунова (2025)

енергетична проблематика аграрних підприємств розкривається через призму стратегічного розвитку, євроінтеграційних вимог, Європейського зеленого курсу, енергетичної безпеки аграрного сектору економіки та його провідної галузі, сільського господарства, доступу до фінансових ресурсів задля енергетичної модернізації. В цих доробках акцентовується увага на тому, що конкурентоспроможність аграрних підприємств дедалі тісніше пов'язується з екологічною модернізацією, раціоналізацією ресурсного використання та здатністю відповідати новим регуляторним, ринковим і фінансовим вимогам. Водночас у зазначених дослідженнях недостатньо розкритим залишається управлінський механізм інтеграції енергобезпечкових і енергоощадних рішень у систему поточного бюджетування, контролю витрат, інвестиційного ранжування та відповідальності виробничих підрозділів аграрних підприємств.

Окремий блок наукових праць присвячено структурним бар'єрам формування енергоефективного аграрного сектору національної економіки. Так, М. Височанська та інші (2025), О. Шубалий та інші (2023) досліджують деструктивні чинники, що стримують структуризацію механізму енергоефективності аграрного сектору й переробно-харчової галузі зокрема, виражені у зношеності техніко-технологічної бази, інституційних обмеженнях, управлінських дисбалансах й недостатній узгодженості ресурсної політики аграрних підприємств. С. Булава (2026), О. Мельников та інші (2021) розглядають діагностику техніко-технологічного потенціалу сільської економіки в умовах аграрної кризи, воєнних викликів і повоєнного відновлення, що є важливим для розуміння матеріальної основи енергетичної модернізації аграрних підприємств. Зазначені праці формують методологічне підґрунтя для оцінювання ресурсної вразливості аграрних підприємств, однак

прикладні інструменти швидкої адаптації до дефіциту енергоресурсів, нестабільного постачання та порушення виробничих циклів залишаються недостатньо операционалізованими.

Вагоме значення для тематики дослідження мають праці (Шубалий et al., 2023; Петруха, 2023; Ryzhakova et al., 2022), у яких енергоефективність пов'язується з біоекономічною трансформацією, біопаливними виробництвами та розвитком агропродовольчих ланцюгів доданої вартості. Таке поєднання дозволяє розширити розуміння енергоефективності не лише як інструменту зниження витрат, а й як складової переходу до більш циркулярної, ресурсно ощадної та відновлюваної моделі сільського розвитку.

Міжнародний дослідницький дискурс зосереджується переважно на детермінантах енергоефективності, цифровізації енергоменеджменту, контрактингових моделях і поєднанні відновлюваної енергетики з точним землеробством. Так, Дж. Лю та інші (Liu et al., 2021) досліджують чинники енергоефективності і енергозбереження в аграрному секторі країн, що розвиваються, звертаючи увагу на взаємозв'язок між технологічним рівнем, структурою аграрного виробництва та споживанням технологічної енергії. К. Батер та ін. (Bader et al., 2025) аналізують регіональне сприйняття систем енергетичного менеджменту в аграрному секторі Німеччини, що є важливим для розуміння організаційних передумов цифрового контролю й локальної адаптації енергетичних рішень. Водночас зазначені підходи потребують критичного переосмислення для українських умов, де управління енергоефективністю відбувається під впливом воєнних ризиків, пошкодження інфраструктури, дефіциту капіталу й високої волатильності зовнішнього середовища. В свою чергу, дослідження Q. Du та інших (Du et al., 2025) поглиблює розуміння енергетичного контрактингу як інструменту ризикоорієнтованого менеджменту в

аграрному секторі економіки. Автори обґрунтовують, що контрактні моделі можуть прискорювати енергетичну модернізацію без істотного початкового навантаження на капітал аграрного підприємства. Для українських аграрних підприємств цей підхід має особливе значення через обмеженість інвестиційних ресурсів, високу вартість капіталу та потребу в оновленні критичних технологічних вузлів. Однак, подальшого опрацювання потребує питання включення енергоконтрактингу в ширшу систему внутрішнього бюджетування, центрів відповідальності, контролю KPI (Key Performance Indicator) та управління операційними ризиками в умовах воєнної економіки.

У дослідженнях В. Македон та ін. (Makedon et al., 2024; Makedon et al., 2025) відновлювана енергетика розглядається через поєднання економічної результативності, екологічних переваг і внеску в досягнення Цілі сталого розвитку № 7 щодо доступної та чистої енергії. Ці роботи є релевантними для обґрунтування біогазових, сонячних і гібридних рішень в аграрному виробництві, оскільки доводять значення локальної генерації для зниження операційних витрат і екологічного навантаження. Разом із тим, для умов України відкритим залишається питання реалістичності інтеграції таких технологій у виробничі цикли аграрних підприємств за наявності енергетичної кризи, воєнної невизначеності, нерівномірної доступності фінансування та різної технічної спроможності господарств.

А. Чоудхурі (Chowdhury, 2025) показує переваги поєднання відновлюваної енергії з технологіями точного землеробства у віддалених сільських територіях, акцентуючи на автономному живленні польових систем, сенсорному контролі та цифровій підтримці виробничих операцій. Це має безпосередній зв'язок із проблематикою IoT-контролю зрошення, автономних насосних станцій, smart-вентиляції та цифрового управління навантаженням.

Водночас різномасштабність функціонування аграрних підприємств потребує додаткового теоретико-методичного осмислення менеджменту енергоефективності, оскільки рішення, ефективні для великого вертикально інтегрованого підприємства (Петруха & Петруха, 2020; Онікієнко et al., 2023), не завжди можуть бути безпосередньо перенесені на середнє або мале аграрне підприємство. У цьому ж контексті Б. Кишакевич та ін. (Kyshakevych et al., 2025) аналізують системні проблеми та резерви ефективності аграрного сектору ЄС на основі slack-based DEA-підходу, підкреслюючи значення внутрішніх резервів продуктивності й оптимізації розподілу факторів виробництва. Для нашого дослідження це важливо, оскільки енергоефективність розглядається не лише як технологічне оновлення, а й як спосіб кращого використання внутрішніх ресурсів аграрного підприємства.

Нормативно-методичний вимір проблематики формують джерела, пов'язані з енергетичним менеджментом, енергоефективністю, енергетично розумними продовольчими системами та декарбонізацією. Стандарт ISO 50001 (International Organization for Standardization, 2026) задає логіку системного управління енергетичною результативністю на основі циклу безперервного поліпшення. Директива з енергоефективності (Energy Efficiency Directive) Європейського Союзу (European Commission, n.d.) фіксує енергоефективність як один із ключових інструментів зниження енергоспоживання, підвищення конкурентоспроможності та досягнення кліматичних цілей. Аналітичний звіт Міжнародного енергетичного агентства (International Energy Agency) «Energy Efficiency 2024» (International Energy Agency, 2024) підкреслює стратегічну роль енергоефективності у зменшенні енергетичних ризиків і прискоренні енергетичного переходу. Звіт Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН

(Food and Agriculture Organization) з питань енергорозумної їжі (Energy-Smart Food) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, n.d.) дозволяють пов'язати енергоефективність аграрного виробництва з продовольчими системами, ресурсною ощадністю та технологічною стійкістю. Для України особливу значущість мають також матеріали Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України щодо проєктів Фонду декарбонізації (State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine, n.d.) і звіт UNECE щодо підвищення ролі біопалива та біомаси в енергетичній системі України (UNECE, 2023).

Джерела, присвячені повоєнному відновленню, сталому розвитку й продовольчій безпеці, дають змогу розширити аналіз енергоефективності аграрних підприємств за межі суто виробничої проблематики. У праці Т. Горохової (Т. Gorokhova) та інших (Gorokhova et al., 2024) стратегії повоєнного економічного відновлення України розглядаються через призму досягнення Цілей сталого розвитку, що дозволяє інтерпретувати енергоефективність як елемент не лише корпоративної, а й макроекономічної стійкості. Дослідження І. Семчук (І. Semchuk) та інших (Semchuk et al., 2025), присвячене впливу кращих аграрних практик на досягнення Цілі сталого розвитку № 2 «Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства», є важливим для обґрунтування зв'язку між ресурсною ефективністю, стабільністю аграрного виробництва та продовольчою безпекою. У такому ракурсі енергоменеджмент аграрного підприємства постає не лише як внутрішньогосподарська функція, а як елемент ширшої системи відновлення, продовольчої стійкості й довгострокового розвитку сільських територій.

Узагальнення перелічених вище джерел засвідчує, що в наявній літературі

достатньо ґрунтовно розкрито окремі аспекти енергоефективності аграрного сектору економіки, зокрема стратегічна модернізація, енергетична безпека, біоенергетика, цифровізація, відновлювана генерація, контрактингові моделі, техніко-технологічний потенціал і зв'язок із Цілями сталого розвитку ООН. Водночас недостатньо опрацьованим залишається питання інтеграції цих компонентів у єдину управлінську систему на рівні аграрного підприємства, здатну одночасно враховувати дефіцит ресурсів, нестабільність постачання, фінансові обмеження, цифрову зрілість, виробничу спеціалізацію та потребу в керованій енергетичній автономності. Саме ця науково-прикладна прогалина визначає логіку подальшого дослідження, орієнтованого на обґрунтування інтегрованого підходу до архітектури системи менеджменту енергоефективності аграрних підприємств в умовах загострення ресурсного дефіциту.

Постановка завдання. Мета статті – розробити інтегрований підхід до організаційно-економічного обґрунтування менеджменту енергоефективності аграрних підприємств в умовах загострення ресурсного дефіциту, енергетичної нестабільності та необхідності підтримання виробничої безперервності в умовах нової безпекової реальності.

Завдання дослідження:

– проаналізувати динаміку енергоспоживання підприємствами аграрного сектору національної економіки, визначити критичні маркери перевитрат енергетичних ресурсів із розмежуванням на нормативний, фактичний та ризиковий рівнів споживання;

– обґрунтувати стратегічні інструменти управління енергоефективністю аграрних підприємств з урахуванням сценарних режимів їх функціонування;

– розробити перспективні інноваційні рішення з енергоменеджменту для аграрних підприємств та визначити

їхню роль у формуванні керованої (розумної) енергетичної автономності.

Результати дослідження. Питання енергоефективності в аграрному секторі економіки України у 2020–2025 рр. пройшло складну траєкторію змістової трансформації від локального, переважно точкового впровадження енергоощадних інновацій до формування енергоефективності як однієї з базових передумов операційної стійкості, ресурсної керованості та виживання аграрних підприємств в умовах воєнної економіки (Петруха & Петруха, 2023; Petrukha, 2026). Якщо в довоєнний період енергоефективність здебільшого розглядалася крізь призму зниження собівартості, модернізації обладнання та оптимізації окремих технологічних процесів, то після 2022 р. вона набула значення системної управлінської категорії, пов'язаної з безперервністю аграрного виробництва, мінімізацією втрат продукції, підтриманням технологічних режимів і зниженням залежності від нестабільного зовнішнього енергопостачання (Петруха & Петруха, 2023; Petrukha, 2026).

Енергетичний баланс України у 2020 р. характеризувався значною часткою природного газу – 27,6 % та вугілля – 26,4 % (Урядовий портал, 2020), що засвідчувало збереження високої залежності економіки від традиційних енергетичних ресурсів. Для аграрного сектору економіки така залежність має особливо чутливий характер, оскільки енергія забезпечує не окремий виробничий елемент, а цілісний технологічний контур, який охоплює процеси від обробітку ґрунту, зрошення, сушіння, охолодження, вентиляції, зберігання, транспортування до первинної переробки сільськогосподарської сировини. Одним із ключових індикаторів, який відображає зміну ресурсних і технологічних параметрів аграрного виробництва, є динаміка споживання пально-мастильних матеріалів. Так, у 2023 р. загальне споживання дизельного пального в секторі

скоротилося на 33 % порівняно з довоєнним 2021 р. і становило 972 тис. т. У 2025 р., на основі проєкції частки сектору на рівні 29 % (Біоенергетична асоціація України, n.d.), споживання оцінюється приблизно у 899 тис. т. (рис. 1). Такі показники доцільно розглядати не лише як кількісну характеристику паливного споживання, а й як маркер адаптації аграрного сектору економіки до воєнних, логістичних і цінових обмежень, викликаних російсько-українською війною.

Нарощення дефіциту електроенергії, спричинений атаками РФ на критичну інфраструктуру, прискорив впровадження автономних та гібридних енергетичних

рішень. Так, у 2023 р. обсяг закупленої електричної енергії з альтернативних джерел зріс на 27 % порівняно з першим роком повномасштабного вторгнення РФ на територію України. Водночас упродовж 2020–2021 рр. було введено в експлуатацію 68 промислових біогазових станцій, а у 2024 р. кількість таких установок зросла на 25 % і становила вже 85 одиниць. Наведена динаміка засвідчує поступове зміщення управлінської логіки аграрних підприємств від пасивного споживання енергії до формування власного або частково автономного ресурсно-енергетичного забезпечення.

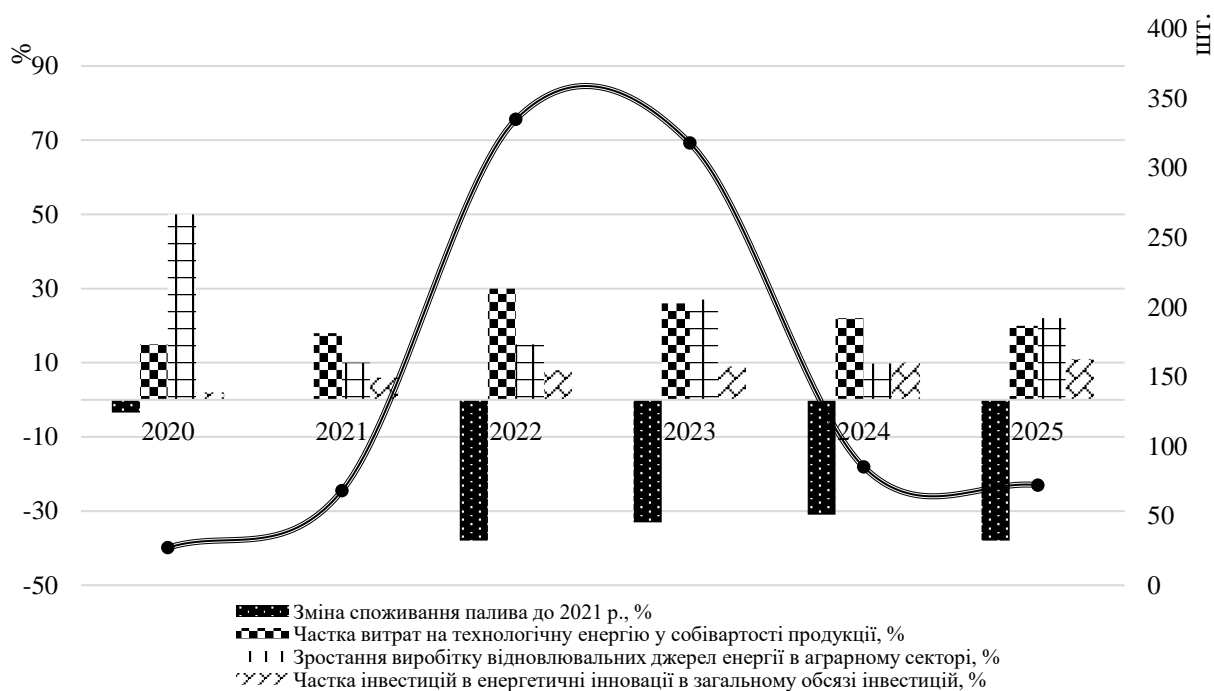


Рис. 1. Динаміка енергоспоживання та впровадження енергоефективних технологій в аграрному секторі економіки України

Джерело: побудовано авторами на основі матеріалів Bioenergy Association of Ukraine (2026), Klymenko et al. (2024) та Petrukha (2026)

У 2022 та 2023 рр. було реалізовано відповідно 335 та 318 проєктів відновлюваної енергетики, а на кінець 2025 р., за підтримки Державного фонду декарбонізації та енергоефективної трансформації, було реалізовано 72 нових енергоефективних проєкти (State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine, 2026). При цьому інвестиції в нові енергоощадні рішення у 2025 р. становили

близько 10–11 % загального обсягу інвестицій у секторі. У поєднанні з переходом до моделі точного землеробства це дозволяло аграрним підприємствам економити близько 15–20 % палива за сезон (Petrukha et al., 2024). Водночас зазначені показники потребують методично обережного трактування, оскільки характеризують не універсальний ефект для всіх аграрних підприємств, а

потенційний результат за умови поєднання технологічного оновлення, цифрового контролю, раціоналізації маршрутів техніки та дисципліни ресурсного планування.

Для аграрного сектору національної економіки характерна складна комбінація ресурсів, взаємодія яких безпосередньо визначає стабільність виробничого циклу, зокрема:

електроенергія забезпечує роботу двигунів, насосних агрегатів, холодильного обладнання, вентиляційних систем і цифрових засобів контролю;

паливо формує мобільну частину сільськогосподарського виробництва;

теплова енергія використовується у процесах сушіння, підігріву та підтримання температурних режимів;

вода забезпечує технологічну сталість зрошення, водопідготовки, охолодження та санітарно-виробничих процесів.

Тому оцінювання лише сумарних витрат не дає достатньої аналітичної глибини для управлінського рішення. Доцільним є перехід до вузлового аудиту за центрами відповідальності, який дозволяє виявити не лише обсяг перевитрат, а й місце, причину та управлінський механізм їхнього скорочення.

Енергетичний аудит у такій логіці формується як багаторівнева система. Перший рівень фіксує загальні обсяги споживання. Другий рівень деталізує їх за виробничими підрозділами,

технологічними операціями або ресурсними вузлами. Третій, аналітичний, визначає питомі витрати на одиницю продукції та зіставляє їх із нормативними, сезонними й ризиковими параметрами (Кучер, Синиця, 2025). Саме цей рівень надає аудиту управлінської цінності, оскільки переводить облік ресурсів із режиму констатації витрат у режим діагностики джерел неефективності. Індекс інтегральної ресурсної напруги визначається так (Petrukha N., 2026):

$$IRN = \frac{\alpha E_e + \beta E_f + \gamma E_t + \delta W}{Q} \times K_s \times K_r \quad (1)$$

де: E_e – витрати електроенергії, кВт·год; E_f – витрати палива, л; E_t – теплова енергія, Гкал; W – використана вода, м³; Q – обсяг продукції, т; K_s – сезонний коефіцієнт; K_r – коефіцієнт ресурсного ризику; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – вагові параметри.

Чим вищим є значення показника, тим більш напруженим є режим ресурсоспоживання аграрного підприємства. Його прикладна цінність полягає в тому, що він дозволяє оцінити не ізольований вид ресурсу, а інтегральну ресурсну напругу виробничої системи. Для технічної діагностики використовується формат деталізації, приклад якого наведено в табл. 1. Він дає змогу визначити, де саме формуються перевитрати та який тип управлінського або технічного втручання має бути першочерговим.

Таблиця 1

**Карта технічної діагностики ресурсних втрат аграрного підприємства
 (аналітичний приклад, умовні означення параметрів)**

Виробнича зона	Основний ресурс	Нормативне споживання	Фактичне споживання	Відхилення, %
Насосна станція	Електроенергія	4200	4870	15,9
Зерносушарка	Теплова енергія	18,0	22,4	24,4
Тракторний парк	Паливо	12600	14180	12,5
Холодильний склад	Електроенергія	3100	3560	14,8
Молочний блок	Вода	860	1015	18,0
Комбікормова лінія	Електроенергія	2750	3210	16,7
Логістичний вузол	Паливо	5400	6170	14,3

Джерело: складено авторами

Дані табл. 1 засвідчують, що найбільше ресурсне навантаження формується не в одному ізольованому вузлі, а в кількох технологічно пов'язаних зонах. Найвищі відхилення простежуються у зерносушарці, молочному блоці, комбікормовій лінії, насосній станції та холодильному складі. Це вказує на обмеженість точкового ремонту як способу розв'язання проблеми, оскільки локальне втручання в окремих елемент обладнання не усуває системної асиметрії між режимами споживання, виробничим графіком, якістю технічного контролю та відповідальністю підрозділів за ресурсні витрати. У рослинництві критичні зони перевитрат найчастіше виникають під час сушіння, очищення та зберігання продукції, у тваринництві вони зміщуються на вентиляцію, мікроклімат, водопідготовку й охолодження, а у транспортній ланці домінує паливна неефективність маршрутів, пов'язана з інерційними схемами руху техніки (Petrukha et al., 2025). Коефіцієнт локальної втрати енергії визначається за формулою (Petrukha et al., 2025b):

$$K_{loss} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - N_i)}{\sum_{i=1}^n N_i} \times 100 \quad (2)$$

де: R_i – фактичне споживання у вузлі i ; N_i – нормативне споживання; n – кількість вузлів контролю.

Аналітична перевага цього показника полягає в тому, що він

відображає масштаби неефективності за контрольними вузлами та дає змогу сформувати ранжований перелік першочергових управлінських дій. Водночас ефективність такого коефіцієнта залежить від частоти оновлення даних. Так, якщо дані збираються один раз на місяць, управлінське рішення фактично реагує на вже сформовану перевитрату. А якщо ж облік здійснюється щоденно або погодинно, аграрне підприємство отримує можливість оперативно змінювати режими роботи обладнання, переносити навантаження, коригувати маршрути техніки та попереджати аварійні втрати. Саме тому система smart-metering переходить із допоміжного інструменту в ядро енергетичного менеджменту (Petrukha, 2023; International Organization for Standardization, 2026).

Архітектура моніторингу включає датчики струму, лічильники води, паливні GPS-модулі, теплові витратоміри, сервер аналітики та блок КРІ. Дані збираються у регулярному або безперервному режимі, після чого формується панель відхилень. На цій основі диспетчер, керівник підрозділу та фінансовий менеджер отримують не фрагментарний набір технічних показників, а управлінську інформацію про місце, інтенсивність і динаміку ресурсних втрат. Для аналітичного управління використовуються показники, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Система КРІ енергомоніторингу аграрного підприємства
 (аналітичний приклад, умовні означення параметрів)**

КРІ показник	Одиниця виміру	Базове значення	Цільове значення	Період контролю
Енергоємність продукції	кВт·год / т	128	110	тиждень
Паливомісткість логістики	л / 100 км	29,4	24,0	день
Водомісткість процесу	м ³ / т	3,8	3,1	день
Частка нічного тарифу	%	22	40	місяць
Коефіцієнт корисної дії сушіння	%	71	82	змiana
Простої обладнання	год	19	8	тиждень
Частка аварійних перевитрат	%	11	4	місяць

Джерело: складено авторами

Група показників, наведена в таблиці 2, перетворює технічні дані на управлінські сигнали. Без такого перетворення облік ресурсів залишається набором розрізаних показників, які не формують завершеного циклу управлінського реагування. Індекс цифрової зрілості енергомоніторингу визначимо так (Petrukha et al., 2025):

$$D_m = \frac{0,25S + 0,20A + 0,20I + 0,15P + 0,20C}{100} \quad (3)$$

де: S – рівень сенсоризації; A – автоматизація збору даних; I – інтеграція систем; P – прогнозна аналітика; C – швидкість реагування.

Коли значення показника перевищує 0,75, систему можна вважати функціонально зрілою. Водночас цей поріг доцільно трактувати як авторський аналітичний орієнтир, а не як універсальний норматив. Його призначення полягає у визначенні того, наскільки аграрне підприємство здатне не лише фіксувати ресурсні відхилення, а й перетворювати інформацію про них на своєчасні управлінські рішення. Така логіка узгоджується з принципами енергетичного менеджменту ISO 50001, де енергетична результативність розглядається як об'єкт постійного поліпшення.

Частина аграрних підприємств і досі використовує кошторисний підхід минулих років, тобто за основу береться попередній період, додається інфляційний коефіцієнт, після чого формується новий бюджет. Проте в умовах ресурсного дефіциту така лінійна логіка планування втрачає достатність. Раптові обмеження електропостачання, зміна логістичних маршрутів, подорожчання дизельного пального або нестача комплектуючих здатні швидко змінити всю структуру виробничих витрат. Саме тому адаптивна енергетична стратегія має базуватися на моделі сценарного керування.

Для аграрного підприємства доцільно формувати три режими – базовий, напружений та кризовий. У базовому режимі аграрне підприємство працює за

плановим графіком і стандартними нормативами споживання. У напруженому режимі частина процесів переноситься в дешевші часові лаги, скорочуються пікові навантаження, активуються резервні джерела та посилюється контроль КРІ. У кризовому режимі пріоритет отримують процеси, що безпосередньо підтримують виробництво, збереження продукції та недопущення незворотних втрат. Індекс стратегічної готовності пропонується визначати у форматі:

$$I_{sg} = \frac{0,26R_e + 0,22D_c + 0,18S_p + 0,18F_r + 0,16L_d}{100} \quad (4)$$

де: R_e – резерв енергопотужностей; D_c – цифровий контроль ресурсів; S_p – сценарна підготовка персоналу; F_r – фінансовий резерв; L_d – диверсифікація джерел постачання.

Коли значення показника перевищує позначку 0,80, можна говорити про високий рівень готовності аграрного підприємства до ресурсних шоків. Проте і цей показник доцільно розглядати як інструмент внутрішньої управлінської діагностики, а не як формальний критерій остаточної стійкості. Для впровадження такої стратегії розробляється деталізований пакет управлінських рішень. Усі вони структуруються за функціональними блоками, як показано в табл. 3.

Другий блок стосується інвестиційного портфеля енергоощадних проєктів. У практиці аграрних підприємств нерідко домінує техніко-орієнтована логіка модернізації, коли придбання сучасного обладнання саме по собі сприймається як достатня умова підвищення енергоефективності. Проте без ранжування інвестицій за фактичним ефектом, строком окупності, впливом на виробничі ризики та рівнем технологічної автономності таке оновлення може не забезпечити системної економії. Тому інвестиції доцільно поділяти на три групи – проєкти швидкої окупності, стабілізаційні проєкти та проєкти стратегічної автономії.

Таблиця 3

Типології заходів з адаптації енергетичної стратегії аграрного підприємства до умов нової безпекової реальності

Напрямок управління	Пропозиція	Механізм реалізації	Необхідний ресурс	Очікуваний ефект
Планування навантаження	Поділ року на 3 енергетичні режими роботи	Календар сценаріїв та ліміти споживання	ERP-модуль	Зниження хаотичних витрат на 12 %
Тарифне управління	Перенесення енергоємних процесів у нічні години	Графік сушіння та зарядки техніки	Диспетчеризація	Економія витрат до 18 %
Безперервність роботи	Формування резервної генерації	Дизельні та гібридні модулі	Капітальні вкладення	Скорочення простоїв до 70 %
Логістика пального	Подвійні канали постачання ресурсів	Два постачальники та буферний запас	Оборотний капітал	Зниження ризику дефіциту
Персонал	Навчання діям у кризових режимах	Щоквартальні тренування	Навчальний фонд	Менше аварійних втрат
Дані	Щоденний контроль КРІ енерговитрат	Dashboard показників	Аналітична система	Оперативне коригування
Фінанси	Резервний фонд енерговитрат	Відрахування від EBITDA	Внутрішній бюджет	Платіжна стійкість

Джерело: складено авторами на основі Food and Agriculture Organization of the United Nations (2026) та Park et al. (2024)

До проєктів швидкої окупності слід віднести LED-модернізацію, частотні перетворювачі та автоматизацію насосного обладнання. Стабілізаційні проєкти включають утеплення складів, диспетчеризацію, теплоутилізацію та автоматизоване керування критичними технологічними процесами. Автономні рішення пов'язані із сонячними станціями, біогазом і накопичувачами енергії. Поєднання трьох груп формує збалансований портфель, у якому короткострокова економія, операційна стабільність і довгострокова автономізація не протиставляються, а взаємно підсилюють одна одну. Коефіцієнт інвестиційного пріоритету розраховується в такий спосіб (Petrenko et al., 2021):

$$K_{ip} = \frac{0,38E_c + 0,27R_s + 0,21A_t + 0,14T_o^{-1}}{1} \quad (5)$$

де: E_c – щорічна економія коштів; R_s – зменшення виробничих ризиків; A_t –

приріст технологічної автономності; T_o – строк окупності.

Чим вище значення тим вищий рівень пріоритетності фінансування проєкту. Водночас практичне ранжування інвестицій має враховувати не лише фінансовий ефект, а й критичність виробничого процесу, який підтримується відповідним енергоощадним рішенням. Практичні інвестиційні рішення наведено в табл. 4.

Сформована структура дає змогу уникнути перевантаження бюджету, оскільки частина проєктів швидкої окупності може створювати внутрішній фінансовий ресурс для подальших стабілізаційних й автономізаційних рішень. У такій моделі інвестиції в енергоефективність перестають бути одноразовими витратами на обладнання і набувають характеру послідовної траєкторії підвищення енергетичної результативності аграрного підприємства.

Портфель енергоощадних інвестицій для аграрного підприємства

Проект	Стратегічна функція	Економічний ефект	Додатковий виробничий ефект	Пріоритет впровадження
Частотні перетворювачі двигунів	Зменшення пікових навантажень	Економія електроенергії до 14 %	Зменшення зносу моторів	Високий
Автоматизація сушильного комплексу	Оптимізація режимів сушіння	Економія палива до 17 %	Краща якість зерна	Високий
LED модернізація фермерських господарств	Скорочення базового споживання технологічної енергії	Економія до 11 %	Кращі умови праці	Середній
Теплоізоляція складів	Зниження тепловтрат	Економія до 19 %	Стабільне зберігання	Високий
EMS система диспетчеризації	Централізований контроль	Скорочення втрат до 9 %	Швидкі рішення	Високий
Сонячна станція	Часткова автономія	Автономність або часткове скорочення необхідності придбання електричної енергії	Стійкість постачання	Високий або Середній
Біогазовий модуль	Переробка відходів	Новий енергоресурс	Збільшення доданої вартості абоДодатковий дохід	Середній

Джерело: складено авторами на основі джерел Chaika et al. (2020), Liu et al. (2021) та Petrukha and Petrukha (2025)

Третій блок стосується моделей енергетичного контрактування, внутрішнього бюджетування та ризик-менеджменту. Для аграрних підприємств із дефіцитом капіталу контрактинг є особливо важливим інструментом, оскільки дозволяє здійснювати модернізацію без надмірного початкового фінансового навантаження. Інвестор або ESCO-компанія встановлює обладнання, а повернення коштів здійснюється з фактично досягнутої економії коштів. Внутрішнє бюджетування доцільно переводити на центри відповідальності, тобто елеватор, ферма, транспортний відділ, насосний вузол мають отримувати окремі бюджети, нормативи й показники контролю.

Тоді керівники центрів відповідальності бачать причинно-наслідковий зв'язок між власними рішеннями, технологічною дисципліною та фактичними витратами. Якщо ж бюджет залишається спільним і недиференційованим, відповідальність за перевитрати розмивається, а дисципліна ресурсоспоживання послаблюється. З метою контролю цих параметрів доречно

використовувати коефіцієнт керованості енергетичних витрат (Петруха Н. та ін., 2026):

$$K_{ev} = \frac{0,30B_l + 0,25M_k + 0,20R_h + 0,15C_p + 0,10D_t}{100} \quad (6)$$

де: B_l – точність бюджетних лімітів; M_k – помісячні контрольні параметри; R_h – ризик-хеджування; C_p – контроль центрів відповідальності; D_t – деталізація даних.

Практичні управлінські рішення за техніко-економічними пропозиціями третього блоку представлено в табл. 5.

Практика поєднання зазначених блоків формує новий стандарт управління ресурсами аграрного підприємства. Йдеться не про разову економію, а про створення стійкої системи управлінських рішень, у якій технічна модернізація, фінансова відповідальність, цифровий контроль і сценарне планування діють як взаємопов'язані елементи. Енергетична модель сучасного аграрного підприємства має будуватися на принципі комбінування джерел.

Типології по впровадженню контрактингу, бюджетування та ризик-менеджменту енергетичних витрат на аграрних підприємствах

Інструмент	Практична пропозиція	Механізм впровадження	Наукове обґрунтування	Очікуваний результат
Енергоконтрактинг	Модернізація сушарки за ESCO-моделлю	Оплата з утвореної економії коштів	Зниження CAPEX (капітальні витрати) навантаження	Оновлення без значених капітальних витрат
Бюджетування	Ліміти енергії по центрах відповідальності	Щомісячні бюджети	Теорія центрів відповідальності	Контроль витрат
Хеджування	Форвардні закупівлі дизпалива	Контракт на сезон	Зменшення цінового ризику	Стабільна собівартість
Страховання	Страховий поліс на простій дизель генераторів	Річний договір	Компенсація операційних втрат	Скорочення фінансових втрат
Резервування	Буферний запас пального	Норматив запасів	Логістична стійкість	Безперервність робіт
Контроль КРІ	Преміювання за економію	КРІ для керівників центрів відповідальності	Поведінкова економіка	Мотивація персоналу
Аналітика	Щотижневий аудит відхилень	Комісія з енергоменеджменту	Безперервне вдосконалення	Швидке реагування

Джерело: сформовано авторами

Біогаз забезпечує базове навантаження, сонячна генерація працює переважно вдень, накопичувачі згладжують пікові коливання, а мережа використовується як балансуєчий канал. Біогазові установки є ефективними для тваринницьких комплексів і змішаних аграрних підприємств, оскільки органічні відходи перетворюються на енергію, а залишковий продукт може використовуватися як добриво.

Сонячні станції найбільш ефективні на тих аграрних підприємствах в яких денне споживання є високим і передбачуваним. Насосні станції, холодильні камери, зерноочисні лінії та сортувальні комплекси добре інтегруються з фотоелектричними системами. Для фермерських господарств середнього масштабу такі рішення вже не є лише іміджевим елементом екологічної модернізації, а можуть виконувати функцію робочого активу. Окремий напрям формують гібридні комплекси. Поєднання сонячних панелей, дизельного резерву та

аккумуляторного блоку стабілізує напругу і зменшує рівень витрат пального. В цьому контексті для практичного впровадження альтернативної генерації нами сформовано пакет технічних і економічних рішень – табл. 6.

Наведена нище таблиця показує, що різні типи аграрних підприємств потребують інваріації технологічних конфігурацій. Універсальна модель енергетичної автономізації в аграрному секторі економіки є методично обмеженою, оскільки ефективність конкретного рішення залежить від виробничої спеціалізації, сезонності навантажень, доступності біомаси, структури споживання, просторового розміщення активів і фінансової спроможності аграрного підприємства. Саме тому альтернативна генерація має розглядатися не як ізольований технологічний вибір, а як елемент адаптивної енергетичної архітектури аграрного підприємства.

Типології по впровадженню альтернативних джерел енергії на аграрних підприємствах

Технологічне рішення	Тип аграрного підприємства	Практичний механізм впровадження	Основний виробничий ефект	Додатковий економічний ефект	Пріоритет
Біогазова установка 250 кВт	Тваринницьке	Використання гною та силосних залишків	Власна генерація тепла і струму	Скорочення закупівель енергії	Високий
Сонячна станція 300 кВт	Зернове	Монтаж на дахах складів	Покриття денного навантаження	Скорочення витрат на електроенергію	Високий
Гібридний інвертор	Овоче	Контейнерна система живлення	Безперервність охолодження	Зниження витрат продукції	Високий
Котел на біомасі	Змішане	Спалювання соломи та лушпиння	Автономне тепло	Заміщення газу або скорочення його закупівлі	Середній
Мікровітрова турбіна	Степове	Робота в зонах постійного вітру	Додаткова генерація	Зменшення пікових витрат	Середній
Біометановий блок	Велике господарство	Очищення біогазу до біометану	Паливо для техніки	Економія дизельного пального	Середній
Сонячні насоси зрошення	Поливне	Автономні насосні станції	Стабільне водопостачання	Скорочення витрат полива	Високий
Теплові насоси	Плодове	Підтримка температурного режиму	Стабільне зберігання	Скорочення енергетичних витрат	Середній

Джерело: складено авторами на основі Кабінету Міністрів України (2024a, 2024b)

Другий великий блок інновацій пов'язаний із цифровим управлінням споживанням ресурсів. Якщо аграрне підприємство генерує енергію, але не керує навантаженням, частина потенційного ефекту втрачається. Саме тому інструменти точного землеробства (precision agriculture) та рішення у сфері Інтернету речей (Industrial IoT та/або Smart Farming) стають логічним продовженням альтернативної генерації. Вони дозволяють синхронізувати виробниче навантаження з доступністю електроенергії, води, палива, теплових ресурсів і тарифних часових інтервалів.

Сенсорні системи вологості ґрунту дозволяють запускати полив лише за фактичної потреби, а не за календарною інерцією. Це скорочує витрати води, електроенергії та кількість залучених трудових ресурсів. У аграрних підприємствах із великими площами економічний результат накопичується швидше завдяки масштабному ефекту оптимізації. Автоматизоване керування вентиляцією у тваринницьких комплексах

також має виразний ресурсний ефект. Ручний режим зазвичай працює із запасом, тоді як система регулює потужність відповідно до температури, вологості та концентрації газів. На цій основі споживання знижується без втрати якості мікроклімату. Холодильне обладнання для овочів, фруктів і молочної продукції доцільно переводити на інтелектуальні режими. Пікове охолодження виконується у дешевші години, після чого система переходить у режим підтримання температури (Мельник & Цимбал, 2022).

Особливого значення набуває диспетчеризація насосних станцій. Насоси споживають значні обсяги електроенергії, однак часто працюють без достатнього налаштування на фактичну потребу у водопостачанні, тиску у системі та тарифного режиму. Встановлення частотного регулювання та дистанційного контролю дає швидкий прикладний результат за рахунок чого скорочуються перевитрати, зменшується зношуваність обладнання та підвищується точність

управління водними ресурсами. Комплекс відповідних рішень структурується за

функціональними напрямками, які наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Інноваційні рішення у сфері цифровізації системи управління енергоспоживанням аграрного підприємства

Вектор цифровізації	Інноваційне рішення	Практичний спосіб реалізації	Очікуваний ресурсний ефект	Управлінський результат	Горизонт впровадження
Зрошення	IoT-датчики вологості	Автозапуск поливу за нормою	Скорочення витрат води та електроенергії	Точний контроль поливу	Короткий
Насосні вузли	Частотне керування	Регулювання обертів двигуна	Економія електроенергії	Скорочення зносу обладнання	Короткий
Тваринництво	SMART-вентиляція	Сенсори температури і CO ₂	Скорочення споживання електроенергії	Стабільний мікроклімат	Короткий
Холодильники	Інтелектуальний режим холоду	Нічне накопичення холоду	Зниження тарифних витрат	Прогнозовані витрати	Середній
Зерносушіння	Автокерування температурою	Регулятори пальників	Скорочення споживання палива	Вища якість зерна	Короткий
Логістика	GPS-контроль маршрутів	Аналіз роботи сільгосп-техніки	Економія дизельного пального	Прозорість використання сільгосп-техніки	Короткий
Енергоменеджмент	Дашборд KPI	Єдина панель індикаторів	Скорочення прихованих втрат	Швидкі управлінські рішення	Короткий
Складське господарство	Smart-освітлення	Датчики руху і зональність	Скорочення базового навантаження	Контроль режимів	Короткий

Джерело: сформовано авторами

Оцінка економічного ефекту інновацій повинна виходити за межі прямої економії кіловат-годин, літрів пального чи гікалорій теплової енергії. У сучасних умовах найбільш значущий результат часто утворюється через зниження браку, скорочення простоїв, збереження якості продукції, зменшення потреби в аварійних ремонтах і підтримки технологічної безперервності, зокрема за центрами відповідальності:

сільгоспвиробництво, автономність означає здатність завершити критичний виробничий цикл без зовнішнього втручання або за умов істотного обмеження зовнішнього енергопостачання;

елеватор – можливість сушіння та вентилявання під час мережевих обмежень;

молочний комплекс – безперервність охолодження та підтримання санітарно-технологічних режимів;

зрошення – здатність виконати критичні операції поливу без втрати врожайності.

Висновки. В умовах загострення ресурсного дефіциту та енергетичної нестабільності енергоефективність аграрного підприємства виходить за межі суто технічного завдання і постає як складова управлінської спроможності антикризового регулювання його діяльності. Від цієї регуляції залежать безперервність виробництва, контрольованість витрат, збереження якості продукції та здатність виробничої системи витримувати зовнішні енергетичні й ресурсні шоки, продукуючи продовольство в достатній кількості.

Емпіричний контекст 2020–2025 рр. підтверджує посилення цієї залежності – національний енергетичний баланс залишався істотно зорієнтованим на традиційні ресурси, тоді як аграрний сектор економіки поступово зміщував управлінські пріоритети в бік енергоощадних, автономних і гібридних рішень, які за період російсько-української війни набули бурхливого розвитку. Однак, воєнна економіка також показала, що основні резерви підвищення енергоефективності зосереджуються не в механічному оновленні окремих одиниць обладнання, а в узгодженні технічних, організаційних і цифрових інструментів управління ресурсами. Йдеться про багаторівневий енергетичний аудит, вузлову діагностику ресурсних втрат, КРІ-моніторинг, утворення центрів відповідальності та цифровий контроль споживання енергії. Найбільш чутливими до управлінського втручання залишаються процеси сушіння, насосного забезпечення, зберігання, охолодження, вентиляції та транспортної логістики, оскільки саме в цих зонах поєднуються прямі енергетичні витрати, ризики простоїв, втрати продукції та «тиск» на масу собівартості продовольства.

Адаптивна стратегія енергоменеджменту доцільна саме тому, що ресурсні обмеження в аграрному виробництві мають нерівномірний, сезонний і часто кризовий характер. Диференціація управлінських рішень за базовим, напруженим і кризовим режимами функціонування дає змогу заздалегідь визначати допустимі навантаження, резерви, фінансові ліміти та черговість підтримання критичних виробничих процесів. Скорочення споживання дизельного пального у 2023 р. на 33 % порівняно з 2021 р. та його орієнтовна проєкція на рівні близько 899 тис. т у 2025 р. засвідчують, що ресурсна адаптація аграрного сектору економіки вже не є

ситуативною реакцією, а набуває ознак структурної перебудови виробничої поведінки аграрних підприємств.

Інвестиції в енергоефективність мають оцінюватися не за зовнішньою технологічною новизною, а за реальним внеском у зниження собівартості, зміцнення операційної стійкості та формування керованої автономності аграрного виробництва. Найбільш результативними є рішення, які поєднують швидкий економічний ефект із підтриманням критичних технологічних циклів за рахунок використання частотного регулювання, автоматизації сушіння, теплоізоляції, цифрової диспетчеризації, контролю навантаження, оптимізації маршрутів і локальної генерації. Водночас їхній ефект не виникає автоматично після придбання обладнання, він розкривається лише за умови включення таких рішень до єдиної системи бюджетування, ризик-менеджменту та відповідальності підрозділів аграрного підприємства за ресурсні витрати. Відтак, перспективна модель енергозабезпечення аграрного підприємства має ґрунтуватися не на декларативній ідеї повної енергетичної незалежності, а на практично досяжній керованій автономності. Її основою є раціональне поєднання біогазових комплексів, сонячної генерації, гібридних систем, накопичувачів енергії та цифрового управління навантаженням. Динаміка впровадження таких рішень підтверджує поступове зміцнення цього напрямку – кількість промислових біогазових станцій зросла із 68 од. у 2020–2021 рр. до 85 од. у 2024 р., а за підтримки Державного фонду декарбонізації та енергоефективної трансформації було реалізовано ще 72 енергоефективні проєкти. У сукупності ці зміни вказують на поступовий перехід аграрного сектору національної економіки від логіки енергетичної залежності до моделі більш диверсифікованого, ощадного й керованого енергозабезпечення.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б тлумачити як потенційний

конфлікт інтересів, окрім випадків, коли це окремо зазначено в рукописі.

Фінансування. Автори заявляють, що публікація цієї статті була профінансована авторами. Заява з етики. Усі процедури, виконані в цьому дослідженні, відповідали інституційним та міжнародним етичним стандартам.

Заява про генеративний штучний інтелект. Автори заявляють, що генеративний штучний інтелект не використовувався під час підготовки цього рукопису, якщо інше прямо не зазначено в рукописі.

Внесок авторів. Усі автори зробили однаковий внесок у розробку концепції дослідження, написання тексту та затвердження остаточної версії рукопису.

Література:

1. Andriyiv, N., Zachepa, A., Petrukha, N., Shevchuk, I., & Berest, I. (2021). Informational aspects of changing the labor market of the EU and Ukraine through COVID-19. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21(12), 657–663. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.12.90>
2. Azhaman, I. A., Khabib, A., Pushchina, N. V., & Melnychuk, O. I. (2023). Svitovyi dosvid rozvytku systemy enerhetychnoho menedzhmentu ta perspektyvy yoho vprovadzhennia v Ukraini [Global experience in the development of energy management systems and prospects for their implementation in Ukraine]. *Zhurnal stratehichnykh ekonomichnykh doslidzhen*, 1(12), 73–81. <https://doi.org/10.30857/2786-5398.2023.1.8>
3. Bader, C., Groß, E., Stumpfenhausen, J., Egger, T., Hartl, L., & Bernhardt, H. (2025). Regionalized acceptance analysis of an agricultural energy management system in Germany. *Frontiers in Energy Research*, 13, Article 1553906. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1553906>
4. Bioenergy Association of Ukraine. (2026). *Neprybutkova hromadska spilka "Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy" [Non-profit public union "Bioenergy Association of Ukraine"]*. <https://uabio.org/>
5. Bulava, S. (2026). Diahnostyka ta otsinka tekhniko-tekhnologichnoho potentsialu ahrarynoho sektoru Ukrainy v umovakh voiennykh vyklykiv ta povoiennoho vidnovlennia [Diagnostics and assessment of the technical and technological potential of Ukraine's agricultural sector under wartime challenges and post-war recovery]. *Development Service Industry Management*, 1, 298–304. [https://doi.org/10.31891/dsim-2026-13\(40\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2026-13(40))
6. Chowdhury, A. K. (2025). Smart renewable energy integration for precision agriculture in off-grid areas. *Applied Agriculture Sciences*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.25163/agriculture.3110286>
7. Du, Q., Du, R., & Sun, Z. (2025). Optimizing energy efficiency in agriculture: Risk mitigation strategies for successful energy performance contracting. *IEEE Access*, 13, 183787–183805. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3623901>
8. European Commission. (2024). *Energy Efficiency Directive*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en
9. Fedirets, O. V., & Damaskin, V. S. (2025). Stratehichne upravlinnia konkurentospromozhnym rozvytkom ahrarynykh pidpriemstv v konteksti yevrointehratsii ta Yevropeiskoho zelenoho kursu [Strategic management of the competitive development of agricultural enterprises in the context of European integration and the European Green Deal]. *Aktualni problemy ekonomiky*, 4(286), 183–195. https://ecoscience.net/wp-content/uploads/2025/04/4.25._topic_Oleg-Fedirets-Viktor-Damaskin-183-195.pdf
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Energy-smart food at FAO: An overview*. <https://www.fao.org/4/an913e/an913e00.htm>
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Energy-smart food for people and climate*. <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf>
12. Gorokhova, T., Firstenko, O., Chopyk, Y., Voitsitska, K., & Petrukha, N. (2024). Strategies for Ukraine's post-war economic recovery within the framework of sustainable development goals. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, 5(1), Article e03350. <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n01.pe03350>
13. International Energy Agency. (2024). *Energy efficiency 2024*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024>
14. International Organization for Standardization. (n.d.). *ISO 50001: Energy management systems*. <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>
15. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2024a). *Pro skhvalennia Natsionalnoho planu z enerhetyky ta klimatu na period do 2030 roku [On approval of the National Energy and Climate Plan for the period up to 2030]: Rozporiadzhennia vid 25.06.2024 № 587-r*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/587-2024-p#Text>
16. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2024b). *Pro skhvalennia Stratehii rozvytku silskoho hospodarstva ta silskykh terytorii v Ukraini na period do 2030 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2025–2027 rokakh [On approval of the Strategy for the development of agriculture and rural areas in Ukraine for the period up to 2030 and approval of the operational action plan for its implementation in 2025–2027]: Rozporiadzhennia vid 15.11.2024 №*

- 1163-r. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-p#Text>
17. Klymenko, K., Petrukha, N., & Petrukha, S. (2024). "Green" Marshall Plan for Ukraine: Financial, economic and regulatory context. *RFI Scientific Papers*, 1(106), 20–49. <https://doi.org/10.33763/npndfi2024.01.020>
18. Kucher, A. V., & Synytsia, O. S. (2025). *Ekonomika y stale upravlinnia enerhetychnymy resursamy v ahrarnii sferi [Economics and sustainable management of energy resources in the agricultural sector]*. Academic Publishing House "Talent".
19. Kyshakevych, B., Melnyk, O., Maksyshko, N., Maturin, Y., & Kotyk, Y. (2025). Systemic issues and efficiency reserves in EU agriculture: A slack-based DEA approach. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 11(1), 46–73. <https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.02>
20. Liu, J., Wang, H., Rahman, S., & Sriboonchitta, S. (2021). Energy efficiency, energy conservation and determinants in the agricultural sector in emerging economies. *Agriculture*, 11(8), Article 773. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080773>
21. Makedon, V., Karpenko, L., Petko, S., Bondarenko, S., & Ryzhova, V. (2024). Economic efficiency and environmental benefits of the development of renewable energy sources. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*, 32(2), 239–257. <https://novapublishers.com/shop/economic-efficiency-and-environmental-benefits-of-the-development-of-renewable-energy-sources/>
22. Makedon, V., Politykin, M., Hromyak, S., Novosad, I., & Doronina, I. (2025). The role of renewable energy in advancing SDG 7: Ensuring clean and affordable energy. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 8(2), 485–505. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080223>
23. Melnyk, V. I., & Tsybal, B. M. (2022). Analiz problem pidvyshchennia enerhoefektyvnosti ahrarnoho vyrobnytstva [Analysis of problems of improving the energy efficiency of agricultural production]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, 1(23), 99–114. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6823538>
24. Melnykov, O. V., Petrukha, S. V., & Petrukha, N. M. (2021). Ekonomichne vidnovlennia silskykh terytorii: spivvidnoshennia fundamentalnogo ta prykladnogo aspektiv naukovoho doslidzhennia [Economic recovery of rural areas: The relationship between fundamental and applied aspects of scientific research]. *Vcheni zapysky Universytetu "KROK"*, 1(61), 176–193. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2021-61-176-193>
25. Onikiienko, N. V., Petrukha, N. M., & Ryzhakova, H. M. (2023). Naukovo-prykladni komponenty polikryterialnoi systemy otsinky innovatsiinoho rozvytku pidpriemstv: imperatyvy vzaiemodii intehrovanykh struktur [Scientific and applied components of a multicriteria system for assessing the innovative development of enterprises: Imperatives of interaction between integrated structures]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 52(1), 261–273. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(1\).261-273](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(1).261-273)
26. Park, J., Yang, W., Jung, S., Lee, H., Hong, J., Lee, Y., & Kim, S. (2024). Assessment of energy self-sufficiency of a smart farm through integrated modeling of air-source heat pumps and solar power generation. *Applied Energy*, 367(1), Article 123398. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123398>
27. Petrukha, N. (2023). Povoienne vidnovlennia ahrarnoho sektoru ekonomiky na zasadakh bioekonomiky [Post-war recovery of the agricultural sector of the economy based on bioeconomy principles]. *Ekonomichnyi analiz*, 33(4), 49–58. <https://doi.org/10.35774/econa2023.04.049>
28. Petrukha, N. (2026). *Investment support reconfiguration and resilience formation of agri-enterprises within the bioeconomic paradigm of the new security reality: Methodology, diagnostics, modelling*. Akademperiodyka.
29. Petrukha, N., Petrukha, S., Burkovskiy, O., & Burkovskiy, Y. (2025). Digitalization of development project management systems: Post-war triggers. *Actual Problems of Economics*, 3(285), 367–383. <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2025-1-285-367-383>
30. Petrukha, N., Petrukha, S., Shapovalov, O., & Iavorskyi, V. (2025). Agricultural engineering: Stagnation or bioeconomic ontogenesis. *Agrosvit*, 10, 133–144. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.10.133>
31. Petrukha, N. M., & Petrukha, S. V. (2020). *Derzhavne rehuliuвання intehrovanykh korporatyvnykh obiednan v umovakh strukturalno-institutsionalnoi ta funktsionalnoi transformatsii silskoi ekonomiky: problemy metodolohii, teorii, sotsialno-ekonomichnoi ta sektoralnoi polityky [State regulation of integrated corporate associations under conditions of structural-institutional and functional transformation of the rural economy: Problems of methodology, theory, socio-economic and sectoral policy]*. TOV "Vydavnychiy dim "Profesional".
32. Petrukha, N. M., & Rybitskyi, O. L. (2024). Konkurentsiiia na rynku ahrotekhnolohii: analiz kluchovykh hravtsiv ta rynkovykh stratehii [Competition in the agrotechnology market: Analysis of key players and market strategies]. *Akademichni vizii*, 30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12579192>
33. Petrukha, N. M., Mykytchenko, B. A., Hrohol, V. Ya., Movchan, M. M., & Shcherbak, I. V. (2025). Modeli adaptivnogo upravlinnia v umovakh zminy ekonomichnykh umov na rynku nerukhomosti [Models of adaptive management under changing economic conditions in the real estate market]. *Budivnele vyrobnytstvo*, 81, 78–88. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.78-88>
34. Petrukha, N. M., Petrukha, S. V., Umanets, Y. M., & Rybitskyi, O. L. (2025). The bioeconomic basis of post-war recovery of rural economy. *Business Inform*, 3, 97–110. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2025-3-97-110>
35. Petrukha, N. M., Petrukha, S. V., Yavorskyi, V. V., & Ushchenko, P. H. (2026). Ekonomichne vidnovlennia v paradyhmi bioekonomiky: dokonfliktne

- metodolohichne nadbannia ta uroky voiennoi ekonomiky [Economic recovery in the bioeconomy paradigm: Pre-conflict methodological achievements and lessons of the war economy]. In V. Yu. Medvid, D. V. Diachkov, O. A. Halych, O. V. Kalinichenko, & V. S. Lesiuk (Eds.), *Vplyv voiennoho stanu ta polityka povoiennoho vidnovlennia Ukrainy: natsionalni stratehii, rehionalna bezpeka ta stiikist hromad [The impact of martial law and the policy of post-war recovery of Ukraine: National strategies, regional security and community resilience]* (pp. 185–214). Poltava.
36. Petrukha, S., Klymenko, K., & Petrukha, N. (2024). Rural economy and public finances: The effects of mutual reconstruction. *Finance of Ukraine*, 9, 77–98. <https://doi.org/10.33763/finukr2024.09.077>
37. Petrukha, S., Petrukha, N., Alekseienco, N., Mazur, A., & Maltsev, M. (2022). The post-war potential and regulatory capacity of rural territorial communities in the clustering and integrating agri-food chains of local added value creation. In *Modern foundations of economics, management and tourism* (pp. 96–126). International Science Group, Primedia eLaunch. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.ECON.4.3.1>
38. Petrukha, S. V., & Petrukha, N. M. (2023). Ahrarnyi sektor ekonomiky: viziia finansovoho kontekstu dosiahnennia Tsilei staloho rozvytku [Agricultural sector of the economy: A vision of the financial context of achieving the Sustainable Development Goals]. *Oblik i finansy*, 4, 143–155. [https://doi.org/10.33146/2307-9878-2023-4\(102\)-143-155](https://doi.org/10.33146/2307-9878-2023-4(102)-143-155)
39. Ryzhakova, G., Petrukha, S., Petrukha, N., Krupelnyska, O., & Hudenko, O. (2022). Agro-food value added chains: Methodology, technique and architecture. *Financial and Credit Activity: Problems of Theory and Practice*, 4(45), 385–395. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.4.45.2022.3809>
40. Semchuk, I., Mishchenko, V., Petrukha, N., Strochenko, N., & Kapelista, I. (2025). Agricultural practices' impact on achieving the sustainable development goal: Eliminating world hunger. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 8(1), 737–758. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080131>
41. Shubalyi, O. M., Petrukha, S. V., Kosynskyi, P. M., & Petrukha, N. M. (2023a). Finansovo-ekonomichne stymulivannia rozvytku pererobnoi promyslovosti na osnovi pryrodno-resursnoho potentsialu rehioniv u povoiennyi period [Financial and economic stimulation of processing industry development based on the natural resource potential of regions in the post-war period]. *Finansy Ukrainy*, 3, 55–74. <https://doi.org/10.33763/finukr2023.03.055>
42. Shubalyi, O. M., Petrukha, S. V., Kosynskyi, P. M., & Petrukha, N. M. (2023b). Formuvannia systemy informatsiino-analitychnoho zabezpechennia rozvytku biopalyvnykh vyrobnytstv na bazi pidpriemstv ahroektoru [Formation of a system of information and analytical support for the development of biofuel production based on agricultural sector enterprises]. *Naukovi pratsi NDFI*, 3, 133–147. <https://doi.org/10.33763/npndfi2023.03.133>
43. Shtuler, I., Sylenko, M., Kravchuk, P., Petrukha, N., Petrukha, S., & Ivantsov, S. (2025). Digital tools for managing regional socio-economic inequalities in Ukraine in the face of long-term external threats. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(36S), 138–147. <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i41s.7780>
44. Sokolovska, O., Dziurakh, Y., Kristinyak, M., Petrukha, N., & Nazaruk, M. (2022). The impact of military actions on food and labor security. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(6), 582–588. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.6.72>
45. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. (2025). *Publicly reported: 72 energy efficiency projects implemented using the resources of the State Decarbonization and Energy Efficiency Transformation Fund*. <https://sae.gov.ua/en/news/publicly-reported-72-energy-efficiency-projects-implemented-using-the-resources-of-the-state-decarbonization-and-energy-efficiency-transformation-fund>
46. Tkachenko, I., Petrukha, N., Petrukha, S., & Kutsovskyi, O. (2024). Retrospection and modern “face” of public debt management mechanisms and tools. *RFI Scientific Papers*, 2(107), 34–49. <https://doi.org/10.33763/npndfi2024.02.034>
47. Tsykunov, V. V. (2025). Enerhetychna bezpeka silskoho gospodarstva: innovatsii ta stratehichne planuvannia [Energy security of agriculture: Innovation and strategic planning]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 71. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-56>
48. United Nations Economic Commission for Europe. (2023). *Designing a carbon neutral energy system of Ukraine: Increasing the uptake of biofuels and biomass in Ukraine*. https://unece.org/sites/default/files/2023-06/UNECE_RES_Bio_Report_UA_Final.pdf
49. Uriadovyi portal. (2020). *Onovleno Prohnoznyi enerhetychnyi balans Ukrainy [The forecast energy balance of Ukraine has been updated]*. <https://www.kmu.gov.ua/news/onovleno-prohnoznij-energetichnij-balans-ukrayini>
50. Vysochanska, M. Ya., & Hurin, O. H. (2025). Destruktyvni chynnyky ta pereshkody u protsesakh strukturyzatsii y formuvannia mekhanizmu enerhoefektyvnosti ahroektoru [Destructive factors and obstacles in the processes of structuring and forming the energy efficiency mechanism of the agricultural sector]. *Ahroekolohichnyi zhurnal*, 3, 41–50. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340777>