

УДК 330.341.1:631.11(477)

DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.215.44-53>**Нагорний В.В.**

кандидат економічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Nahornyi Vitalii

PhD in Economic Sc.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-5551-4779>**Байдала В.В.**

доктор економічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Baidala Viktoriia

Dr. of Economic Sc.

National University of life and environmental sciences of Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-1532-2913>**Опанасенко А.О.**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Opanasenko Andrii

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

<https://orcid.org/0009-0002-4583-2006>

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

Метою даної статті є подолання методологічного розриву між статичними галузевими та фінансовими підходами до оцінки аграрних інновацій через розробку динамічної багатокрокової моделі, що гарантує системну інтеграцію еколого-технологічних змінних стану аграрних підприємств та управлінських рішень оптимізації економічної ефективності інноваційного розвитку. За результатами дослідження обґрунтовано необхідність відходу від статичних та суто фінансових підходів оцінювання ефективності інновацій в аграрному секторі України. Доведено, що вони штучно нівелюють еколого-технологічну специфіку та часові лаги агровиробництва. Наукова новизна окресленого дослідження полягає в тому, що запропонований підхід дозволяє в реальному часі оцінювати, як інноваційне рішення або їх комплекс трансформується у конкретні фізичні показники та впливають на ефективність інноваційного розвитку. У цьому контексті перспективи подальших досліджень полягають у практичній апробації пропонованого підходу на емпіричних даних конкретних аграрних підприємств України задля оптимізації їхніх довгострокових інвестиційних стратегій.

Ключові слова: економічна ефективність; інноваційний розвиток; інноваційний потенціал; стратегія розвитку; аграрні підприємства; конкурентоспроможність; стратегія розвитку.

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES OF UKRAINE

This article aims to bridge the methodological gap between static sectoral and financial approaches to assessing agricultural innovations. It proposes a dynamic, multi-step model that integrates environmental, technological, and managerial variables to optimize the economic efficiency of innovative development in agricultural enterprises. Empirical findings substantiate the necessity of moving away from static, purely financial approaches to evaluating innovation efficiency in Ukraine's agricultural sector. It has been proven that such approaches artificially obscure the ecological and technological complexities as well as the time lags inherent in agricultural production. A systematic review of extant methodological frameworks revealed their systemic shortcomings—static framework, ignoring time lags, mathematical vulnerability, or an excessive narrowing of the assessment scope (to the financial aspect), which, through the use of rigid discount rates, artificially undervalues long-term ecological effects. Evidence demonstrates that conventional investment analysis overlooks the impact of specific agro-ecological outputs. The study introduces and mathematically validates the framework of a dynamic multi-stage model for assessing the efficiency of agricultural innovations through dynamic programming tools. Unlike the artificial index-based pooling of disparate data, this approach naturally integrates diverse variables through three interconnected modules: (i) a technological and ecological block describing the physical state of

ISSN друкованої версії: 2224-6282

ISSN електронної версії: 2224-6290

© Нагорний В.В., Байдала В.В., Опанасенко А.О., 2026

the enterprise via a vector of real indicators; (ii) a management block determining the effectiveness of each available decision; and (iii) a financial integrator maximizing the expected integral profit over a multi-step period, taking into account the inherent risk. It is stated that the proposed approach enables real-time evaluation of how an innovative decision, or a complex thereof, translates into specific physical indicators and affects the efficiency of innovative development. Accordingly, prospects for further research lie in the practical testing of the proposed approach using empirical data from specific Ukrainian agricultural enterprises to optimize their long-term investment strategies.

Keywords: economic efficiency; innovative development; innovative potential; development strategy; agricultural enterprises; competitiveness.

JEL classification: Q16, O32, C61, Q12.

Постановка проблеми. За даними аналітичного огляду Crowe Ertfolg Ukraine, яка надає послуги по широкому спектру питань і практик, враховуючи специфіку і особливі потреби бізнесу аграрний сектор України є одним із драйверів розвитку національної економіки України, оскільки забезпечує значну частку валового внутрішнього продукту (ВВП) і експортних надходжень [1; 4]. Зокрема, за даними огляду аграрного сектору України з акцентом на внесок домогосподарств населення станом на 2025 р. на цей сектор припадає близько 17% ВВП та приблизно 50% всіх валютних надходжень. Крім того аграрні підприємства України наразі ефективно інтегрувалися у світову продовольчу систему і їх сільськогосподарська продукція експортується до понад 150 країн світу [4].

Проте сучасні реалії існування таких підприємств супроводжуються не лише геополітичними потрясіннями, руйнуванням логістичних ланцюгів, дефіцитом ресурсів, кліматичними змінами, які ускладнюють забезпечення їхньої економічної стійкості та конкурентоспроможності. За даними Державної служби статистики, на початок 2022 року нараховувалося близько 90 тис. суб'єктів господарювання різних організаційно-правових форм та майже 4 млн особистих селянських господарств (ОСГ) [4]. У той же час на 1 січня 2025 року, було зареєстровано 78,3 тис. од. таких суб'єктів. Кількість ОСГ майже не змінилась [4]. Базовим тригером окресленого скорочення на нашу думку є те, що екстенсивні методи господарювання дедалі меншою мірою забезпечують підвищення продуктивності та конкурентоспроможності аграрних підприємств. Інтенсивні методи господарювання є більш ефективними з точки зору забезпечення життєздатності, відновлення та посилення довгострокової конкурентоспроможності агросектору, однак вони залежать від упровадження ефективних інновацій та переходу від сировинного до інноваційного розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Концептуальна проблематика інноваційного розвитку підприємств аграрного сектору та його ролі у забезпеченні їх конкурентоспроможності та адаптивності до дії глобальних викликів наразі у центрі уваги науковців. Так, значна частка дослідників (зокрема, зокрема, О. В. Большая та О. С. Біліченко [2], Я. І. Костецкий [4], Л. Баргна, Д. Ла Торре, Р. Маджістро, Б. Монмартен [14]) приділяють істотну увагу змісту структурно-технологічних трансформацій аграрного виробництва, що відбуваються в межах нової (інноваційної) парадигми розвитку аграрного сектору.

У контексті практичної проблематики інноваційної діяльності вагоме значення мають прикладні

дослідження технологічних змін. Зокрема В. Івченко та С. Павленко [4] та А. Стоянової [7] підтверджують, що еколого-технологічні інновації відчутно знижують витрати праці, оптимізують використання водних і земельних ресурсів, мінімізують втрат урожаю. Натомість О. Стеценко [6] звертає увагу на те, що впровадження еколого-технологічних інновацій не завжди забезпечує очікувані результати і замість очікуваного підвищення прибутків та ефективності діяльності, аграрні підприємства подекуди зазнають збитків. Серед прикладів економії на боротьбі з плужною підшоною до \$12 на га, що призвела до втрат у врожайності до 1,2 т з га [13].

Попри наявність підходів до оцінювання ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств [9; 3; 8], залишається невирішеною проблема комплексного оцінювання результативності впровадження інноваційних технологій з урахуванням їх одночасних економічних та екологічних ефектів. Фактично наявні методичні підходи не забезпечують керівників аграрних підприємств достатнім інструментарієм для обґрунтування вибору інноваційних рішень і розподілу обмежених ресурсів в умовах невизначеності.

Метою статті є подолання методологічного розриву між статичними галузевими та фінансовими підходами до оцінки аграрних інновацій через розробки динамічної багатокрокової моделі, що гарантує системну інтеграцію еколого-технологічних змінних стану аграрних підприємств та управлінських рішень оптимізації економічної ефективності інноваційного розвитку.

Методи дослідження. Для досягнення дослідницької мети застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження. Зокрема, методи класичного узагальнення (абстрагування та теоретичного узагальнення) використані для формування концептуального базису дослідження; для окреслення змісту інноваційного розвитку аграрних підприємств; для виділення ключових особливостей категорії «ефективність інновацій»; методи критичного та наукового аналізу, а також класичного групування — для дослідження вітчизняних методичних підходів до оцінки інновацій та окреслення їхніх недоліків; метод математичного моделювання та системного аналізу — для побудови архітектури моделі оцінки економічної ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств; методи оптимального управління (зокрема, рівняння Белмана) використано для визначення математичного ядра моделі (для забезпечення покрововості процесу відбиття змін в ефективності, враховування часового

лагу та траєкторію інноваційного розвитку аграрного підприємства).

Виклад основних результатів дослідження. У межах окресленого дослідження інноваційний розвиток аграрних підприємств України розгорнуто як критично важливий процес, що забезпечує посилення конкурентоспроможності, екологічної безпеки та адаптації основної діяльності таких суб'єктів до глобальних змін. Більшість присвячених такому розвитку наукових праць розглядають його як еволюційний. До прикладу, Большая О. В. та Біліченко О. С. зазначають, що у межах цього процесу менеджери активно шукають способи повнішого задоволення ринкових потреб, підвищення якості продукції та покращення кваліфікації і продуктивності діяльності працівників [2], а Костецкий Я. І. вказує на те, що у межах цього процесу відбуваються трансформації аграрного виробництва [7].

Тобто можна стверджувати, що в основі інноваційного розвитку аграрних підприємств завжди їхня інноваційна діяльність. Саме розроблення, освоєння та впровадження інновацій — від точного землеробства, використання безпілотних рішень і штучного інтелекту для моніторингу посівів до впровадження біотехнологій й енергоефективних рішень — забезпечують оновлення технологічних, виробничих, організаційних, управлінських і ринкових аспектів функціонування аграрних підприємств. Наприклад, використання технологій точного землеробства (таких як GPS / GNSS, робототехніка, зрошення) оптимізує використання земельних, водних ресурсів, застосування безпілотних літальних апаратів — підвищує якість моніторингу стану посівів, а впровадження штучного інтелекту та LPWAN, як варіанту для обміну даними — удосконалює прогнозування врожайності та прийняття управлінських рішень.

Разом з тим, зауважимо, що окреслені інновації —

не безкоштовне благо, а дорогі та ризиковані інвестиції, що є фундаментальною економічною складовою самої інноваційної діяльності. Пріоритетом є ефективність таких інновацій, яка за доступними експертними матеріалами демонструє значну залежність від напруги впровадження. Зокрема за [7]:

(i) автоматизація виробничих процесів і впровадження роботизованих систем на полях дозволяє зменшити витрати на працю на 40% і збільшити врожайність до 25%;

(ii) використання цифрових рішень точного землеробства дозволяє підвищити продуктивність полів на 20-30% і знизити витрати на добрива та воду на 40%;

(iii) використання біотехнологій, а також генетичної модифікації рослин (мова йде про нові сорти і стійкі культури) дозволяє мінімізувати втрати врожаю до 50% (особливо у регіонах, що страждають від посух і шкідників, насамперед у південних та південно-східних областях України, зокрема Одеській, Миколаївській, Херсонській, Запорізькій, частково Дніпропетровській й Кіровоградській.).

Враховуючи, що ефективність кожної технології (під якою розуміють здатність приносити чітко вимірюваний корисний результат) є глибоко індивідуальною - її міра залежить від природно-кліматичних і ресурсних умов, а об'єктивна оцінка має врахувати фокус на сталий розвиток або загальну специфіку діяльності підприємства. Так, якщо впровадження систем крапельного зрошення чи посухостійких гібридів кукурудзи матиме максимальну окупність у посушливих південних регіонах, то для господарств, що діють у регіонах із достатнім рівнем зволоження ці ж технології не матимуть економічної доцільності. Це очевидно також за кейсами успішних інноваційних практик аграрних підприємств України (табл. 1).

Таблиця 1

Економічна ефективність та особливості впровадження інноваційних технологій в аграрному секторі України

Інновація	Особливості інноваційного розвитку аграрних підприємств України	Дані, щодо економічної ефективності інновації
Використання крапельного зрошення	використання технології стало одним з способів управління водними ресурсами, особливо для аграрних підприємств, що діють в регіонах з обмеженим доступом до води*	дозволяє до 50% знизити споживання води та в середньому до 30% підвищити врожайність культур.
Посухостійкі культури	використання технології сприяє адаптації агросектору до зміни клімату, зокрема: (i) дозволяє отримати стабільний врожай; (ii) зберігати достатню врожайність в умовах посухи або інших кліматичних аномалій.	стійкі до посухи сорти кукурудзи, соняшнику збільшують врожайність в середньому на 15-20% (у порівнянні з традиційними сортами).
Технології точного землеробства	використання дронів, супутникових знімків, сенсорів польового моніторингу і управління ресурсами на основі отриманих даних дозволяє: (i) оптимізувати витрати на добрива; (ii) мінімізувати використання води, засобів захисту рослин.	врожайність пшениці зростає в середньому до 14% завдяки даним про вологість ґрунту, рівень поживних речовин в ньому
Вертикальні ферми	використання технології дозволяє вирощувати продукцію у мегаполісах, при цьому: (i) знижуючи логістичні витрати; (ii) забезпечуючи сталість постачання аграрної продукції; (iii) мінімізуючи споживання води та інших дефіцитних природних ресурсів.**	врожайність культур зростає до 1000% за мінімальної використовуваної площі.

* технологія дозволяє подавати воду до коріння рослин. Це значно знижує втрати на випаровування.

** технологія є ресурсоощадною завдяки системам гідро- та аеропоніки, а також системі рециркуляції води.

Джерело: сформовано на основі [7].

Узагальнюючи наведені в таблиці 1 практичні дані, можна стверджувати, що різноманіття аграрних інновацій акумулюється в єдину економічну логіку. За [13] інновації аграрних підприємств є ефективними, якщо вони забезпечують конкретні позитивні зрушення, зміст яких визначає:

— мінімізація та раціоналізація використання ресурсів, зокрема: (i) зменшення витрат на оплату праці; (ii) зниження витрат на сировину (а саме добрива, засоби захисту рослин, посівний матеріал, спеціалізовані матеріали для мульчування, підв'язування рослин та покриття теплиць тощо); (iii) мінімізація втрат урожаю;

— максимізація результату, зокрема: (i) зростання продуктивності; (ii) збільшення обсягів зібраного врожаю з кожної одиниці площі (з гектара); (iii) підвищення його загальної якості й ринкової вартості.

Поряд із цим, аналіз наведених складових свідчить, що явище ефективності аграрних інновацій не є одновимірною. Ключові особливості розуміння

«ефективності» інновацій в тому, що категоріально вона: (i) не є абстрактною (зокрема, вона вимірюється конкретними економічними показниками); (ii) має часовий лаг (це зумовлене запізненням ефекту); (iii) є комплексною. Більш докладно ці особливості виділені на рис. 1.

Визначення особливостей має принципове методологічне значення, оскільки окреслює вимоги до побудови системи оцінювання інноваційного розвитку аграрних підприємств. Так,

(i) методи оцінки інновацій мають бути універсальними та налаштовуваними. Мова іде про оцінювальні моделі, зміст яких має цільову функцію та обмеження, що відбивають можливу оптимізацію витрат та максимізацію результату.

(ii) методи оцінки інновацій для агросектору мають спиратися на багатокрокові підходи, які враховують фактор часу;

(iii) методи оцінки інновацій не мають обмежуватися лише локальними фінансовими даними, слід застосовувати їх інтеграції (об'єднані в єдину систему).

Визначенні ресурсі, які аграрне підприємство вкладає та якими ризикує задля отримання майбутнього ефекту.

Специфіка: конкретність.
Теоретичні міркування: категорія не є абстрактною → вимірюється економічними показниками → показники є універсальними та гнучким.

Специфіка: часовий лаг
Теоретичні міркування: категорія відрізняється запізненням ефекту → враховує, що більшість аграрних інновацій не гарантують миттєвого прибутку → увага до фактору часу.*

Специфіка: комплексність
Теоретичні міркування: категорія вимірює економічний ефект в агробізнесі → зв'язок із технологічною результативністю → зв'язок із екологічною безпекою**.

Теоретичні міркування визначають вимоги до побудови загальної системи оцінювання інноваційного розвитку, зокрема: (i) тріангульованість у площину уніфікованих математичних розрахунків; (ii) фокус на динамічні підходи, які враховують фактор часу; (iii) увага до фінансових та не фінансових даних.

Рис. 1. Ключові особливості розуміння «ефективності» інновацій аграрних підприємств України

*інновації аграрних підприємств розкривають свій потенціал через кілька років.

** наприклад, виснаження ґрунтів заради миттєвого прибутку перекреслить економічну ефективність підприємства в майбутньому

Джерело: сформовано авторами.

Зауважимо, що окресленим вище вимогами не відповідає більшість з запропонованих на сьогодні методичних підходів (табл. 2).

Фактично, у праці [9] запропоновано використовувати як чисельні одиничні показники, так і індексні узагальнювані які ігнорують часовий лаг інноваційного розвитку, передбачають еквівалентність узагальнювальних показників (яка на практиці є малоймовірною), та застосовують математично вразливу мультиплікативну форму.

У дослідженні [3, с. 53–63] запропоновано систему одиничних та інтегральних показників, які оцінюють

виключно фінансову ефективність інвестицій та використовують жорсткі ставки дисконтування (відтак, вони штучно знецінюють віддалені в часі ефекти). У праці [8, с. 46] автори виокремлюють універсальну систему показників для оцінки фінансової спроможності інвестицій (зокрема, за нею з однаковим успіхом можна оцінювати як будівництво заводу металоконструкцій, так і впровадження крапельного зрошення в Одеській області). Поряд із цим, подані системи показників не приймають до уваги аграрно-екологічний контекст та нерівномірність формування ефектів від інноваційного розвитку в часі.

Таблиця 2

**Порівняння характеристик методичних підходів до оцінювання економічної ефективності
інноваційного розвитку аграрних підприємств**

Системи показників	Склад системи показників оцінки економічної ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств України	Недоліки системи показників
З. Б. Янченко [9]	Система побудована за принципом «від часткового до загального» і містить два рівні: 1) одиничний: частка (d) аграрної продукції з покращеними властивостями, d екологічно чистої аграрної продукції, d впровадження високопродуктивних технологій вирощування та ґрунтообробки, d впровадження високопродуктивних прийомів вирощування та догляду за тваринами, d відновлених земель, % механізації та автоматизації робіт, d працівників, які підвищили свою кваліфікацію, виробництво продукції рослинництва, продуктивність тварин, продуктивність праці, % використання виробничих потужностей та земельних угідь, прибуток, рентабельність виробництва, стійкість та сезонність виробництва, економія часу, ресурсів тощо) 2) узагальнюваний: індекс ефективності інноваційної діяльності: $J_{ef} = \sqrt[4]{\frac{J_{pt} \cdot J_{en} \cdot J_{pr} \cdot J_{ekol}}{J_{st}}}$ де: J_{ef} — індекс ефективності інноваційної діяльності; J_{pt} — індекс зростання продуктивності від інноваційної розробки; J_{en} — індекс скорочення енергоємності продукції; J_{pr} — індекс приросту продукції за рахунок аграрних інновацій; J_{ekol} — індекс скорочення екологічної собівартості; J_{st} — індекс збільшення витрати коштів на впровадження інноваційних розробок. економічну ефективність інноваційних нововведень	аналіз системи показників показує: (i) статичність та ігнорування часового лагу; (ii) еквівалентність узагальнювальних показників (всі індекси не можуть мати однакову вагу); (iii) математичну вразливість мультиплікативної форми (яка здатна призвести до онулення або суттєвого зниження одного індексу).*
В.Т. Дудар, А.В. Шумський, Б.О. Язлюк [3, с. 53-63]	Система побудована за принципом «від часткового до загального» і містить два рівні: 1) одиничні показники: чистий дисконтований дохід (NPV), внутрішня норма прибутку, або коефіцієнт дисконтування (IRR), проста норма прибутку на загальні інвестиційні витрати (R); термін окупності інвестицій; 2) інтегральний показник: коефіцієнт результативності i-го інноваційного проекту (r): $r = \frac{R_c}{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N (H_2 - H_1)}$ де r — коефіцієнт результативності інноваційного проекту; R_c — сумарні витрати за закінченими роботами; Q — фактичні витрати на дослідження та розробки за i-й рік; N — тривалість аналізованого періоду, років; H_1 та H_2 — незавершене виробництво на початок і кінець аналізованого періоду, вартісний вираз.	аналіз системи показників показує: (i) звуження до фінансового аспекту (що суперечить вимозі щодо комплексності); (ii) використання жорсткої ставки дисконту (IRR, NPV), яка штучно знецінює віддалені в часі ефекти. **
Шпикуляк О.Г., Грицаєнко М.І. [8, с. 46]	Система містить один рівень (зокрема, автори не робили спробу вивести інтегральний коефіцієнт результативності чи загальний індекс), Зокрема, пропонується оцінка інновації через класичний набір динамічних індикаторів інвестиційного аналізу, серед них: чистий дисконтований дохід (NPV); індекс прибутковості (PI); внутрішня норма рентабельності (IRR); модифікована ставка рентабельності (MIRR); дисконтований термін окупності (DPP)	аналіз системи показників показує: (i) ігнорування галузевої специфіки (що суперечить вимозі комплексності)**

* Якщо один із позитивних індексів = 0 (наприклад, інновація не впливала на енергоємність), весь J_{ef} перетворюється на нуль.

** Часовий лаг зумовлений природними циклами. Фактично, період окупності крапельного зрошення чи адаптації нових сортів може зайняти 5-10 років. Відтак, таке дисконтування просто занижить привабливість довгострокових екологічних інновацій на користь швидких та менш ефективних рішень.

Джерело: сформовано на основі [9; 3; 8] та рис. 1.

Фактично, підходи [3] та [8] пропонують системи показників, які є малоінформативні щодо натуральних ефектів (таких як економія води, добрив або підвищення стійкості рослин до посух) та застосовують механістичне дисконтування статично фіксованих грошових потоків. Через це майбутні фінансові результати розраховуються ізольовано від динаміки стану аграрного підприємства, а довгострокові технологічні ефекти (зокрема, відновлення родючості ґрунтів у часовому лагу 7–10 років) експоненційно знецінюються.

Таким чином, наявні підходи є надто теоретизованими та статичними, або зміщеними у бік фінансового аналізу без урахування аграрної специфіки.

За окресленими недоліками зауважимо, що оцінка

економічної ефективності інноваційного розвитку має бути багатокроковою (тобто містити оцінювальні кроки розгорнуті у часі), гнучкою (щоб формуватися під конкретне господарство), комплексною. Відтак, ідеальним рішенням буде не пошук інформативної системи показників, а застосування динамічного програмування, що можна використовувати як багатокроковий оцінювальний інструмент (що доводить його активне використання у якості оцінювального інструменту в різних сферах [15; 12]). Особливий інтерес становить праця [14], у якій проілюстрована специфіка використання динамічного програмування для оцінки компромісів між органічним і традиційним землеробством, конкретизовано їх впливу на здоров'я, екологічну

стійкість та економічні результати.

На основі узагальнення праць [12; 10; 14] зауважимо, що оцінка економічної ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств України за допомогою динамічного програмування надає змогу:

(i) рахувати часовий лаг - оскільки стан досліджуваного підприємства на кожному кроці буде прямим результатом технологічних та фінансових ефектів попереднього кроку;

(ii) забезпечити гнучкість управління - оскільки стан досліджуваного підприємства не статична точка ефективності, а найоптимальніша траєкторія інноваційного розвитку (сформована залежно від зміни природно-кліматичних та ресурсних умов регіону).

Також за [14], динамічне програмування ідеально задовольняє критерію комплексності та інтеграції. За виділеними в табл. 2 методичними підходами під «інтеграцією» розуміють спробу об'єднати різнопланові дані (щодо продуктивності га., використання води, обсягів фінансування) в агреговану формулу (це притаманно мультиплікативному індексу З. Б. Янченко або фінансовим моделям). Разом з тим, підхід на основі динамічного програмування задовольняє вимогу комплексності через системну логіку (за якою інтегруються

різні типи даних, шляхом їх структурованого розподілу за наступними математичними елементами:

(i) технологічний та екологічний блок (узагальнює змінні стану);

(ii) управлінський блок (узагальнює змінні керування / інноваційні рішення або їх комплекс);

(iii) фінансовий інтегратор (узагальнює цільові функції).

Основою окресленого підходу визначено наступні ключові елементи:

(i) вектор стану X_t (який пропонуємо формувати за сукупністю ключових параметрів функціонування аграрного підприємства, таких як: вплив вологості ґрунту; забезпеченість водними ресурсами; урожайність культур; рівень технологічного оснащення);

(ii) множина доступних інноваційних рішень U_t (який пропонуємо формувати за їх доступними альтернативами, серед яких: інвестування у крапельне зрошення; інвестування в цифровізацію виробництва; інвестування у використання безпілотних технологій; інвестування у селекцію нових сортів рослин тощо).

Запропонована математична архітектура як основа підходу до оцінювання ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств унаочнена в табл. 3.

Таблиця 3

Авторська математична архітектура динамічної моделі оцінювання ефективності розвитку аграрних підприємств

Математичні блоки та елементи моделі	Особливості розмежування функцій математичних елементів	Переваги блоку моделі та використання елементів	Математичне ядро нашої динамічної моделі
Технологічний та екологічний блок (змінні стану)	Формується через натуральні аграрно-екологічні показники. При цьому на кожному кроці (році) стан аграрного підприємства описується вектором, до якого входять: рівень вологості ґрунту, обсяг доступної води, якість посівного матеріалу, частка покращених сільськогосподарських угідь.	враховуються екологія та технології, зокрема вони визначають, у якому «фізичному» стані перебуває підприємство зараз і що з ним буде на наступному кроці.	Рекурентне співвідношення (рівняння Белмана), яке на кожному кроці оцінює ефекти від впровадження інновацій та додає до нього зважений, дисконтований максимальний ефект для майбутніх періодів**
Управлінський блок (змінна керування / інноваційне рішення або їх комплекс)	Оцінюються на ефективність конкретні інноваційні дії, які може обрати аграрне підприємство на певному кроці. Наприклад, інвестувати у наземне крапельне зрошення або у селекцію посухостійких сортів рослин.	Керування трансформує змінні (якою є інвестиція в зрошення) у індикатори стану (якою є зміни показника, наприклад, вологості ґрунту та витрат води на наступний рік).	
Фінансовий інтегратор (цільова функція)	Відбувається інтеграція даних про ефективність інновацій. Цільова функція оцінює її ефективність через доступну максимізацію інтегрального прибутку або мінімізацію / економію витрат за період.	Стає можливим вирішення проблеми комплексності оцінки інноваційного розвитку без штучних індексів та малоінформативних одиничних показників.*	

*Дані різної природи (зокрема, літри, гектари, відсотки) інтегруються природним шляхом. Так, натуральні показники формують обмеження життєздатності системи, а фінансовий результат виступає єдиним критерієм ефективності, що дозволяє врахувати часовий лаг та синергетичний ефект.

** специфічним є те, що динамічна структура Белмана нівелює жорсткість класичного дисконтування. Джерело: сформоване авторами.

Наведена архітектура доводить, що математичний апарат динамічного програмування дозволяє ліквідувати методологічні розриви попередніх підходів. Завдяки представленому вище розмежуванню функцій математичних елементів, формується можливість поєднати натуральну еколого-технологічну специфіку агровиробництва (якої бракувало підходам [3, 8]) із

точним фінансовим критерієм оптимізації, повністю ліквідувати статичність, математичну вразливість (характерну для мультиплікативних індексів у підході [9]). Крім того представлена архітектура усуває жорсткість класичного дисконтування, адже у ній майбутня цінність - адаптивна функція від оновленого стану. Це зумовлене тим, що віддалені в часі ефекти оцінюються

через їхню здатність максимізувати прибуток на наступних кроках реалізації інноваційних рішень.

Крім того у пропонованій архітектурі грошовий вираз ефективності є лише кінцевим інтегратором, а не єдиною сутністю її оцінки. Це зумовлене тим, що основою дієвості математичного ядра пропонованого підходу є рекурентне співвідношення (або рівняння

Белмана) [12], яке дозволяє обрахувати максимальний сумарний ефект від інновацій та візуалізувати стратегію розвитку (послідовно рухаючись від кінця періоду до його початку). При цьому за [12; 10; 11] базове рівняння динамічного програмування, адаптоване до визначених у табл. 3 блоків та елементів, матиме вигляд (1):

$$F_t(X_t) = \max_{U_t \in \Omega(X_t)} \{R_t(X_t, U_t) + \gamma \cdot F_{t+1}(X_{t+1})\}, \quad (1)$$

де:

$F_t(X_t)$ - функція цінності (у межах окресленого дослідження це максимальний очікуваний інтегральний прибуток) аграрного підприємства, починаючи з кроку i (t) до кінця розрахункового періоду. Передбачається, що в момент t аграрне підприємство перебуває у «фізичному» стані X_t ;

X_t - вектор стану аграрного підприємства на кроці t . Цей вектор містить натуральні показники (зокрема, вологість ґрунту, обсяг доступної води, якість посівного матеріалу тощо);

U_t - рішення / керування, яке приймається на кроці t (зокрема, обсяг інвестицій у крапельне зрошення, диференційований посів тощо);

$\Omega(X_t)$ - множина доступних інноваційних рішень (інновацій). Аграрне підприємство може обрати інновацію за поточним фінансовим станом та обмеженнями X_t .

$R_t(X_t, U_t)$ - поточний фінансовий результат на кроці t (він обраховується як прибуток від максимізації врожаю за вирахуванням витрат на впровадження інновації U_t).

γ - комплексний коефіцієнт дисконтування (знецінення майбутньої цінності) та збереження майбутнього ефекту (внаслідок настання макроекономічних та природно-кліматичних ризиків).

$F_{t+1}X_{t+1}$ - максимальний ефект $t+1$ кроку, залежний від стану системи $X(t+1)$.

Фактично кожне сформоване рекурентне співвідношення дозволяє в реальному часі оцінювати, як конкретне інноваційне рішення або їх комплекс: (i) трансформується у фізичні показники; (ii) транслюється у фінансовий результат. Фактично візуалізується інноваційний потенціал аграрного підприємства.

Основна перевага такої динамічної оцінки

економічної ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств України полягає в тому, що кожен новий стан - функція від поточного стану за конкретного інноваційного рішення/комплексу рішень. Така функція від поточного стану виражається залежністю (2) [12]:

$$X_{t+1} = \Phi(X_t, U_t) \rightarrow \text{наступний стан є прямою функцією керування, (2);}$$

де:

X_{t+1} — вектор стану аграрного підприємства на наступному кроці розрахунку або на $t+1$;

Φ - функція переходу стану аграрного підприємства (під впливом інновацій) у стабільний стан, який позначає нові технологічні та природно-кліматичні закономірності та пов'язані з ними зміни параметрів.

Наприклад, за (2) для ПАТ «Миронівський хлібопродукт» в 2025 р. встановлено, що показник вологості ґрунту під посівами кукурудзи у векторі X_t був дуже низьким, і у зв'язку з цим менеджмент у 2026-2027 рр. має застосувати один з варіантів рішення U_t (зокрема інвестувати у: наземні системи крапельного зрошення на крапельній трубці з фіксованим кроком (U_1); підземні системи крапельного зрошення із вбудованими датчиками вологості та автодозацією (U_2); фронтальні дощувальні машини з технологією диференційованого поливу (U_3). При цьому 2026 рік — це рік впровадження інновацій, а 2027 рік — це рік післядії або прояву кумулятивного ефекту.

Так, за інтерпретацією даних за кожним варіантом (табл. 4) приймається до уваги оновлення вектору стану X_{t+1} на кожному кроці, що враховує: (i) оцінку додаткового доходу від зростання врожайності (у грошовому вираженні, євро/га); (ii) оцінку економії витрат на воду та ресурси (у грошовому вираженні);

(iii) обсяг доступних для вкладень коштів (3800 євро). Завдяки окресленим фокусам отриманий фінансовий результат - пряма математична функція від вектора стану (натуральних показників). Фактично, якщо обсяг використання води зростає або врожайність знизиться, то поточний вектор погіршиться, і на наступному кроці фінансовий прибуток теж знизиться.

Так, при сукупному інвестиційному бюджеті $e_0=3800$ євро максимальний економічний ефект від оновлення вектора стану оцінений у 8049 євро/га. Оптимальна стратегія передбачає спрямування 3000 євро на впровадження підземного крапельного зрошення (SDI) для забезпечення максимального приросту врожайності кукурудзи, та спрямування залишку в обсязі 800 євро на супутні ресурсощадні технології диференційованого поливу (VRI). Наведений результат визначає потенціал зростання маржинального прибутку при нормалізації показників вологозабезпеченості ґрунту.

Таблиця 4

Інтерпретація даних за варіантами інноваційних рішень для ПАТ «Миронівський хлібопродукт», Євро

Ut	Назва технології	Дохід від врожайності	Економія ресурсів
1	Наземне крапельне	3200	3450
2	Підземне крапельне (SDI)	4599 (максимум)	3429
3	Фронтальні дощувальні (VRI)	3300	4400 (максимум)

*Натуральні ефекти використані як **вхідні змінні та обмеження**, а не проігнорований контекст.
Джерело: сформовано за даними ПАТ «Миронівський хлібопродукт».

При цьому проведена за окресленими даними безумовна прогнозно-імітаційна оцінка за методом динамічного програмування (табл. 5) доводить високу

ефективність інноваційного розвитку ПАТ «Миронівський хлібопродукт».

Таблиця 5

Прогнозно-імітаційна оцінка інноваційного розвитку ПАТ «Миронівський хлібопродукт» методом динамічного програмування, 2026-2027 рр.

Базисний бюджет X1	Крок t=2*				Крок t=1*					
	U2	X2 = X1 - U2	R2(U2)	F2*(X2)	U2*(X2)	R1(U1)	F1*(X0)	F0(U1, X0)	F1*(X1)	U1(X1)
2000	0	2000	0	—	0	3450	3450	3450	0	2000
	0	3450	3450	2000	3200	0	3200	—	—	—
3000	0	3000	0	—	0	3450	3450	—	—	—
	2000	1000	3450	3450	2000	3200	3450	6650	6650	2000
	3000	0	3429	—	—	4599	0	4599	—	—
3800	0	3800	0	—	0	4400	4400	—	—	—
	2000	1800	3450	—	—	3200	3450	6650	—	—
	3000	800	3429	—	—	4599	3450	8049	8049	3000
	3800	0	4400	4400	3800	3300	0	3300	—	—

* Кроки відбивають зворотний хід динамічного програмування. У кроках узагальнені всі доступні комбінації розподілу наявного бюджету (3800 Євро).

Джерело: сформовано за даними ПАТ «Миронівський хлібопродукт».

Висновки. За результатами дослідження розв'язано важливе науково-практичне завдання, яке стосується ліквідації методологічного розриву між статичними галузевими та суто фінансовими підходами до оцінювання економічної ефективності інноваційного розвитку аграрних підприємств України.

Результати даного дослідження дозволили сформулювати такі висновки:

1. Доведено вичерпаність екстенсивних методів господарювання. У вітчизняному агросекторі, в умовах геополітичних потрясінь, руйнування логістики та кліматичних змін це вже призвело до стрімкого

скорочення кількості суб'єктів господарювання (із 90 тис. в 2022 р. до 78,3 тис. од. в 2025 р.). Констатовано, що єдиним тригером відновлення довгострокової конкурентоспроможності агробізнесу є перехід до інноваційного розвитку (зокрема, точного землеробства, безпілотних рішень, штучного інтелекту, біотехнологій та крапельного зрошення тощо).

2. Критичний аналіз наявних методичних підходів виявив їхні системні недоліки - статичність, ігнорування часового лагу, математична вразливість або надмірне звуження змісту оцінки (до фінансового аспекту), яке за використанням жорстких ставок

дисконтування штучно знецінює довгострокові екологічні ефекти. Доведено, що традиційний інвестиційний аналіз не враховує дію специфічних аграрно-екологічних результатів.

3. Запропоновано та математично обґрунтовано архітектуру динамічної багатокрокової моделі оцінювання ефективності аграрних інновацій на основі засобів динамічного програмування. На відміну від штучного індексного об'єднання різнорідних даних, такий підхід природним шляхом інтегрує різноманітні величини через взаємопов'язані блоки: (i) технологічний та екологічний блок (що описує «фізичний» стан підприємства вектором натуральних показників; (ii) управлінський блок (що визначає ефективність кожного з доступних рішень); (iii) фінансовий інтегратор (що максимізує очікуваний інтегральний прибуток за багатокроковий період з урахуванням наявного ризику).

Запропонований підхід дозволяє в реальному часі

оцінювати, як інноваційне рішення або їх комплекс трансформується у конкретні фізичні показники та впливають на ефективність інноваційного розвитку. У цьому контексті перспективи подальших досліджень полягають у практичній апробації запропонованого підходу на емпіричних даних конкретних аграрних підприємств України задля оптимізації їхніх довгострокових інвестиційних стратегій.

Декларація щодо використання інструментів штучного інтелекту. В ході підготовки статті було використано інструменти генеративного штучного інтелекту (Gemini 1.5 Flash) для цілей пошуку та узагальнення літератури та покращення структури статті. Жоден текст, згенерований за допомогою штучного інтелекту, не використовувався без критичного редагування. Автори несуть повну відповідальність за науковість, точність та цілісність контенту.

Список використаних джерел:

1. Аграрний сектор України є одним із ключових драйверів нашої економіки, забезпечуючи значну частку валового внутрішнього продукту (ВВП) і експортних надходжень. Платформа Михайленко. 2025. URL: <https://www.mikhailenko.com.ua/13-01-2025/agrarnyj-sektor-ukrayiny-ye-odnym-iz-klyuchovyh-drajveriv-nashoyi-ekonomiky-zabezpechuyuchy-znachnu-chastku-valovogo-vnutrishnogo-produktu-vvp-i-eksportnyh-nahodzen/> (дата звернення: 20.07.26)
2. Большая О. В., Біліченко О. С. Інноваційний розвиток аграрних підприємств України. Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. 2025. № 3(137). С. 12-19. DOI: <https://doi.org/10.32782/1814-1161/2025-3-2>
3. Дудар В. Т., Шумський А. В., Язлюк Б. О. Ефективність інноваційного розвитку агропромислового виробництва : монографія. Тернопіль: Астон, 2013. 260 с. URL: <https://dspace.wunu.edu.ua/items/52b3d3db-a4d7-43c8-9ecf-0789e9925201> (дата звернення: 20.07.26).
4. Івченко В., Павленко С. Огляд аграрного сектору України з акцентом на внесок домогосподарств населення: Агрополітичний звіт. АПД/АПВ. 2025. URL: https://www.apd-ukraine.de/fileadmin/user_upload/Ogljad_Ivchenko_Pavlenko.pdf (дата звернення: 20.07.26).
5. Костецкий Я.І. Новітня парадигма розвитку аграрного сектору України : дис. д-ра екон. наук: 08.00.03. Тернопіль : ТНЕУ, 2019. 473 с. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/handle/316497/38556> (дата звернення: 20.07.26).
6. Стеценко О. Безсистемність упровадження точного землеробства призводить до збитків. Agrotimes. 2019. URL: <https://agrotimes.ua/opinion/bezsystemnist-uprovadzhennya-tochnogo-zemlerobstva-pryzvodyt-do-zbytkiv/> (дата звернення: 20.07.26)
7. Стоянова А. Інноваційні трансформації агросектору в умовах глобальних викликів. Аграрний форум agropremoga. 2025. URL: <https://agropremoga.com.ua/innovatsiyni-transformatsiyni-ahrosetoru-v-umovakh-hlobalnykh-vyklykiv/> (дата звернення: 20.07.26).
8. Шпикуляк О.Г., Грицаєнко М.І. Розвиток інноваційної діяльності в аграрній сфері: менеджмент та ефективність : монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. 424 с. URL: <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d3aafc44-9994-455f-838a-3a20e73414c2/content> (дата звернення: 20.07.26).
9. Янченко З.Б. Оцінка ефективності інноваційної діяльності аграрних підприємств. Агросвіт. 2013. № 13. С. 27-32. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/13_2013/6.pdf (дата звернення: 20.07.26).
10. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms (2nd ed.). MIT Press & McGraw-Hill, 2001. pp. 327-328. URL: <https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/Algorithms/Introduction%20to%20Algorithms-Cormen.pdf> (дата звернення: 20.07.26).
11. Denardo E. V. Dynamic Programming: Models and Applications. NY : Dover Publications, 2003. URL: <https://dokumen.pub/dynamic-programming-models-and-application-9780486428109-0486428109-2002041346.html> (дата звернення: 20.07.26).
12. Eddy S. R. What is dynamic programming? Nature Biotechnology. 2004. No. 22. Pp. 909-910. DOI: <https://doi.org/10.1038/nbt0704-909>
13. Keating B. A., Carberry P. S., Bindraban P. S., Asseng S., Meinke H., Dixon J. Eco-efficient Agriculture: Concepts, Challenges, and Opportunities. Crop Science. 2010. Vol. 50. Pp. 109-119. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.10.0594>
14. Luca Bargna, Davide La Torre, Rosario Maggistro, Benjamin Montmartin. Balancing health and sustainability: Optimizing investments in organic vs. conventional agriculture through pesticide reduction. Journal of Economic Behavior & Organization. 2026. No. 243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2026.107442>

15. Maslyhan O., Shabelnyk T., Korolovych O., Liba N. Modern approach to modeling of efficiency of financial market based on methods of dynamic programming. *Ефективна економіка*. 2022. No. 9. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2022.9.7>

References:

1. Platforma Mykhailenko. (2025, January 13). Ahrarnyi sektor Ukrainy ye odnym iz kliuchovykh draiveriv nashoi ekonomiky, zabezpechuiuchy znachnu chastku valovoho vnutrishnoho produktu (VVP) i eksportnykh nadkhodzhen [The agricultural sector of Ukraine is one of the key drivers of our economy, providing a significant share of gross domestic product (GDP) and export revenues]. <https://www.mikhailenko.com.ua/13-01-2025/agrarnyj-sektor-ukrayiny-ye-odnym-iz-klyuchovyh-drajveriv-nashoyi-ekonomiky-zabezpechuyuchy-znachnu-chastku-valovogo-vnutrishnogo-produktu-vvp-i-eksportnyh-nadkhodzhen/> [in Ukrainian].
2. Bolsheha, O. V., & Bilichenko, O. S. (2025). Innovatsiyni rozvytok ahrarnykh pidpriemstv Ukrainy [Innovative development of agricultural enterprises of Ukraine]. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Ekonomika ta pidpriemnytstvo*, (3), 12–19. <https://doi.org/10.32782/1814-1161/2025-3-2> [in Ukrainian].
3. Dudar, V. T., Shumskyi, A. V., & Yazliuk, B. O. (2013). Efektyvnist innovatsiinoho rozvytku ahropromyslovoho vyrobnytstva [Efficiency of innovative development of agro-industrial production]. *Aston*. <https://dspace.wunu.edu.ua/items/52b3d3db-a4d7-43c8-9ecf-0789e9925201> [in Ukrainian].
4. Ivchenko, V., & Pavlenko, S. (2025). Ohliad ahrarnoho sektoru Ukrainy z aktsentom na vnesok domohospodarstv naselennia: Ahropolitychnyi zvit [Overview of the agricultural sector of Ukraine with an emphasis on the contribution of households: Agropolitical report]. *APD/APB*. https://www.apd-ukraine.de/fileadmin/user_upload/Ogljad_Ivchenko_Pavlenko.pdf [in Ukrainian].
5. Kostetskyi, Ya. I. (2019). Novitnia paradyhma rozvytku ahrarnoho sektoru Ukrainy [The latest paradigm of development of the agricultural sector of Ukraine] (Doctoral dissertation, Ternopil National Economic University). <http://dspace.tneu.edu.ua/handle/316497/38556> [in Ukrainian].
6. Stetsenko, O. (2019). Bezsystemnist uprovadzhennia tochnoho zemlerobstva pryzvodyt do zbytkiv [Systemic failure in the implementation of precision farming leads to losses]. *Agrotimes*. <https://agrotimes.ua/opinion/bezsystemnist-uprovadzhennya-tochnogo-zemlerobstva-pryzvodyt-do-zbytkiv/> [in Ukrainian].
7. Stoyanova, A. (2025). Innovatsiini transformatsii ahrosektoru v umovakh hlobalnykh vyklykiv [Innovative transformations of the agricultural sector in the context of global challenges]. *Ahrarnyi forum agroperemoga*. <https://agroperemoga.com.ua/innovatsiyni-transformatsiyi-ahrosektoru-v-umovakh-hlobalnykh-vyklykiv/> [in Ukrainian].
8. Shpykuliak, O. H., & Hrytsaenko, M. I. (2016). Rozvytok innovatsiinoi diialnosti v ahrarnii sferii: menedzhment ta efektyvnist [Development of innovation activity in the agricultural sector: Management and efficiency]. *OLDI-PLIUS*. <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d3aafc44-9994-455f-838a-3a20e73414c2/content> [in Ukrainian].
9. Yanchenko, Z. B. (2013). Otsinka efektyvnosti innovatsiinoi diialnosti ahrarnykh pidpriemstv [Evaluation of the efficiency of innovative activity of agricultural enterprises]. *Agrosvit*, (13), 27–32. http://www.agrosvit.info/pdf/13_2013/6.pdf [in Ukrainian].
10. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2001). *Introduction to algorithms* (2nd ed.). MIT Press & McGraw-Hill. <https://theswissbay.ch/pdf/Gentoomen%20Library/Algorithms/Introduction%20to%20Algorithms-Cormen.pdf> [in English].
11. Denardo, E. V. (2003). *Dynamic programming: Models and applications*. Dover Publications. <https://dokumen.pub/dynamic-programming-models-and-application-9780486428109-0486428109-2002041346.html> [in Ukrainian].
12. Eddy, S. R. (2004). What is dynamic programming? *Nature Biotechnology*, 22, 909–910. <https://doi.org/10.1038/nbt0704-909> [in Ukrainian].
13. Keating, B. A., Carberry, P. S., Bindraban, P. S., Asseng, S., Meinke, H., & Dixon, J. (2010). Eco-efficient agriculture: Concepts, challenges, and opportunities. *Crop Science*, 50(2), 109–119. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.10.0594> [in English].
14. Bargna, L., La Torre, D., Maggistro, R., & Montmartin, B. (2026). Balancing health and sustainability: Optimizing investments in organic vs. conventional agriculture through pesticide reduction. *Journal of Economic Behavior & Organization*, (243), Article 107442. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2026.107442> [in Netherlands].
15. Maslyhan, O., Shabelnyk, T., Korolovych, O., & Liba, N. (2022). Modern approach to modeling of efficiency of financial market based on methods of dynamic programming. *Efektivna ekonomika*, (9). <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2022.9.7> [in Ukrainian].

Дата надходження статті: 29.06.2026 р.

Дата прийняття статті до друку: 20.07.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті: 03.08.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY.