

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2026-358-48>

УДК 631.115:004.9:330.341.1(477)

JEL classification Q16, O33

МЯРКОВСЬКИЙ Юрій

Інститут тваринництва Національної академії аграрних наук України

<https://orcid.org/0009-0000-2747-9507>

ІННОВАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ: ВІД ВОЄННОЇ АДАПТАЦІЇ ДО ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

У статті здійснено комплексну теоретико-емпіричну діагностику сучасного стану, динаміки та структури інноваційної активності аграрних підприємств України в умовах геополітичних, макроекономічних і воєнних шоків. Доведено, що впровадження інновацій трансформується з інструменту отримання надприбутків у фундаментальну умову виживання та операційної стійкості агробізнесу. Проаналізовано позиції України у світових інноваційних рейтингах (European Innovation Scoreboard, Global Innovation Index) та фінансову архітектуру інноваційних витрат із виявленням критичної залежності від власних коштів підприємств на тлі стагнації наукоємності ВВП (<0,4%). Оцінено катастрофічні масштаби руйнувань матеріально-технічної бази АПК (>12,1 млрд дол. прямих збитків) та фізичне знищення понад 130 тис. одиниць сільгосптехніки. Досліджено структуру старіння машинно-тракторного парку, де частка комбайнів та тракторів віком понад 12 років сягає 42–67%, спричиняючи перевитрати ремонтних бюджетів та зниження сезонного наробітку. Систематизовано рівні цифровізації та впровадження точного землеробства (RTK-навігація, супутниковий NDVI-моніторинг, VRT-диференційоване внесення, FMIS/ERP-системи), обґрунтовано економічну ефективність обміру земельного банку та оптимізації ресурсокористування. Виявлено феномен «клаптикової діджиталізації» та ключові стримуючі фактори (зниження EBITDA, загрози РЕБ і мінування, брак кадрів). Сформовано інституційно-економічні важелі стимулювання інновацій: модель PAaaS («Точне землеробство як послуга»), сегментацію програми «5-7-9%» для технологічної модернізації, інтеграцію ДАР із кадастровими реєстрами та створення освітньо-інноваційних кластерів.

Ключові слова: аграрні підприємства, інноваційна діяльність, точне землеробство, цифровізація, машинно-тракторний парк, VRT, FMIS, воєнні збитки АПК, PAaaS, програма «5-7-9%».

MIARKOVSKIY Yuriy

Livestock Farming Institute of NAAS of Ukraine

INNOVATIVE AND TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION OF AGRICULTURAL ENTERPRISES IN UKRAINE: FROM MILITARY ADAPTATION TO DIGITALIZATION AND PRECISION FARMING

The article presents a comprehensive theoretical and empirical diagnosis of the current state, dynamics, and structure of innovative activity among Ukrainian agricultural enterprises amidst geopolitical, macroeconomic, and war-induced shocks. It is evident that innovation adoption has shifted from a tool for maximizing profits to a fundamental prerequisite for operational survival and long-term business resilience. The study examines Ukraine's positions in global innovation benchmarks (European Innovation Scoreboard, Global Innovation Index). It analyzes the financial structure of R&D expenditures, revealing an over-reliance on internal firm funds against the backdrop of stagnant R&D intensity below 0.38% of GDP. The catastrophic damage to the sector's capital stock is estimated at over \$12.1 billion in direct agricultural losses and the destruction of over 130,000 machinery units. The structural aging of the machinery fleet is detailed—with 42–67% of combine harvesters and tractors exceeding 12 years of age—leading to disproportionate repair costs and a 20–28% drop in seasonal operational output. The study categorizes digital technology adoption across four maturity levels (RTK satellite navigation, NDVI satellite monitoring, Variable Rate Technology (VRT), and Farm Management Information Systems (FMIS)). The economic returns of drone-based land auditing and resource optimization are quantified, highlighting the prevalence of "patchwork digitalization." Key operational bottlenecks include declining EBITDA, GPS suppression via Electronic Warfare (EW), field contamination from unexploded ordnance, and severe shortages of skilled human capital. Finally, institutional and economic policy recommendations are formulated: promoting the Precision Agriculture as a Service (PAaaS) model, reorienting the "5-7-9%" preferential credit scheme toward technological modernization, unifying digital registries via open APIs, and establishing public-private educational-innovation clusters.

Keywords: agricultural enterprises, innovation activity, precision agriculture, digitalization, machinery fleet, VRT, FMIS, war damage in agriculture, PAaaS, "5-7-9%" program.

Стаття надійшла до редакції / Received 02.09.2026

Прийнята до друку / Accepted 23.09.2026

Опубліковано / Published 29.10.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© МЯРКОВСЬКИЙ Юрій

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Аграрний сектор економіки України традиційно відіграє фундаментальну роль у формуванні макроекономічної стабільності держави, забезпеченні продовольчої безпеки, генеруванні значної частки валового внутрішнього продукту та забезпеченні стабільних валютних надходжень від експортної діяльності. Водночас сучасний етап функціонування сільськогосподарських підприємств розгортається в

умовах дії комплексу безпрецедентних геополітичних, макроекономічних і природно-кліматичних шоків. Повномасштабна військова агресія спричинила масштабні руйнування виробничої інфраструктури, фізичне знищення та розкрадання техніки, блокування традиційних логістичних коридорів, стрімке здорожчання ресурсів і втрату доступу до значних площ родючих земель унаслідок окупації та мінування. На ці екзогенні виклики накладаються глобальні тенденції зміни клімату, що супроводжуються зростанням аридності традиційних зон землеробства, а також посиленням регуляторних вимог міжнародних ринків щодо декарбонізації виробничих процесів, простежуваності ланцюгів доданої вартості та зменшення вуглецевого сліду.

За таких критичних обставин екстенсивні механізми ведення аграрного виробництва, які десятиліттями ґрунтувалися на експлуатації природної родючості чорноземів, нарощуванні валового внесення стандартних мінеральних добрив і традиційному машинному ґрунтообробітку, повністю вичерпали свій ресурсний потенціал. Інноваційна діяльність сільськогосподарських суб'єктів перестає бути суто інструментом нарощування надприбутків чи здобуття тимчасових конкурентних переваг на ринку. Сьогодні вона трансформується у базову передумову виживання підприємств, збереження їхньої операційної дієздатності та забезпечення довгострокової адаптивності до перманентних криз. Перехід до нової парадигми функціонування вимагає органічної взаємодії трьох нерозривних векторів модернізації: якісної активізації інноваційних процесів у виборі сортів, біопрепаратів та агрозасобів; докорінного техніко-технологічного переоснащення машинно-тракторного парку; комплексної цифровізації виробничих і управлінських контурів суб'єктів агробізнесу.

Попри виражену технологічну зрілість окремих провідних холдингів, загальний ландшафт інноваційного розвитку галузі характеризується глибокою внутрішньою поляризацією та структурною асиметрією. У той час як великі вертикально інтегровані структури мають прямий вихід на міжнародні ринки фінансового капіталу та акумулюють передові світові цифрові практики, переважна більшість малих і середніх фермерських господарств функціонує в умовах гострого браку ліквідності, звуження доступу до комерційного кредитування та форсованого фізичного й морального зносу технічних засобів. Систематизація знань щодо фактичного стану та динаміки інноваційної активності, об'єктивна фіксація глибини технічного вибуття засобів праці та кількісна оцінка ефективності цифрових інновацій постають нагальними науковими завданнями, необхідним для обґрунтування пріоритетів державної аграрної політики, розробки антикризових інструментів підтримки виробників та прийняття зважених управлінських рішень безпосередньо аграрними підприємствами.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження природи інновацій, циклічності технічного прогресу та механізмів трансформації матеріально-виробничого апарату посідає чільне місце в економічній науці. Фундаментальні основи ролі нововведень у подоланні ринкової ентропії закладені в класичній концепції «творчого руйнування» Й. Шумпетера [1], де динамічний розвиток підприємств розглядається як наслідок поєднання нових технологічних факторів і матеріалів. Специфіка дифузії інновацій у сільськогосподарському секторі детально розкрита у піонерських розвідках З. Гріліхеса [2], присвячених оцінці економічної віддачі від гібридизації рослин і витрат на аграрні науково-дослідні розробки, що заклали фундамент для кількісного моделювання наукоємності агропромислового комплексу.

У сучасній зарубіжній літературі провідні позиції в царині економіки високоточного сільського господарства займають дослідження Дж. Ловенберга-ДеБоера та Б. Еріксона [3]. Автори спростовують поширений міф про повільні темпи аграрних інновацій, доводячи, що точне землеробство являє собою гнучкий інструментарій («toolkit»), елементи якого приймаються ринком гетерогенно: якщо супутникова навігація та картографування знаходять стрімке поширення, то технології змінного нормування (Variable Rate Technology – VRT) стикаються з бар'єрами складності та невизначеності прямої окупності. У спільних працях Дж. Ловенберга-ДеБоера, І. Хуанга та співавторів детально проаналізовано економіку використання робототехніки й автоматизації у польовому рослинництві, де доведено, що автоматизація дозволяє істотно згладжувати дефіцит операторів техніки за умови оптимального масштабу землекористування [4]. Сучасні закордонні компаративні студії із застосуванням непараметричних методів аналізу функціонування середовища (Data Envelopment Analysis – DEA) констатують, що пакетне впровадження інновацій у точному землеробстві безпосередньо генерує зростання чистої технічної та алокативної ефективності сільськогосподарських підприємств, водночас нівелюючи ризики волатильності цін на ресурси [5].

Питання технологічної модернізації та діджиталізації вітчизняного аграрного сектору широко висвітлюються в працях українських учених. Теоретико-методологічні засади структурної модернізації АПК та інноваційного оновлення галузі системно розкриті в дослідженнях О. Шевченка, Л. Шепотько, В. Юрчишина та С. Вольфєрта, які акцентують увагу на тому, що цифровізація, штучний інтелект та IoT-технології є системоутворювальними факторами сучасної перебудови виробничих відносин на селі [6]. Організаційно-економічні важелі трансформації управлінських систем агропідприємств, логістичної оптимізації та впровадження спеціалізованих платформ для моніторингу виробничих циклів ґрунтовно досліджені в працях І. Людвіка [7].

Сучасна парадигма цифровізації агробізнесу розглядається як ключовий каталізатор оптимізації його ресурсного потенціалу в наукових публікаціях останніх років, де доводиться, що цифрові інструменти забезпечують перехід від інтуїтивно-досвідного менеджменту до управління на базі верифікованих аналітичних масивів даних [8]. Стан макроекономічного середовища, загальний інноваційний клімат та специфіку функціонування вітчизняних підприємств під час війни детально охарактеризовано у дослідженнях фахівців Національного інституту стратегічних досліджень (НІСД), де зафіксовано адаптаційний характер інновацій у продовольчому секторі за умови збереження критично низької частки довгострокового фінансування R&D [9]. Оцінку катастрофічних втрат матеріально-технічної бази, знищення парку техніки та непрямих економічних збитків агропромислового сектора систематично здійснює аналітична група Центру досліджень продовольства та землекористування Інституту Київської школи економіки (KSE Institute), формуючи верифіковану статистичну базу для вивчення масштабів капітальної деградації виробництва [10].

Проте незважаючи на значний теоретичний доробок, у вітчизняній науковій літературі досі бракує комплексного аналізу, який би синтезував вплив фізичного руйнування матеріально-технічних засобів на темпи вимушеної селективної цифровізації. Потребує глибшого вивчення феномен «клаптикової цифровізації», коли фрагментарне запровадження окремих технологічних компонентів не супроводжується перебудовою управлінського контуру підприємства, що стримує кумулятивний економічний ефект нововведень в умовах поствоєнного відновлення.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є комплексна теоретико-емпірична діагностика сучасного стану, динаміки та структури інноваційної активності аграрних підприємств України, яка охоплює оцінку джерел фінансування технологічного розвитку, аналіз фізичного стану й глибини зносу машинно-тракторного парку під впливом воєнних руйнувань, визначення рівня проникнення елементів точного землеробства і цифрових екосистем, а також концептуальне обґрунтування інституційно-економічних механізмів стимулювання інновацій в агросекторі.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Інноваційні процеси в національному аграрному секторі розгортаються на тлі тривалих макроекономічних деформацій, суттєво поглиблених повномасштабними військовими діями. Компаративний аналіз міжнародних індикаторів науково-технологічного розвитку демонструє суперечливі тенденції. У загальноєвропейському координатному просторі Україна за шкалою European Innovation Scoreboard продовжує належати до четвертої, найнижчої групи країн – «скромних новаторів» (Modest Innovators), фіксуючи узагальнювальний індекс на рівні близько 0,1889 за максимального значення 1 [11]. Така позиція сигналізує про слабкість фундаментальної інституційної бази інноваційної генерації, критичну обмеженість комерціалізації наукових відкриттів і розрив між академічною наукою та безпосередніми виробничими практиками.

У щорічному рейтингу Глобального інноваційного індексу (Global Innovation Index – GII) Всесвітньої організації інтелектуальної власності позиції держави зазнали певного просідання: якщо у 2021 році Україна посідала 49-те місце, а у 2023 році перебувала на 60-й позиції серед 133 держав, то у 2024 році країна змістилася на 66-те місце серед 139 проаналізованих економік [12]. Водночас варто виокремити відчутний стрибок за субіндексом «Креативні результати», де зафіксовано переміщення з 63-ї позиції у 2022 році на 37-ме місце у 2023 році, зокрема завдяки високій динаміці створення нематеріальних активів (19-те місце у світі) [13]. Це свідчить про унікальну здатність суб'єктів національного бізнесу знаходити нестандартні операційні рішення, реконфігурувати логістичні ланцюги та розробляти локальні програмні сервіси навіть за екстремального дефіциту матеріальних ресурсів.

Динаміка безпосередньої інноваційної активності підприємств демонструє специфічну сегментарну адаптацію до шоків воєнного стану. Якщо промислове середовище загалом демонструє зростання частки інноваційно активних підприємств з 9,6% у 2021 році до 16,2% у 2024 році, то в переробних ланках продовольчого сектора цей процес набув форсованого характеру. Кількість підприємств, залучених до інновацій у сфері виробництва харчових продуктів, збільшилася з 83 одиниць у 2021 році до 172 одиниць у 2024 році, що еквівалентно зростанню їхньої питомої ваги у відповідній галузі з 9,6% до 22,7% [12]. Рушієм таких змін стало намагання харчових і переробних виробництв компенсувати енергетичні ризики, перейти на автономну генерацію, освоїти технології глибокої переробки аграрної сировини для зменшення фізичного обсягу експортних вантажів в умовах логістичних обмежень та забезпечити відповідність пакувальних стандартів вимогам ринків ЄС. Динаміку макроекономічних та галузевих індикаторів інноваційного розвитку, а також структуру джерел фінансування технологічного оновлення систематизовано в таблиці 1.

Аналіз фінансової архітектури інноваційного забезпечення виявляє критичну вразливість аграрних формувань через хронічне домінування власних коштів у загальному обсязі інноваційних витрат. Навіть з урахуванням певного зменшення частки самофінансування з 79,8% у 2021 році до 71,8% у 2024 році, власні кошти залишаються безальтернативною основою розвитку.

Таблиця 1

Динаміка макроекономічних та галузевих індикаторів інноваційного стану АПК України

Індикатор макроекономічного та галузевого інноваційного стану	2021 рік	2023 рік	2024 рік	Вектор та характер структурних змін
Позиція України в рейтингу Global Innovation Index (GII)	49	60	66	Зниження на 17 пунктів; посилення геополітичних ризиків
Частка інноваційно активних підприємств харчової переробки, %	9,6	17,4	22,7	Зростання у 2,36 раза; адаптація до шоків логістики та енергетики
Наукоємність внутрішнього валового продукту (витрати на R&D), %	0,38	0,34	0,37	Хронічна стагнація значно нижче критичного порогу (в ЄС > 2,2%)
Частка власних фінансових коштів підприємств у витратах на інновації, %	79,8	74,2	71,8	Домінування вимушеного самофінансування над кредитними ресурсами
Частка прямих коштів державного бюджету у фінансуванні інновацій, %	3,2	6,5	9,2	Спрямування бюджетних інструментів на точкові компенсації та гранти
Частка коштів іноземних інвесторів та грантів нерезидентів, %	7,1	8,9	10,4	Поступове збільшення ролі міжнародних фондів технічної допомоги
Частка принципово нової для ринку продукції в обсязі інноваційної, %	6,4	21,3	29,5	Зростання спеціалізованих високотехнологічних ніш
Частка продукції, нової виключно для самого підприємства, %	93,6	78,7	70,5	Переважає імітаційно-адаптивного трансферу технологій

Джерело: розроблено автором за [10, 12].

При цьому залучення капіталу іноземних інвесторів перебуває на рівні 10,4%, пряма бюджетна підтримка науково-технічних програм становить 9,2%, а банківське кредитування формує лише мізерну частку джерел [12]. Така модель означає, що будь-яке коливання операційної рентабельності, зумовлене падінням цін на збіжжя чи посухою, автоматично спричиняє пропорційне скорочення інноваційних програм господарств.

Головним системним стримувачем формування високоефективного інноваційного середовища є хронічне недофінансування наукової сфери. Показник наукоємності ВВП України протягом багатьох років стабільно тримається на позначці менше ніж 0,4%, склавши 0,38% у 2021 році та 0,37% у 2024 році, тоді як у країнах-членах Європейського Союзу середній рівень витрат на наукові дослідження й розробки перевищує 2,24%, а в таких аграрно-технологічних лідерах, як Нідерланди чи Данія, сягає понад 3% [12]. Через відсутність достатнього фінансування вітчизняні аграрні науково-дослідні інституції втрачають можливість генерувати конкурентоспроможні комплексні технологічні рішення. Як результат, 70,5% інноваційної продукції вітчизняних підприємств класифікується як «нова лише для самого підприємства», що свідчить про переважання процесів наздоганяючої дифузії готових іноземних зразків над розробкою ендогенних проривних інновацій.

Матеріально-технічний комплекс аграрних підприємств є матеріальним носієм технологічних інновацій. Рівень оснащення машинно-тракторного парку, його експлуатаційний вік та відповідність вимогам енергоефективності безпосередньо зумовлюють можливість запровадження ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту, мінімізації втрат урожаю та використання сучасних агрегатів. До 2022 року вітчизняний аграрний сектор характеризувався відносно сприятливими показниками оновлення основних засобів: ступінь їх зносу за офіційною статистичною методологією становив близько 30,6%, що було суттєво кращим за середній рівень у переробній промисловості, де показник спрацювання перевищував 60%. Цей стан забезпечувався активними капіталовкладеннями великого та середнього бізнесу в сучасну імпорتنу техніку протягом 2016–2021 років.

Проте військове вторгнення завдало катастрофічного удару по виробничих фондах агропромислового комплексу. Згідно з аналітичними звітами KSE Institute та Міністерства аграрної політики і продовольства України, прямі задокументовані збитки АПК України досягли \$10,3 млрд наприкінці 2024 року та зросли до \$12,1 млрд станом на початок 2026 року. Найбільшою статтею прямих втрат є саме сільськогосподарська техніка: обсяг руйнувань, викрадень та фізичного знищення рухомого складу машин перевищив \$7,1 млрд (проти \$5,8 млрд у 2023–2024 роках). Загалом бойовими діями було виведено з ладу або повністю знищено понад 130 тисяч одиниць сільгосптехніки [10]. Масштаби непрямих втрат галузі, спричинених падінням валового виробництва, здорожчанням енергоресурсів, порушенням логістичних ланцюгів через блокаду морських портів та диспаритетом цін, оцінюються в діапазоні від \$23,3 млрд до \$35,1 млрд [14].

Фізична втрата значної частки активної частини основних засобів спричинила колосальний дефіцит технічної потужності в рослинництві. За умов значного падіння обсягів капітальних інвестицій у сільське господарство, темпи відновлення яких не покривають навіть нормативного щорічного вибуття техніки (приріст капітальних інвестицій у галузі склав лише близько 7% у річному вираженні переважно за рахунок харчової переробки) [15], підприємства вимушені максимально подовжувати експлуатаційні строки наявних машин. За даними репрезентативних моніторингових вибірок аналітичної агенції Agrohub, у структурі машинно-тракторного парку українських агрокомпаній сформувалася стійка тенденція старіння. Вікову структуру, показники зниження продуктивності та особливості ремонтного навантаження машинно-тракторного парку агропідприємств деталізовано в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика вікового стану, зносу та операційно-виробничих стратегій використання машинно-тракторного парку агропідприємств

Вид сільськогосподарської техніки	Частка машин віком понад 12 років у парку, %	Зниження середнього сезонного наробітку машин віком >12 років, %	Питома вага техніки віком >12 років у ремонтних бюджетах, %	Домінуюча операційно-виробнича стратегія підприємств
Зернозбиральні комбайни	67	20	55	Перехід на модель оренди послуг зі збирання; мінімізація покупок нової техніки
Трактори універсальні (тяговий клас 3–5)	42	21	48	Пріоритетне пряме спрямування власних капітальних витрат на оновлення
Самохідні польові обприскувачі	38	20	44	Реновація діючих агрегатів; встановлення автономних систем розпилення
Сівалки точного висіву та посівні комплекси	46	28	51	Модернізація механічних висівних апаратів на електричні приводи

Джерело: розроблено автором за [16].

Аналіз технічного стану парку машин уможливорює виокремлення важливих економічних взаємозв'язків. Експлуатація техніки віком понад 12 років призводить до зниження середнього сезонного наробітку на 20–28% порівняно з новими зразками, що пояснюється частими простоями через аварійні несправності, збільшенням міжзміїних обслуговувань та необхідністю зменшення робочих швидкостей для збереження механічних вузлів. Водночас витрати на ремонтні роботи катастрофічно перерозподіляються на користь морально застарілої техніки: наприклад, 67% комбайнів віком понад 12 років формують понад 55% усіх фінансових витрат підприємств на технічне обслуговування збирального парку [16]. Створюється класична пастка технологічної деградації, коли кошти, які могли б слугувати першим внеском у фінансовий лізинг високопродуктивного комбайна, розпоршуються на закупівлю запчастин і підтримання життєздатності зношених вузлів.

У цих обставинах суб'єкти аграрного виробництва кардинально переглядають пріоритети технологічного оновлення. Капітальні витрати сьогодні фокусуються практично виключно на придбанні високоефективних універсальних тракторів високої потужності, здатних агрегатуватися з широким спектром ґрунтообробного та посівного знаряддя, тоді як комбайновий парк дедалі частіше заміщується операційним аутсорсингом, тобто залученням сторонніх сервісних підрядників на період жнив.

Поряд із реконфігурацією структури парку відбувається зміна базових технологій ґрунтообробітку. Традиційна відвальна оранка, яка характеризується надмірними енергетичними витратами (до 80–100 л дизельного пального на гектар повного циклу) та провокує втрату ґрунтової вологості й ерозійні процеси, системно витісняється ресурсозберігаючими інноваційними системами. Підприємства прискорюють інтеграцію систем мінімального (Mini-till), смугового (Strip-till) та нульового (No-till) обробітку ґрунту. Перехід на смуговий та нульовий обробіток скорочує витрати пального до 25–35 л/га, зменшує кількість проходів важких машинних агрегатів, запобігає руйнуванню ґрунтової капілярної сітки та покращує утримання вологості в кореневмісному шарі, що є критичним адаптаційним чинником за умов кліматичної аридизації. Водночас повноцінне впровадження консерваційного землеробства потребує специфічних важких сівалок прямого висіву з підвищеним тиском на сошник і пристроїв локального внесення добрив, що утримує малих фермерів від повноцінного технологічного переходу.

Цифровий сегмент інноваційного розвитку аграрного сектора виступає головним локомотивом підвищення ефективності виробництва, демонструючи найвищі темпи адопції та швидку економічну окупність порівняно з важким капітальним переоснащенням. Цифровізація розглядається не просто як автоматизація окремих операцій, а як побудова наскрізної архітектури збору, обробки, передачі та інтерпретації просторово-часових даних про біологічні об'єкти та виробничі активи підприємства.

Ґрунтуючись на методологічних висновках Дж. Ловенберга-ДеБоера щодо пакетного та поетапного сприйняття технологій точного землеробства, сучасний рівень цифровізації вітчизняного агробізнесу можна систематизувати за чотирма рівнями технологічної зрілості.

Початковий рівень включає рішення базового геопозиціонування техніки, паралельного водіння, встановлення курсовказівників та автоматичних автопілотів на базі супутникових сигналів GPS/GNSS з використанням RTK-корекції (Real-Time Kinematic), що забезпечує міліметрову точність руху агрегатів із похибкою до 2,0–2,5 см [17]. Цей сегмент в Україні практично досяг стадії технологічної зрілості: у середніх господарствах рівень проникнення автопілотів перевищує 70%, а у великих агрохолдингах становить 85–95%. Економічна ефективність цього рівня полягає у фізичному усуненні технологічних перекриттів між суміжними проходами та недопущенні необроблених огріхів, що автоматично скорочує споживання моторного палива на 10–15% і оптимізує внесення насіння, пестицидів і гранульованих туків на 8–12% [18].

Другий рівень цифровізації охоплює засоби дистанційного моніторингу та телеметрії польових процесів. Сюди належать регулярний моніторинг динаміки біомаси посівів за допомогою супутникових індексів вегетації (NDVI, NDRE), аерофотозйомка з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з мультиспектральними камерами, а також встановлення систем телеметрії на базі протоколів CAN-шини техніки, що інтегрують дані датчиків рівня пального, швидкості обертів двигуна, глибини обробітку та дотримання норм висіву [17]. Дистанційним супутниковим зондуванням нині охоплено понад 60% орних земель комерційного сектора України, що забезпечує оперативну ідентифікацію стресових ділянок поля, вогнищ спалаху бур'янів або хвороб і дає змогу оптимізувати обстеження з боку агрономічної служби.

Третій рівень передбачає диференційоване внесення матеріально-технічних ресурсів у режимі off-line за попередньо розробленими картами-завданнями або у режимі on-line за допомогою оптичних датчиків рослинності (наприклад, N-Sensor). Дана технологія базується на визначенні просторової неоднорідності родючості ґрунтів шляхом регулярного агрохімічного обстеження за регулярною сіткою (від 1 до 5 га) із використанням автоматизованих пробовідбірників та аналізу карт врожайності попередніх років, знятих комбайнами. Зарубіжні та вітчизняні емпіричні дослідження підтверджують, що в періоди загострення волатильності цін на мінеральні добрива економічна віддача від технологій диференційованого внесення фосфорно-калійних і азотних добрив зростає в кілька разів. Досягається загальне зменшення використання мінеральних туків на 15–25% за умови вирівнювання розвитку посівів, що трансформується у річну чисту економію від \$20 до \$80 на гектар [19]. Проте проникнення VRT в Україні все ще обмежене рівнем 18–24% суб'єктів через дефіцит спеціалізованих розкидачів, обприскувачів та висівних секцій із сервоприводами, керованими за протоколом ISOBUS.

Четвертий рівень інтегрує комплексні системи управління агровиробництвом (Farm Management Information Systems – FMIS), штучний інтелект і предиктивну аналітику. Платформи типу Cropwise Operations, SAS Agri або сервіси постачальників техніки забезпечують наскрізну синхронізацію телеметрії з обліковими ERP-системами підприємства (BAS, SAP), даними автоматичних польових метеостанцій та алгоритмами формування карт-завдань.

Рівень проникнення, питомі обсяги капіталовкладень та економічна віддача ключових кластерів цифрових технологій і точного землеробства відображені в таблиці 3.

Таблиця 3

Економічна ефективність та рівень поширення основних кластерів цифрових технологій і точного землеробства в Україні

Кластер цифрових технологій	Рівень поширення серед агропідприємств України, %	Орієнтовні питомі інвестиції, \$/га	Прямий виробничо-економічний ефект	Середній строк окупності капіталовкладень
Комплексний електронний аудит і точний обмір земельного банку (БПЛА, RTK)	65–75	2,5–3,5	Ліквідація до 5% похибок обліку площ; економія до \$100/га на фіктивних ділянках	1 виробничий сезон (до 10x ROI)
Системи паралельного водіння та автопілотування техніки (RTK 2 см)	70–80	4,0–7,0	Зниження споживання пального на 10–15%, зменшення перевитрат насіння й СЗР на 8–10%	1–1,5 сезону
Системи диференційованого внесення добрив і посіву (VRT)	18–24	15,0–30,0	Зменшення обсягів добрив на 15–25%; приріст рентабельності на \$20–80/га	2–3 сезони
Супутниковий моніторинг вегетації (NDVI) та польові дрони	50–60	1,5–3,0	Раннє виявлення вогнищ ураження, точкова десикація посівів, оптимізація оглядів	1 сезон
Комплексні системи управління агробізнесом (FMIS/ERP)	35–45	2,0–5,0	Вивільнення 20–30% робочого часу менеджменту, усунення крадіжок і нецільових витрат	1–2 сезони

Розроблено автором за [8, 18, 20].

Показники таблиці 3 наочно розкривають природу привабливості інструментів базової цифровізації. Особливе значення мають аудит та обмір фактичних меж земельних ділянок із використанням дронів і RTK-навігації. Як засвідчує досвід інтеграторів інновацій, зокрема компанії SmartFarming, фактичні похибки традиційних кадастрових карт та необліковані рельєфні зміщення нерідко сягають 5% площі земельного банку господарства. Для підприємства із земельним банком у 10 000 гектарів виявлення 200 «віртуальних» гектарів, на які щорічно списувалися посівний матеріал, системи удобрення, хімічного захисту та паливо, запобігає нецільовим втратам капіталу в обсязі близько \$100 тис. на рік за умови вартості самого аудиту на рівні лише \$3 на гектар [20]. Це забезпечує окупність інвестицій із десятикратним мультиплікатором уже в перший рік реалізації проєкту.

Водночас процес цифровізації вітчизняного агробізнесу характеризується вираженим феноменом «клаптикової діджиталізації». Більшість середніх підприємств має окремо встановлені системи супутникового стеження за технікою, використовує незалежні агрономічні додатки на смартфонах для скаутингу посівів та паралельно веде первинний бухгалтерський облік у застарілих програмах.

Між цими контурами відсутній безшовний обмін даними. Інформація накопичується розрізнено, потребує ручного перенесення аналітиками та не генерує автоматизованих керуючих команд для машинно-тракторного парку. Головним лімітуючим фактором у цьому аспекті є брак цифрової грамотності персоналу середньої ланки та дефіцит внутрішніх інтеграторів даних.

Розгортання повномасштабного інноваційного процесу в поточному періоді натрапляє на комплекс деструктивних факторів воєнного, фінансового та регуляторного характеру, які трансформують інвестиційну поведінку товаровиробників від розвитку до збереження ліквідності.

Першим фундаментальним бар'єром є різке стиснення галузевої прибутковості та вимивання фінансової подушки агропідприємств. За оцінками компанії Agrohub, показник EBITDA у рослинництві знизився з \$446 на гектар у 2024 році до \$405/га у сезоні 2025/2026 років. Світове падіння цін на зернову групу, помножене на надвисокі логістичні дисконти, призвело до того, що виробництво ключових експортних культур балансує на межі нульової рентабельності. Так, за зниження середньої врожайності озимої пшениці до 6,1 т/га точка беззбитковості її вирощування перебуває на рівні 5,98 т/га, і найменше зростання виробничих витрат або цінове просідання на 10% робить виробництво прямим джерелом збитків. За таких показників суб'єкти господарювання здійснюють різкий секвестр бюджетів розвитку, концентруючи залишки грошового потоку виключно на закупівлі обов'язкових змінних ресурсів для проведення польових робіт.

Іншим обмежувальним фактором є деформація кредитних каналів та обмеженість державних інструментів стимулювання інвестицій. В умовах воєнних загроз комерційні банки фактично згорнули беззаставні довгострокові інвестиційні програми кредитування технічного переозброєння. Головним рятівним каналом доступу до ліквідності залишається державна програма пільгового кредитування «Доступні кредити 5-7-9%». Станом на кінець 2025 року понад 5588 агропідприємств залучили через цей інструмент понад 36,6 млрд грн позикових коштів, чому сприяло урядове рішення про пролонгацію кредитних зобов'язань аграріїв за договорами воєнного часу до 31 березня 2027 року. Проте максимальний кредитний ліміт за програмою у розмірі 90 млн грн на одного позичальника та нагальна потреба у закритті касових розривів призводять до того, що понад 85% пільгового кредитного портфеля спрямовується на фінансування поточних обігових коштів (закупівля пального, ЗЗР, насіння), а не на капітальні інвестиції в інноваційні машини чи програмно-апаратні комплекси.

Третім викликом є наростаючий дефіцит кваліфікованого людського капіталу в сільській місцевості. Впровадження точного землеробства вимагає не просто механізаторів, а кваліфікованих операторів складної техніки, здатних налаштовувати термінали ISOBUS, коригувати сигнали RTK та інтерпретувати відхилення норм внесення під час роботи агрегата. Мобілізаційні заходи, внутрішнє переміщення та міграція населення за кордон спричинили гостру кадрову кризу. Непоодинокими є випадки, коли придбана високотехнологічна техніка з функціями посекційного відключення або диференційованого внесення експлуатується в примітивних ручних режимах через відсутність навченого оператора чи інженера точного землеробства на підприємстві.

Четверта група деструктивних чинників безпосередньо зумовлена наслідками бойових дій. Серед них виділяється високий рівень замінування та забруднення полів нерозірваними боєприпасами в прифронтових і деокупованих зонах, що унеможливує роботу широкозахватних комплексів і несе пряму загрозу життю операторів. Крім того, активне розгортання систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) вздовж лінії фронту та вглиб території держави на сотні кілометрів спричиняє систематичне придушення або спотворення супутникових сигналів GPS/GNSS. Це паралізує роботу автопілотів, спричиняє збої в диференційованому висіві та робить технологічно неможливим використання цивільних агробезпілотників для внесення засобів захисту рослин або трихограми через регуляторні заборони на польоти в повітряному просторі під час воєнного стану.

Подолання виявлених деформацій та забезпечення сталого інноваційного розвитку вимагають реалізації комплексу взаємодоповнюючих інституційно-економічних заходів:

1. Інституціоналізація та стимулювання моделі «Точне землеробство як послуга» (PaaS – Precision Agriculture as a Service). Оскільки індивідуальне придбання комплексу машин для диференційованого внесення, потужних посівних комплексів та обприскувачів вимагає значних капіталовкладень, малим і середнім виробникам економічно вигідно переходити на модель аутсорсингу технологічних послуг. Держава через інструменти грантової підтримки та пільгового лізингу має стимулювати створення регіональних сервісно-технологічних кооперативів і сервісних компаній, що володіють сучасними машинними комплексами та надають повний цикл робіт – від агрохімічного сканування до прецизійного висіву та збирання врожаю з картографуванням.

2. Трансформація структури пільгового кредитування та впровадження механізмів змішаного фінансування (Blended Finance). Програму «5-7-9%» необхідно функціонально сегментувати, виокремивши пільгову підпрограму «Технологічна модернізація та точне землеробство». Для цілей придбання енергозберігаючої техніки для технологій No-till/Strip-till, обладнання для диференційованого внесення добрив та встановлення локальних зрошувальних систем доцільно запровадити міжнародні кредитно-гарантійні механізми за участю міжнародних фінансових організацій (ЄБРР, ІФС, Світовий банк), за якими до 20–30% тіла інвестиційного кредиту безповоротно списується за умови досягнення верифікованих показників

ресурсозбереження та скорочення вуглецевого сліду.

3. Гармонізація цифрових реєстрів та забезпечення відкритих даних. Необхідно здійснити повну конвергенцію функціоналу Державного аграрного реєстру (ДАР), баз даних Державного земельного кадастру та геопорталів моніторингу природних ресурсів. Надання аграріям безперешкодного доступу до цифрових просторових шарів ґрунтового покриття, рельєфу та гідрологічної ситуації через стандартизовані API усуне бар'єри первинного аудиту земельного банку та надасть малим фермерам можливість безкоштовно використовувати публічні картографічні дані для планування польових робіт.

Створення державно-приватних освітньо-інноваційних кластерів. Для подолання гострого кадрового голоду на базі провідних аграрних університетів спільно з провідними агрохолдингами та дистриб'юторами техніки мають створюватися регіональні тренінгові полігони цифрової агрономії. Інтеграція спеціалізованих дисциплін із роботи з FMIS-системами, обробки геопросторових даних та сервісного обслуговування навігаційних контролерів у навчальні програми підготовки агрономів та інженерів дозволить наситити ринок спеціалістами нової генерації.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Проведене дослідження підтверджує, що інноваційна активність вітчизняних аграрних підприємств в умовах екстремальних шоків воєнного стану є безальтернативним фактором збереження виробничої та економічної життєздатності суб'єктів бізнесу. Попри загальне зниження позицій України в рейтингу Глобального інноваційного індексу до 66-го місця у 2024 році та формальне віднесення країни до категорії «скромних новаторів» за європейською методологією, агропродовольчий ланцюг демонструє компенсаторну інтенсифікацію інновацій. Зокрема, у переробних галузях частка інноваційно активних суб'єктів зросла з 9,6% у 2021 році до 22,7% у 2024 році, що зумовлено необхідністю глибинної диверсифікації продуктивних портфелів, впровадження енергоавтономних рішень та адаптації до вимог європейського ринку.

Фінансове забезпечення інноваційного процесу в сільському господарстві має критичні структурні деформації та характеризується гіпертрофованою залежністю від внутрішньої ліквідності господарств: понад 71,8% інноваційних витрат фінансується за рахунок власних коштів. Хронічне недофінансування наукової сфери, де наукоємність ВВП України становить лише 0,37% (порівняно з понад 2,24% у країнах ЄС), обмежує генерацію радикальних ендегенних інновацій. Як наслідок, в аграрному виробництві домінує імітаційно-адаптивна дифузія готових іноземних технологічних рішень, які є суб'єктивно новими лише для самого підприємства (70,5% інноваційної продукції).

Матеріально-технічна база агропромислового комплексу зазнала безпрецедентних руйнувань, що створило загрозу системної технологічної деградації. Прямі збитки АПК від війни сягнули \$12,1 млрд, із яких понад \$7,1 млрд припадає на знищену та пошкоджену техніку (близько 130 тис. одиниць). Фізичне вибуття техніки спричинило стрімке старіння машинно-тракторного парку, де питома вага зернозбиральних комбайнів віком понад 12 років сягнула 67%. Така техніка знижує середній наробіток на 20% і поглинає 55% усіх ремонтних витрат, відволікаючи кошти від оновлення активів. Відповіддю агробізнесу на ці виклики став перехід до оренди збиральних комплексів, пріоритетне інвестування в універсальні тягові енергозасоби та прискорений перехід на ресурсозберігаючі консерваційні технології обробітку ґрунту (Mini-till, Strip-till, No-till), що знижують споживання пального в 2–3 рази.

Цифровізація сформувалася як найдинамічніший напрям якісного оновлення агробізнесу завдяки швидкій окупності та прямому ресурсозберігаючому ефекту. Технології базової супутникової навігації та автопілотування техніки із сантиметровою точністю досягли проникнення на рівні 70–80% підприємств, забезпечуючи економію палива на 10–15% і посівного матеріалу на 8–10%. Водночас технології диференційованого внесення добрив (VRT) залишаються доступними лише для 18–24% суб'єктів через високу капіталоемність модернізації причіпного парку машин, попри їхню здатність генерувати чистий ефект у розмірі \$20–80 на гектар. Основною перешкодою розгортання цифрових екосистем залишається «клаптикова цифровізація» – відсутність безшовної інтеграції між телеметрією машин, дистанційним моніторингом, даними метеостанцій та системами бухгалтерського й управлінського обліку.

Головними детермінантами, що стримують повномасштабне технологічне оновлення галузі в сучасних умовах, є звуження операційної рентабельності рослинництва (падіння EBITDA до \$405/га та наближення пшениці до межі окупності), недоступність довгострокових інвестиційних комерційних кредитів, мобілізаційний дефіцит операторів складної техніки, придушення супутникових сигналів системами радіоелектронної боротьби, мінування земель і дефіцит електроенергії. Пільгове кредитування за програмою «5-7-9%», попри залучення понад 36,6 млрд грн, виконує насамперед функцію підтримки ліквідності обігового капіталу, а не стимулювання технічного переозброєння.

Стратегічні вектори активізації інноваційної діяльності аграрних підприємств мають базуватися на комплексі скоординованих заходів. По-перше, необхідна диференціація державної підтримки з виділенням спеціалізованих інвестиційних кредитів на енергоефективне обладнання та технології точного землеробства із залученням інструментів змішаного фінансування (Blended Finance) та грантового списання частини боргу міжнародними фінансовими інституціями. По-друге, розширення моделі «Точне землеробство як послуга»

(РАaaS) дасть змогу малим і середнім фермерам отримувати доступ до високоточних технологій без непосильного капітального навантаження. По-третє, інтеграція цифрових земельних реєстрів і геопорталів відкритих даних усуне транзакційні витрати на базовий аудит полів. Нарешті, реалізація державно-приватних партнерств між закладами вищої освіти та бізнесом у сфері підготовки цифрових агроінженерів забезпечить інноваційні трансформації необхідним людським потенціалом, дозволяючи вітчизняному аграрному сектору подолати наслідки руйнувань і вийти на якісно новий рівень технологічної конкурентоспроможності на світовому ринку.

Література

1. Шумпетер Й. А. *Теорія економічного розвитку: Дослідження підприємницького прибутку, капіталу, кредиту, відсотка та економічного циклу* / пер. з нім. В. Старка. Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія». 2011. 272 с.
2. Griliches Z. Research Costs and Social Returns: Hybrid Corn and Related Innovations. *Journal of Political Economy*. University of Chicago Press. 1958. vol. 66(5), pp. 419-419. DOI: <https://doi.org/10.1086/258077>
3. Lowenberg-DeBoer J., Erickson B. Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption. *Agronomy Journal*. 2019. №111. pp. 1552-1569. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>
4. Lowenberg-DeBoer J., Huang I.Y., Grigoriadis V. et al. Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agric.* 2020. № 21. Pp. 278–299. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09667-5>
5. Wu L, Li S, Dinis F, Han-Ning W. The Economics of Precision Agriculture (PA) and Resource Efficiency: Digital Technologies for Sustainable and Profitable Farming. *Sustainability*. 2026. Vol. 18(15):7512. DOI: <https://doi.org/10.3390/su18157512>
6. Вдовенко Н. М., Коваленко Н. В., Козлова А. І. Цифровізація як ключовий елемент організаційно-економічного механізму інноваційної діяльності аграрних підприємств. *Актуальні питання економічних наук*. 2025. № 10. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15977095>
7. Людвік І. І. Інноваційний розвиток АПК України в умовах глобалізації ринків дис. ... д-ра філософії : 051 Економіка. Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2025. URL: https://vsau.org/assets/images/general/nauka/razovi-radu/dysertatsiia_Liudvika-I_I.pdf
8. Ступка В. Особливості управління сільськогосподарськими підприємствами в умовах цифровізації. *Економіка та суспільство*. 2025. № 77. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-33>
9. Інноваційний розвиток промисловості як складова структурної трансформації економіки України : аналіт. доп. / О. В. Собкевич, А. І. Сухоруков, А. В. Шевченко [та ін.] ; за ред. Я. А. Жаліла. Київ : НІСД, 2014. 152 с. (Сер. «Економіка», вип. 15). URL: https://www.niss.gov.ua/sites/default/files/2014-05/Ekonomika_15-694c8.pdf
10. Прямі збитки інфраструктури України через війну зросли до \$170 млрд — оцінка KSE Institute станом на листопад 2024 року. URL: <https://kse.ua/news/pryami-zbitki-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-zrosli-do-170-mlrd-otsinka-kse-institute-stanom-na-listopad-2024-roku/>
11. The Global Competitiveness Index 4.0 Methodology and Technical Notes. The Global Competitiveness Report 2020. URL: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/04Backmatter/3.%20Appendix%20C.pdf>
12. Інноваційна діяльність промислових підприємств в Україні під час повномасштабної війни. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/innovatsiyna-diyalnist-promyslovykh-pidpryemstv-v-ukrayini-pid-chas>
13. Наукова, науково-технічна та інноваційна діяльність в Україні у 2023 році: науково-аналітична доповідь / Т. В. Писаренко, Т. К. Куранда та ін. Київ: УкрІНТЕІ, 2024. 108 с. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/nauka/informatsiyno-analitychni/2024/05.08.2024/Naukovo-analitychna.dopovid-Naukova.naukovo-tekhnichna.ta.innovatsiyna.diyalnist.v.Ukrayini.u.2023.rotsi-05.08.2024.pdf>
14. Огляд збитків та втрат в АПК. URL: <https://kse.ua/kse-institute/oglyad-zbytktiv-ta-vtrat-v-apk/>
15. Капітальні інвестиції в АПК України у 2025 році зросли на 7%. URL: <https://www.milkua.info/uk/post/kapitalni-investicii-v-apk-ukraini-u-2025-roci-zrosli-na-7>
16. Прибутковість агровиробництва знизилася на 9%: Agrohub назвав фактичний EBITDA сезону 2025. URL: <https://www.growhow.in.ua/prybutkovist-ahrovyrobnystva-znyzylasia-na-9-agrohub-nazvav-faktychnyy-ebitda-sezonu-2025/>
17. ГІС-технології у сільському господарстві України. URL: <https://weagro.ua/blog/gis-tehnologiyi-u-silskomu-gospodarstvi-ukrayiny/>
18. План впровадження точного землеробства – покрокова інструкція. URL: <https://svoboda.te.ua/plan-vprovadzhennya-tochnogo-zemlerobstva-pokrokovaya-instrukciya/>
19. Boehlje M., Langemeier M. Adoption of Precision Agriculture Technologies. *farmdoc daily* (11): 47, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, March 26, 2021. URL: <https://farmdocdaily.illinois.edu/2021/03/adoption-of-precision-agriculture-technologies.html>
20. Ефективність точного землеробства в цифрах. URL: <https://ifarming.ua/resursi/efektyvnist-tochnogo-zemlerobstva-v-cyfrah>

References

1. Schumpeter, J. A. (2011) *Teoriia ekonomichnoho rozvytku: Doslidzhennia pidpriemnytskoho prybutku, kapitalu, kredytu, vidсотka ta ekonomichnoho tsykladu* [The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle]. Translated from German by V. Starka. Kyiv: Vydavnychiy dim "Kyievo-Mohylianska akademiia" [in Ukrainian].
2. Griliches, Z. (1958) Research Costs and Social Returns: Hybrid Corn and Related Innovations, *Journal of Political Economy*, vol. 66, no. 5, pp. 419–431. <https://doi.org/10.1086/258077>
3. Lowenberg-DeBoer, J. and Erickson, B. (2019) Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption, *Agronomy Journal*, vol. 111, no. 4, pp. 1552–1569. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>
4. Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I. Y., Grigoriadis, V. and Sears, S. (2020) Economics of robots and automation in field crop production, *Precision Agriculture*, vol. 21, no. 2, pp. 278–299. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09667-5>
5. Wu, L., Li, S., Dinis, F. and Wang, H. N. (2026) The Economics of Precision Agriculture (PA) and Resource Efficiency: Digital Technologies for Sustainable and Profitable Farming, *Sustainability*, vol. 18, no. 15, art. 7512. <https://doi.org/10.3390/su18157512>
6. Vdovenko, N. M., Kovalenko, N. V. and Kozlova, A. I. (2025) Tsyfrovizatsiia yak kliuchovyi element orhanizatsiino-ekonomichnoho mekhanizmu innovatsiinoi diialnosti ahrarnykh pidpriemstv [Digitalization as a key element of the organizational and economic mechanism of innovative activity of agricultural enterprises], *Aktualni pytannia ekonomichnykh nauk*, no. 10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15977095> [in Ukrainian].
7. Liudvik, I. I. (2025) *Innovatsiinyi rozvytok APK Ukrainy v umovakh hlobalizatsii rynkiv* [Innovative development of the agricultural sector of Ukraine under conditions of market globalization]. PhD thesis. Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia. Available at: https://vsau.org/assets/images/general/nauka/razovi-radu/dysertatsiia_Liudvika-I_I.pdf [in Ukrainian].
8. Stupka, V. (2025) Osoblyvosti upravlinnia silskohospodarskymy pidpriemstvamy v umovakh tsyfrovizatsii [Peculiarities of management of agricultural enterprises under digitalization], *Ekonomika ta suspilstvo*, no. 77. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-33> [in Ukrainian].
9. Sobkevych, O. V., Sukhorukov, A. I., Shevchenko, A. V. et al. (2014) *Innovatsiinyi rozvytok promyslovosti yak skladova strukturnoi transformatsii ekonomiky Ukrainy* [Innovative development of industry as a component of structural transformation of Ukraine's economy]. Analytical Report. Edited by Ya. A. Zhalilo. Kyiv: NISS. Available at: https://www.niss.gov.ua/sites/default/files/2014-05/Ekonomika_15-694c8.pdf [in Ukrainian].
10. KSE Institute (2024) *Priami zbytki infrastruktury Ukrainy cherez viinu zrosly do \$170 mlrd — otsinka KSE Institute stanom na lystopad 2024 roku* [Direct infrastructure damage in Ukraine due to war increased to \$170 billion — KSE Institute assessment as of November 2024]. Available at: <https://kse.ua/news/pryami-zbitki-infrastruktury-ukrayini-cherez-viynu-zrosli-do-170-mlrd-otsinka-kse-institute-stanom-na-listopad-2024-roku> [in Ukrainian].
11. World Economic Forum (2020) *The Global Competitiveness Index 4.0 Methodology and Technical Notes*. The Global Competitiveness Report 2020. Geneva: World Economic Forum. Available at: <http://www3.weforum.org/docs/GCR2018/04Backmatter/3.%20Appendix%20C.pdf>
12. National Institute for Strategic Studies (2024) *Innovatsiina diialnist promyslovykh pidpriemstv v Ukraini pid chas povnomasshtabnoi viiny* [Innovative activity of industrial enterprises in Ukraine during full-scale war]. Kyiv: NISS. Available at: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/innovatsiyna-diialnist-promyslovykh-pidpriemstv-v-ukrayini-pid-chas> [in Ukrainian].
13. Pysarenko, T. V., Kuranda, T. K. et al. (2024) *Naukova, naukovo-tekhnichna ta innovatsiina diialnist v Ukraini u 2023 rotsi* [Scientific, scientific-technical and innovation activity in Ukraine in 2023]. Scientific and Analytical Report. Kyiv: UkrINTEI. Available at: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/nauka/informatsivno-analitychni/2024/05.08.2024/Naukovo-analitychna.dopovid-Naukova.naukovo-tekhnichna.ta.innovatsiyna.diialnist.v.Ukrayini.u.2023.rotsi-05.08.2024.pdf> [in Ukrainian].
14. KSE Institute (2025) *Ohliad zbytkiv ta vtrat v APK* [Review of damages and losses in the agricultural sector]. Kyiv: Kyiv School of Economics. Available at: <https://kse.ua/kse-institute/oglyad-zbytkiv-ta-vtrat-v-apk/> [in Ukrainian].
15. MilkUA (2025) *Kapitalni investysii v APK Ukrainy u 2025 rotsi zrosly na 7%* [Capital investments in Ukraine's agricultural sector increased by 7% in 2025]. Available at: <https://www.milkua.info/uk/post/kapitalni-investicii-v-apk-ukraini-u-2025-roci-zrosli-na-7> [in Ukrainian].
16. GrowHow (2025) *Prybutkovist ahrovyrobnytstva znyzylasia na 9%: Agrohuby nazvav faktychnyi EBITDA sezonu 2025* [Agricultural profitability decreased by 9%: Agrohubs named actual EBITDA of 2025 season]. Available at: <https://www.growhow.in.ua/prybutkovist-ahrovyrobnytstva-znyzylasia-na-9-agrohuby-nazvav-faktychnyy-ebitda-sezonu-2025/> [in Ukrainian].
17. WEAGRO (2024) *HIS-tehnologii u silskomu hospodarstvi Ukrainy* [GIS technologies in agriculture of Ukraine]. Available at: <https://weagro.ua/blog/gis-tehnologiyi-u-silskomu-gospodarstvi-ukrayiny/> [in Ukrainian].
18. Svoboda (2024) *Plan vprovadzhennia tochnoho zemlerobstva – pokrokovyi instruktsiia* [Precision agriculture implementation plan – step-by-step guide]. Available at: <https://svoboda.te.ua/plan-vprovadzhennya-tochnogo-zemlerobstva-pokrokovyi-instruktsiya/> [in Ukrainian].
19. Boehlje, M. and Langemeier, M. (2021) Adoption of Precision Agriculture Technologies, *farmdoc daily*, vol. 11, art. 47. Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign. Available at: <https://farmdocdaily.illinois.edu/2021/03/adoption-of-precision-agriculture-technologies.html>
20. iFarming (2024) *Efektivnist tochnoho zemlerobstva v tsyfrakh* [Efficiency of precision agriculture in figures]. Available at: <https://ifarming.ua/resursi/efektivnist-tochnogo-zemlerobstva-v-cyfrakh> [in Ukrainian].