

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-85-64>

УДК 338.43:004.9

ОБМЕЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВОЇ ЗРІЛОСТІ ДЛЯ АГРОПРОДОВОЛЬЧИХ СИСТЕМ

LIMITATIONS OF DIGITAL MATURITY MODELS FOR AGRI-FOOD SYSTEMS

Кондратюк Дмитро Миколайович

кандидат економічних наук,
старший викладач кафедри менеджменту та маркетингу,
Поліський національний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7220-3568>

Kondratiuk Dmytro
Polissia National University

Проаналізовано чотири моделі оцінювання цифрової зрілості (CMMI, Acatech Industrie 4.0 MI, Deloitte DMM, Digital Vortex) щодо застосовності до агропродовольчого сектору. Порівняння здійснено за шістьма критеріями: предмет оцінювання, рівень агрегації, секторальна орієнтація, нормативний вимір, часова динаміка та емпірична валідація. Виявлено п'ять системних вад: монособ'єктність, приховану галузеву упередженість, нормативну глухоту, ігнорування сезонної ритмічності та інституційну нечутливість. Обґрунтовано, що природозалежність виробничого результату, структурна гетерогенність суб'єктів та системна взаємозалежність учасників ланцюга унеможливають пряме перенесення універсальних моделей на аграрний контекст. Сформульовано вимоги до секторально адекватної методології оцінювання.

Ключові слова: цифрова зрілість, цифрова трансформація, агропродовольчі системи, моделі зрілості, цифровізація аграрного сектору.

The article presents a critical comparative analysis of four models for assessing digital maturity in terms of their applicability to the agri-food sector. The objects of analysis are CMMI, Acatech Industrie 4.0 Maturity Index, Deloitte Digital Maturity Model, and Digital Vortex as representatives of successive generations of management thought from the process paradigm to systemic industry dynamics. The relevance is due to the fact that the tools for assessing digital maturity were developed for industry and telecommunications and are mechanically transferred to the agricultural context without taking into account the nature dependence of the production result, the structural heterogeneity of subjects, and the systemic interdependence of chain participants. The methodology is built on a deductive comparative analysis of the specifications and methodological documents of the four models according to six criteria: the subject of assessment, the level of aggregation, sectoral orientation, normative dimension, time dynamics, and empirical validation. The criteria are derived from the theoretical provisions of agrarian economics on the specifics of agri-food systems. The analysis revealed five systemic flaws common to all models. Mono-subjectivity limits the assessment to the level of an individual enterprise without aggregation mechanisms for chains or clusters. Hidden sectoral bias is manifested through criteria that reflect the realities of industrial business despite the declared universality. Regulatory deafness excludes compliance with regulatory standards, critical for European integration. Ignoring time dynamics does not take into account seasonality and multi-year investment cycles. Institutional insensitivity leaves out trust between participants, financial support mechanisms, and the stability of the regulatory framework. None of the models meets the requirements of the Agriculture 5.0 concept. Five requirements for a sectorally adequate methodology are formulated: multi-level aggregation, sector-specific indicators, regulatory dimension, information connectivity between participants, and consideration of the institutional context. The practical value lies in the formation of a theoretical basis for the development of tools capable of taking into account the multi-level structure of agri-food systems.

Keywords: digital maturity, digital transformation, agri-food systems, maturity models, agricultural sector digitalization.

Постановка проблеми. Термін «цифрова трансформація» набув широкого вжитку в академічному дискурсі та управлінській

практиці. Попри це, єдиного загальноприйнятого визначення в науковій спільноті не існує. G. Vial, опрацювавши 282 публікації з



літератури з інформаційних систем, констатував відсутність цілісного уявлення про природу та наслідки цифрової трансформації [1]. Такий стан справ породжує цілком конкретну методологічну проблему. Одні автори ототожнюють трансформацію із запровадженням конкретних технологій, інші розглядають її як реструктуризацію бізнес-моделей. Частина дослідників акцентує увагу на зміні організаційної культури, частина трактує її як системний галузевий зсув.

Ця концептуальна неоднорідність особливо гостро виявляється в агропродовольчому секторі. Бібліометричний аналіз A.G. Manta, що охопив публікаційний масив за 2004-2025 рр., фіксує виражений сплеск дослідницької активності у сфері цифровізації агропродовольчих систем лише після 2020 р. [2]. У суміжних галузях відповідні концептуальні підходи сформувалися значно раніше. Таке запізнення означає, що інструментарій оцінювання цифрової зрілості, розроблений для промисловості та телекомунікацій, механічно переноситься на аграрний контекст без урахування його специфіки.

Основна проблема полягає в тому, що без адекватного діагностичного інструменту управління цифровою трансформацією агропродовольчих систем залишається інтуїтивним. Якщо об'єкт вимірювання визначений нечітко, будь-який діагностичний інструмент позбавлений методологічної підстави ще до початку свого застосування. Саме тому критичний аналіз наявних моделей оцінювання цифрової зрілості є необхідним кроком перед розробкою галузево адекватного інструментарію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження цифрової трансформації пройшло три послідовні хвилі. Перша (до 2010 року) перебувала в полоні технологічного детермінізму. Адже цифровізацію ототожнювали з масштабним ІТ-проектом. Вже тоді E. Brynjolfsson та L.M. Hitt встановили, що саме організаційні інвестиції визначають реальну цінність ІТ-вкладень [3], а N. Melville з колегами систематизували цю логіку в інтегративну модель [4]. Друга хвиля (2010-2018 рр.) ознаменувалась організаційним поворотом. A. Hanelt та ін. встановили, що цифрова трансформація лише частково охоплюється традиційними концептуальними рамками організаційних змін [5]. Третя хвиля (з 2018 року) зосередилась на системному рівні. В цей час трансформацію почали розглядати як явище, що переформатовує цілі галузі й екосистеми.

В аграрному секторі описана еволюція відставала від загального тренду орієнтовно на 5-7 років. Суттєва частка досліджень зосереджена на окремих технологіях (прецизійному землеробстві, блокчейні, IoT-сенсорах) і оминає системні питання стратегічного управління трансформацією. S. Wolfert та ін. зафіксували, що поширення Big Data у смарт-фармінгу супроводжується невирішеними соціо-економічними викликами, зокрема щодо власності на дані, бізнес-моделювання та управлінської координації між учасниками ланцюга [6]. Для України ця прогалина є особливо відчутною. За даними О. Гриневич та ін., технології точного землеробства охоплюють не більше 15% сільськогосподарських угідь [7]. Структурна неоднорідність аграрного сектору, де рівень цифровізації варіюється від базових процесів до повноцінних екосистем [12], це додатково ускладнює діагностику. E. Brynjolfsson та L.M. Hitt дійшли аналогічного висновку, стосовно того, що технологічна оснащеність без організаційної готовності не забезпечує трансформаційного ефекту [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний масив досліджень, залишається невирішеним питання адекватності наявних моделей цифрової зрілості для агропродовольчого сектору. D. Reyes Domínguez та ін. на основі аналізу 75 моделей Industry 4.0/5.0 фіксують суттєве зміщення секторального охоплення у бік виробництва [8]. P.P. Senna та ін. у систематичному огляді 55 моделей встановили, що близько половини не мають ані галузевої специфікації, ані емпіричної валідації [9]. Ці факти підтверджують неможливість застосування єдиних трансформаційних моделей незалежно від галузевого контексту.

Формулювання цілей статті. Метою статті є критичний аналіз чотирьох поширених моделей оцінювання цифрової зрілості та виявлення їхніх системних обмежень при застосуванні до агропродовольчих систем. Завдання дослідження охоплюють систематизацію еволюції підходів до оцінювання цифрової зрілості, порівняльний аналіз моделей CMMI, Acatech Industrie 4.0 MI, Deloitte DMM та Digital Vortex за визначеними критеріями. Окремим завданням є формулювання теоретичних положень щодо вимог до секторально адекватної методології оцінювання.

Вперше здійснено систематизацію обмежень чотирьох моделей цифрової зрілості за п'ятьма критеріями. Це монособ'єктність, галузева упередженість, нормативна глухота,

відсутність часової динаміки та інституційна нечутливість. Така систематизація дозволила кваліфікувати виявлені обмеження як структурні властивості наявного інструментарію. Окрім того, теоретично обґрунтовано п'ять вимог до секторально адекватної методології оцінювання цифрової зрілості агропродовольчих систем. Серед них мультирівнева агрегація, галузево специфічні індикатори, нормативний вимір, інформаційна зв'язність між учасниками системи та врахування інституційного контексту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження побудоване на методі дедуктивного порівняльного аналізу документів. Джерельну базу склали офіційні специфікації та методичні документи чотирьох моделей: CMMI V3.0, Acatech Industrie 4.0 MI Update 2020, Deloitte/TM Forum DMM V4.1-V5.0 та Digital Vortex. Додатково залучено систематичні огляди та порівняльні аналізи моделей цифрової зрілості [8; 9]. Критерії порівняння сформовано дедуктивно. Їх виведено з теоретичних положень про специфіку агропродовольчих систем, зафіксованих у літературі з аграрної економіки [6; 11; 21; 22]. Ці положення охоплюють природозалежність виробничого результату, структурну гетерогенність суб'єктів, системну взаємозалежність і подвійну функцію сектору (економічну та соціальну). Кожну модель проаналізовано за шістьма критеріями: предмет оцінювання, рівень агрегації, секторальна орієнтація, наявність нормативного виміру, врахування часової динаміки та емпірична валідація.

Вибір чотирьох моделей обумовлений їхньою репрезентативністю для послідовних поколінь управлінської думки. CMMI (1991) закріпила процесну парадигму, Acatech Industrie 4.0 MI (2017) перемістила фокус на технологічні стадії, Deloitte DMM (2012, оновлення до 2025) розширила предмет до організаційної культури, Digital Vortex (2015) вийшов на рівень системної галузевої динаміки. Разом вони утворюють еволюційний ланцюг, що дозволяє ідентифікувати системні обмеження інструментарію.

Подальший аналіз спирається на усталене в літературі розрізнення між трьома процесами. M. Gradillas та L.D.W. Thomas на основі систематичного огляду встановили, що відсутність чіткого розрізнення між оцифруванням і цифровізацією залишається одним із головних джерел термінологічної плутанини в дослідженнях цифрової трансформації [10]. Оцифрування (digitization) є суто тех-

нічною операцією перекодування аналогової інформації у цифровий формат. Цифровізація (digitalization) передбачає використання цифрових технологій для перебудови наявних операційних процесів. Цифрова трансформація (digital transformation) є якісно відмінною категорією. В ній організації реагують на зміни у своєму середовищі і застосовують цифрові технології для перебудови шляхів створення цінності [1].

Підприємство здатне повністю цифровізувати свої операційні процеси і водночас не зазнати жодних трансформаційних змін у бізнес-моделі. Повноцінна цифрова трансформація виявляється лише тоді, коли цифрові технології зумовлюють системну реконфігурацію відносин між учасниками ланцюга. Це розрізнення є принципово важливим, адже кожна з розглянутих моделей по-різному фіксує межі між трьома процесами.

Термін «Сільське господарство 4.0» (Agriculture 4.0) запозичений із риторики «Індустрії 4.0» і фіксує четверту технологічну революцію в аграрному виробництві через інтеграцію кіберфізичних систем, IoT-технологій, штучного інтелекту та великих масивів даних [11]. Проте між промисловим і аграрним контекстами існує принципова асиметрія. В промисловості «четверта революція» безпосередньо продовжувала автоматизацію третьої. Тоді як у сільському господарстві автоматизація «третього» етапу так і не набула порівняльного охоплення. Значна частина аграрних підприємств намагається впровадити технології «четвертого» покоління в операційне середовище, яке відповідає першому або другому. Л.Л. Лазебник та В.О. Войтенко підтверджують цю тезу тим, що різні рівні сільгоспвиробництва України одночасно перебувають на різних ступенях цифрового розвитку [12].

Концепція «Сільського господарства 5.0» прагне подолати обмеження попереднього горизонту через включення людиноцентричності, стійкості до зовнішніх шоків і регенеративного потенціалу агросистем [13]. Жодна з чотирьох моделей, розглянутих далі, не містить інструментарію для оцінювання цих вимірів. Розрив між потребами аграрного сектору та можливостями наявних моделей зрілості продовжує зростати.

Capability Maturity Model Integration виникла у 1980-х роках як інструмент верифікації розробників програмного забезпечення для федерального уряду США. Предметом оцінювання є процес, а саме його відтвореність, керованість та вдосконалюваність

незалежно від конкретних виконавців [14; 15]. Перенесення СММІ на агропродовольчий сектор натрапляє на принципові суперечності. Модель передбачає якісний процес надійною передумовою якісного результату. В аграрному виробництві це надмірне спрощення. Оскільки виробничий результат критично залежить від некерованих кліматичних факторів. Інша суперечність полягає в структурній неоднорідності суб'єктів. Дрібне фермерське господарство і великий агрохолдинг функціонують у принципово різних управлінських реальностях. Для великих агрохолдингів доступний повний спектр рівнів цифрового розвитку, тоді як невеликі виробники обмежені початковими двома [12]. Єдина шкала СММІ неминуче вимірюватиме лише підприємства, які вже відповідають її імпліцитним передумовам. Нарешті, СММІ є підприємницьким інструментом і принципово не ставить питань мезо- та макроагрегації.

Ця модель є, мабуть, найбільш теоретично опрацьованою з-поміж розглянутих. Шість стадій побудовані навколо концепції «навчальної, гнучкої організації». Передбачається, що виробнича система самостійно адаптується до змін через аналіз даних і автономне прийняття рішень [16]. Концепція є теоретично стрункою і практично актуальною для автомобілебудування або хімічної промисловості. Проте вона неминуче виявляє власні межі при зіткненні з аграрною специфікою. Що означає «навчальна фабрика» стосовно молочної ферми або виноградника? Ферма на найвищій стадії «адаптивності» все одно не здатна запрограмувати підвищену молочну продуктивність або відмінити посуху. Виробничий детермінізм моделі є прийнятною ідеалізацією для промисловості. Для аграрного виробництва він є хибним твердженням.

Ф.А.Р. Peres та ін. зафіксували, що харчова промисловість відстає від інших секторів у впровадженні рішень Industry 4.0. Вона залишається на ранніх стадіях цифровізації. Більшість наукових пропозицій у цій сфері є теоретичними або виконаними у лабораторному масштабі [17]. Для первинного сільськогосподарського виробництва ця проблема є ще більш гострою.

Модель Deloitte DMM, розроблена спільно з TeleManagement Forum, охоплює п'ять вимірів (клієнт, стратегія, технологія, операції, організація і культура) та 179 індивідуальних критеріїв [18]. Пізніше додано шостий вимір (дані) [19], а версія 5.0 (2024-2025) доповнила структуру наскрізними важелями. Такими як

штучний інтелект, автономність, екосистемна співпраця та кіберстійкість [20]. Попри ці розширення, модель залишається позиційованою як стандарт для телекомунікаційних провайдерів. При накладанні на агропродовольчу сферу виникають або очевидні невідповідності, або настільки суттєве переінтерпретування критеріїв, що від оригінальної моделі лишається лише формальна рамка.

С. Krupitzer та А. Stein підтвердили, що харчова промисловість залишається сектором, де потенціал цифровізації досі не реалізований [21]. В. Кифяк зафіксувала залежність цифровізації аграрного бізнесу від кліматичних чинників та необхідність адаптації технологій до специфіки конкретного суб'єкта. Додатковим обмеженням є переважання малих і середніх виробників з обмеженим фінансовим потенціалом [22].

Концептуальну рамку Digital Vortex розроблено дослідниками IMD та Cisco для опису міжгалузевої динаміки цифрової дисrupції [23]. Ключова ідея полягає в тому, що цифрові претенденти руйнують усталені ланцюги вартості, атакуючи конкурентів у найвразливіших точках. Для агропродовольчих систем ця рамка є частково евристичною. Проте вона містить яскраво виражений ринковий детермінізм. Зокрема, головним рушієм трансформації оголошується конкурентний тиск. В агропродовольчому контексті ця передумова хибна. Значна частина систем функціонує на регульованих ринках, де ринкова сигналізація спотворена субсидіями, квотами та стандартами. R. Finger на основі огляду літератури констатує, що розрив між великими і малими суб'єктами має стійкий характер. Так, обмежені фінансові ресурси та дефіцит цифрових компетенцій суттєво звужують можливості малих виробників [24].

Таблиця 1 унаочнює ключову закономірність. Еволюція від СММІ до Digital Vortex являє собою послідовне ускладнення предмету аналізу, від керованості процесу до системної конкурентної динаміки. Водночас усі чотири моделі залишаються підприємницькими за рівнем агрегації (за частковим винятком Digital Vortex) та не враховують ані нормативного, ані часового виміру. Жодна з них не відповідає вимогам концепції «Сільського господарства 5.0».

Порівняльний аналіз виявляє п'ять методологічних вад системного характеру. Першою є моносуб'єктність. Усі чотири моделі оцінюють цифрову зрілість одного суб'єкта і не передбачають механізмів агрегування оці-

Таблиця 1

Порівняльна характеристика моделей цифрової зрілості за критеріями застосовності до агропродовольчого сектору

Критерій порівняння	CMMI	Acatech Industrie 4.0 MI	Deloitte DMM	Digital Vortex
Предмет оцінювання	Відтворюваність процесів	Технологічна зрілість та стратегічна гнучкість	Культура, стратегія, клієнт, операції, дані	Конкурентна динаміка цифрової дисrupції
Рівень агрегації	Підприємство	Підприємство	Підприємство	Галузь (описовий)
Секторальна орієнтація	ІТ та програмна розробка	Промислове виробництво	Телекомунікації	Декларативно галузево-нейтральна
Нормативний вимір	Відсутній	Відсутній	Відсутній	Відсутній
Урахування часової динаміки	Не передбачено	Не передбачено	Не передбачено	Не передбачено
Емпірична валідація	Так (ІТ-сектор)	Так (промисловість)	Так (телекомунікації)	Ні (концептуальна рамка)
Урахування природозалежності виробничого результату	Не передбачено	Не передбачено	Не передбачено	Не передбачено
Урахування інституційного середовища	Не передбачено	Не передбачено	Не передбачено	Не передбачено

Джерело: сформовано автором на основі [14; 15; 16; 18; 19; 20; 23]

нок для ланцюгів, кластерів або систем. Це відображає теоретичну передумову, що основним агентом трансформації є підприємство. В агропродовольчому секторі трансформаційні ефекти визначаються взаємодіями між безліччю різнорівневих суб'єктів.

Друга вада полягає у прихованій галузевій упередженості. Попри позиціонування як «галузево-нейтральних», критерії та порогові значення де-факто відображають реалії промислового або сервісного бізнесу [8; 9]. Третя вада стосується нормативної глухоти. Вона полягає в тому, що жодна з моделей не інтегрує вимір відповідності регуляторним стандартам, тоді як для агропродовольчих систем у контексті євроінтеграції це прямиий стратегічний пріоритет.

Четверта вада стосується часової динаміки. Сезонність, багаторічні інвестиційні цикли, тривалі строки адаптації у тваринництві не знаходять відображення у жодній з моделей. М.В. Негрей встановила, що цифровізація вітчизняного аграрного сектору розвивається за сценарієм «легкої цифровізації» з базовим рівнем впровадження технологій [25]. Більшість підприємств перебуває на початкових стадіях, для яких моделі зрілості,

розроблені для зрілих цифрових середовищ, є априорі нерелевантними.

П'ятою системною вадою є інституційна нечутливість. Жодна з моделей не враховує якість інституційного середовища як чинника трансформації. С. Lou та співавтори зафіксували дефіцит довіри між учасниками молочного ланцюга постачання України як ключовий бар'єр [28]. Р. Гапонюк встановив, що держава є одним із ключових чинників формування інвестиційного потенціалу аграрного сектору через законодавчо-нормативну базу та механізми фінансової підтримки [29]. Організація економічного співробітництва та розвитку підтверджує, що малі та середні господарства не повністю використовують потенціал цифровізації через фінансові обмеження та дефіцит компетенцій [30]. Без урахування інституційного контексту модель зрілості вимірює технічну здатність, ігноруючи середовище, в якому ця здатність має реалізуватися.

Агропродовольчий сектор має характеристики, які роблять пряме перенесення універсальних моделей методологічно неприйнятним. Природозалежність виробничого результату, структурна гетерогенність

суб'єктів, системна взаємозалежність учасників ланцюга та подвійна (економічна і соціальна) функція сектору утворюють комплекс обмежень, що не враховується жодною з розглянутих моделей. За даними J. Tur Cardona та ін., 86% агровиробників ЄС мають достатнє інтернет-покриття на фермі [26], а широкомовним інтернетом охоплено 95% підприємств ЄС [27], тоді як в Україні технології точного землеробства охоплюють лише 15% угідь [7]. Між агрохолдингом зі супутниковим моніторингом і дрібним фермером без стабільного інтернету немає порівнянного простору для єдиної шкали оцінювання.

Сукупність цих обмежень вказує на потребу в мультирівневій оціночній архітектурі, де індикатори цифрової зрілості ферми, переробного підприємства та регіонального кластера будуються на єдиній оціночній логіці з різним ступенем деталізації. Попри численні обмеження, кожна з моделей запропонувала продуктивні ідеї. CMMI закріпила концепт «рівнів зрілості», Industrie 4.0 MI – концепцію «навчального підприємства», Deloitte DMM акцентувала організаційно-культурний вимір, а Digital Vortex – стратегічну оптику конкурентних механізмів цифровізації.

Висновки. Чотири розглянуті моделі утворюють еволюційний ланцюг послідовного ускладнення предмета аналізу. Від процесів (CMMI) через технологічні стадії (Acatech) та організаційну культуру (Deloitte DMM) до міжгалузевої конкуренції (Digital Vortex). Кожне наступне покоління долало обмеження попереднього, проте жодне не пододало п'яти спільних вад. Моносуб'єктність, секторальна упередженість, нормативна глухота, нечутливість до сезонних ритмів та інституційна сліпота виявилися наскрізними для всіх чотирьох підходів. Причина полягає у спільній теоретичній передумові. Усі моделі уявляють підприємство автономним агентом трансформації, що діє в конкурентному середовищі з мінімальним регуляторним впливом. Агро-

продовольчий сектор руйнує кожен елемент цієї передумови.

Секторально адекватна методологія повинна відповідати п'яти вимогам. Перший стосується мультирівневої агрегації від виробничого процесу до національної системи за чіткими правилами зважування. Другий передбачає галузево специфічні індикатори, прив'язані до реальних параметрів агровиробництва. Третій охоплює нормативний вимір, тобто відповідність регуляторним стандартам у контексті євроінтеграції. Четвертою вимогою є інформаційна зв'язність як ступінь цифрової взаємодії між учасниками ланцюга. П'ятий вимір має інституційний характер і включає рівень довіри, фінансові механізми підтримки та стабільність нормативної бази.

Подальші дослідження передбачають розробку секторально адекватної моделі з мультирівневою самоподібною архітектурою, покликаною зберегти продуктивні здобутки розглянутих підходів і подолати їхні спільні обмеження. Кожна з п'яти сформульованих вимог потребує окремої операціоналізації. Зокрема, залишається відкритим питання логіки агрегування оцінок між рівнями. Особливо, чи зважувати за обсягом виробництва, чи визначати зрілість ланцюга за його найслабшою ланкою. Потребує обґрунтування перелік індикаторів, специфічних саме для агровиробництва і позбавлених прямих аналогів у промислових моделях. Окремим завданням є інтеграція відповідності регуляторним вимогам ЄС у шкалу зрілості та визначення способу вимірювання інформаційної зв'язності між учасниками ланцюга. Нарешті, потребує з'ясування статусу інституційного середовища в архітектурі моделі. Зокрема, чи воно є зовнішнім модератором, що впливає на інтерпретацію оцінки, чи повноцінним внутрішнім виміром зрілості. Емпіричною базою для валідації можуть слугувати дані форм Держстату (зокрема 1-ІКТ), НКРЗІ та Держгеокадастру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2019. Т. 28, № 2. С. 118–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
2. Manta A. G. From Sustainability Narratives to Digital Infrastructures: Mapping the Transformation of Smart Agri-Food Systems. *Foods*. 2026. Т. 15, № 3. Art. 469. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods15030469>
3. Brynjolfsson E., Hitt L. M. Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. *Journal of Economic Perspectives*. 2000. Т. 14, № 4. С. 23–48. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.14.4.23>

4. Melville N., Kraemer K., Gurbaxani V. Review: Information technology and organizational performance: An integrative model of IT business value. *MIS Quarterly*. 2004. Т. 28, № 2. С. 283–322. DOI: <https://doi.org/10.2307/25148636>
5. Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Antunes Marante C. A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*. 2021. Т. 58, № 5. С. 1159–1197. DOI: <https://doi.org/10.1111/joms.12639>
6. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*. 2017. Т. 153. С. 69–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>
7. Hrynevych O., Blanco Canto M., Jiménez García M. Tendencies of precision agriculture in Ukraine: Disruptive smart farming tools as cooperation drivers. *Agriculture*. 2022. Т. 12, № 5. Art. 698. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050698>
8. Reyes Domínguez D., Infante Abreu M. B., Parv A. L. Industry 4.0/5.0 Maturity Models: Empirical Validation, Sectoral Scope, and Applicability to Emerging Economies. *Systems*. 2025 (online first). Т. 14, № 2. Art. 134. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems14020134>
9. Senna P. P., Barros A. C., Bonnin Roca J., Azevedo A. Development of a digital maturity model for Industry 4.0 based on the technology-organization-environment framework. *Computers & Industrial Engineering*. 2023. Т. 185. Art. 109645. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109645>
10. Gradillas M., Thomas L. D. W. Distinguishing digitization and digitalization: A systematic review and conceptual framework. *Journal of Product Innovation Management*. 2025. Т. 42, № 1. С. 112–143. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpim.12690>
11. Rose D. C., Chilvers J. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2018. Т. 2. Art. 87. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
12. Лазебник Л., Войтенко В. Цифрові технології в управлінні сільськогосподарським підприємством. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2022. Т. 6, № 41. С. 203–210. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v6i41.251440>
13. Haloui D., Oufaska K., Oudani M., Yassini K. E. Bridging Industry 5.0 and Agriculture 5.0: Historical perspectives, opportunities, and future perspectives. *Sustainability*. 2024. Т. 16, № 9. Art. 3507. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16093507>
14. Paulk M. C., Curtis B., Chrissis M. B., Weber C. V. Capability Maturity Model for Software, Version 1.1 : техн. звіт CMU/SEI-93-TR-024. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1993. URL: <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=11955> (дата звернення: 15.03.2026).
15. ISACA. CMMI Model Content Changes. Version 3.0. 6 April 2023. URL: <https://cmmiinstitute.com/resource-files/public/cmmi-model-materials/cmmi-model-release-notes> (дата звернення: 15.03.2026).
16. Schuh G. та ін. Industrie 4.0 Maturity Index. Update 2020. Munich : Herbert Utz Verlag, 2020. URL: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/> (дата звернення: 15.03.2026).
17. Peres F. A. P., Bondarczuk B. A., Gomes L. d. C. та ін. Advances in Food Quality Management Driven by Industry 4.0: A Systematic Review-Based Framework. *Foods*. 2025. Т. 14, № 14. Art. 2429. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14142429>
18. Anderson C., Ellerby W. Digital Maturity Model: Achieving Digital Maturity to Drive Growth. Deloitte & TM Forum, 2018. URL: <https://izka.org.tr/wp-content/uploads/pdf/dijital-olgunluk-deloitte-digital-maturity-model.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).
19. TM Forum. Digital Maturity Model. Version 4.1.0 (GB997A). 2021. URL: <https://www.tmforum.org/resources/model/gb997a-digital-maturity-model-v4-1-0/> (дата звернення: 10.03.2026).
20. TM Forum. Digital Maturity Model. Version 5.0.1 (GB997A). 2025. URL: <https://www.tmforum.org/resources/best-practice/digital-maturity-model-v5-0-1-gb997a/> (дата звернення: 10.03.2026).
21. Krupitzer C., Stein A. Unleashing the Potential of Digitalization in the Agri-Food Chain for Integrated Food Systems. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2024. Т. 15. С. 307–328. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-012422-024649>
22. Кифяк В. Теоретико-прикладні аспекти цифровізації сфери агробізнесу. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2024. № 2 (38). С. 79–92. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2\(38\)-79-92](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-79-92)
23. Wade M., Loucks J., Macaulay J., Noronha A. Digital Vortex: How Today's Market Leaders Can Beat Disruptive Competitors at Their Own Game. DBT Center Press, IMD Business School, 2016. 208 с.
24. Finger R. Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*. 2023. Т. 50, № 4. С. 1277–1309. DOI: <https://doi.org/10.1093/erae/jbad021>

25. Негрей М. В. Цифрова трансформація аграрного сектору: перспективи, виклики та рішення. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*. 2023. Т. 8, № 1. С. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2023.8.1.94-100>
26. Tur Cardona J., Ciaian P., Antoniolli F., Fellmann T., Rocciola F. та ін. The state of digitalisation in EU agriculture: Insights from farm surveys. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2025. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/4688498>
27. Eurostat. Digitalisation in Europe – 2025 edition. Publications Office of the European Union. 2025. DOI: <https://doi.org/10.2785/3102705>
28. Lou C., Gorobec R., Samoilyk I., Trollman H. Traceable Dairy Supply Chain Implementation in Ukraine for Improved Export Potential. *Engineering Proceedings*. 2023. Т. 40, № 1. Art. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023040014>
29. Гапонюк Р. Зовнішні чинники формування інвестиційного потенціалу підприємств агробізнесу України. *Науковий вісник Полісся*. 2025. № 2 (31). С. 211–227. DOI: [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2025-2\(31\)-211-227](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2025-2(31)-211-227)
30. OECD. Enhancing Resilience by Boosting Digital Business Transformation in Ukraine. OECD Publishing. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1787/4b13b0bb-en>

REFERENCES:

1. Vial G. (2019) Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
2. Manta A. G. (2026) From sustainability narratives to digital infrastructures: Mapping the transformation of smart agri-food systems. *Foods*, vol. 15, no. 3, art. 469. <https://doi.org/10.3390/foods15030469>
3. Brynjolfsson E., Hitt L. M. (2000) Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, no. 4, pp. 23–48. <https://doi.org/10.1257/jep.14.4.23>
4. Melville N., Kraemer K., Gurbaxani V. (2004) Review: Information technology and organizational performance: An integrative model of IT business value. *MIS Quarterly*, vol. 28, no. 2, pp. 283–322. <https://doi.org/10.2307/25148636>
5. Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Antunes Marante C. (2021) A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of Management Studies*, vol. 58, no. 5, pp. 1159–1197. <https://doi.org/10.1111/joms.12639>
6. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. (2017) Big Data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
7. Hrynevych O., Blanco Canto M., Jiménez García M. (2022) Tendencies of precision agriculture in Ukraine: Disruptive smart farming tools as cooperation drivers. *Agriculture*, vol. 12, no. 5, art. 698. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050698>
8. Reyes Domínguez D., Infante Abreu M. B., Parv A. L. (2025) Industry 4.0/5.0 maturity models: Empirical validation, sectoral scope, and applicability to emerging economies. *Systems*, vol. 14, no. 2, art. 134. <https://doi.org/10.3390/systems14020134>
9. Senna P. P., Barros A. C., Bonnin Roca J., Azevedo A. (2023) Development of a digital maturity model for Industry 4.0 based on the technology-organization-environment framework. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 185, art. 109645. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109645>
10. Gradillas M., Thomas L. D. W. (2025) Distinguishing digitization and digitalization: A systematic review and conceptual framework. *Journal of Product Innovation Management*, vol. 42, no. 1, pp. 112–143. <https://doi.org/10.1111/jpim.12690>
11. Rose D. C., Chilvers J. (2018) Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 2, art. 87. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
12. Lazebnyk L., Voitenko V. (2022) Tsyfrovі tekhnolohii v upravlinni silskohospodarskym pidprijemstvom [Digital technologies in agricultural enterprise management]. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, vol. 6, no. 41, pp. 203–210. <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v6i41.251440> (in Ukrainian)
13. Haloui D., Oufaska K., Oudani M., Yassini K. E. (2024) Bridging Industry 5.0 and Agriculture 5.0: Historical perspectives, opportunities, and future perspectives. *Sustainability*, vol. 16, no. 9, art. 3507. <https://doi.org/10.3390/su16093507>
14. Paulk M. C., Curtis B., Chrissis M. B., Weber C. V. (1993) Capability Maturity Model for Software, Version 1.1 (CMU/SEI-93-TR-024). Pittsburgh: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. Available at: <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=11955> (accessed March 15, 2026)

15. ISACA (2023) CMMI Model Content Changes. Version 3.0. Available at: <https://cmmiinstitute.com/resource-files/public/cmmi-model-materials/cmmi-model-release-notes> (accessed March 15, 2026)
16. Schuh G., Anderl R., Dumitrescu R., Krüger A., ten Hompel M. (2020) Industrie 4.0 Maturity Index. Update 2020. Munich: Herbert Utz Verlag. Available at: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/> (accessed March 15, 2026)
17. Peres F. A. P., Bondarczuk B. A., Gomes L. d. C., Jardim L. d. C., Corrêa R. G. d. F., Baierle I. C. (2025) Advances in food quality management driven by Industry 4.0: A systematic review-based framework. *Foods*, vol. 14, no. 14, art. 2429. <https://doi.org/10.3390/foods14142429>
18. Anderson C., Ellerby W. (2018) Digital Maturity Model: Achieving digital maturity to drive growth. Deloitte & TM Forum. Available at: <https://izka.org.tr/wp-content/uploads/pdf/dijital-olgunluk-deloitte-digital-maturity-model.pdf> (accessed March 10, 2026)
19. TM Forum (2021) Digital Maturity Model. Version 4.1.0 (GB997A). Available at: <https://www.tmforum.org/resources/model/gb997a-digital-maturity-model-v4-1-0/> (accessed March 10, 2026)
20. TM Forum (2025) Digital Maturity Model. Version 5.0.1 (GB997A). Available at: <https://www.tmforum.org/resources/best-practice/digital-maturity-model-v5-0-1-gb997a/> (accessed March 10, 2026)
21. Krupitzer C., Stein A. (2024) Unleashing the potential of digitalization in the agri-food chain for integrated food systems. *Annual Review of Food Science and Technology*, vol. 15, pp. 307–328. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-012422-024649>
22. Kyfiak V. (2024) Teoretyko-prykladni aspekty tsyfrovizatsii sfery ahrobiznesu [Theoretical and applied aspects of digitalization in agribusiness]. *Problemy i perspektyvy ekonomiky ta upravlinnia – Problems and Prospects of Economics and Management*, no. 2(38), pp. 79–92. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2\(38\)-79-92](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2024-2(38)-79-92) (in Ukrainian)
23. Wade M., Loucks J., Macaulay J., Noronha A. (2016) Digital Vortex: How today's market leaders can beat disruptive competitors at their own game. Lausanne: DBT Center Press, IMD Business School. 208 p.
24. Finger R. (2023) Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*, vol. 50, no. 4, pp. 1277–1309. <https://doi.org/10.1093/erae/jbad021>
25. Nehrei M. V. (2023) Tsyfrova transformatsiia aharnoho sektoru: perspektyvy, vyklyky ta rishennia [Digital transformation of the agricultural sector: perspectives, challenges and solutions]. *Naukovi zapysky NaUKMA. Ekonomichni nauky – NaUKMA Research Papers. Economics*, vol. 8, no. 1, pp. 94–100. <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2023.8.1.94-100> (in Ukrainian)
26. Tur Cardona J., Ciaian P., Antonioli F., Fellmann T., Rocciola F., Ierardi I., Crimeni R., Anastasiou E. (2025) The state of digitalisation in EU agriculture: Insights from farm surveys. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/4688498>
27. Eurostat (2025) Digitalisation in Europe – 2025 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2785/3102705>
28. Lou C., Gorobec R., Samoilyk I., Trollman H. (2023) Traceable dairy supply chain implementation in Ukraine for improved export potential. *Engineering Proceedings*, vol. 40, no. 1, art. 14. <https://doi.org/10.3390/eng-proc2023040014>
29. Haponiuk R. (2025) Zovnishni chynnyky formuvannia investytsiinoho potentsialu pidpriemstv ahrobiznesu Ukrainy [External factors of forming the investment potential of agribusiness enterprises of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Polissia – Scientific Bulletin of Polissia*, no. 2(31), pp. 211–227. [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2025-2\(31\)-211-227](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2025-2(31)-211-227) (in Ukrainian)
30. OECD (2024) Enhancing resilience by boosting digital business transformation in Ukraine. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4b13b0bb-en>

Дата надходження статті: 06.04.2026

Дата прийняття статті: 24.04.2026

Дата публікації статті: 04.05.2026