

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292. Ефективна економіка. 2024. № 8.

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.8.97>

УДК 334.716:658

*А. А. Оганісян,
аспірант кафедри економіки,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8929-2868>*

ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК – СИМУЛЯТОР БІЗНЕС-МОДЕЛІ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕКОНОМІКИ

*A. Ohanisian,
Postgraduate student of the Department of Economics,
Dnipro State Agrarian and Economic University*

DIGITAL DUPLICATE - A SIMULATOR OF THE BUSINESS MODEL OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN A “GREEN” ECONOMY

В статті констатовано, що агробізнес є одним з найважливіших секторів економіки України, який має великий потенціал подальшого розвитку. Втім, в епоху трансформаційних змін, існують численні виклики та загрози, які досить складно передбачити за традиційними методами прогнозування, оскільки в умовах турбулентності середовища вони не сприяють ефективному управлінню бізнесом. Констатовано, що вирішити дану проблему можливо завдяки інтелектуалізації агробізнесу, а саме завдяки впровадженню технологій «цифрового двійника». Розглянуто походження поняття «цифровий

двійник» та уточнено його визначення за функціональним підходом. Підкреслено, що запровадження технологій «цифрового двійника», як і будь-яка трансформація супроводжується певними викликами та загрозами. Обґрунтовано доцільність структурування викликів та загроз гальмування запровадження технологій «цифрового двійника» шляхом побудови причинно-наслідкової діаграми Ісікави. Сфокусовано увагу на оцінці готовності агробізнесу запровадження цифрового прототипу бізнесу. Охарактеризовано етапи прийняття рішення щодо запровадження технологій «цифрового двійника». Запропоновано імітаційну модель запровадження технологій «цифрового двійника» та обґрунтовано доцільність прискорення інтелектуалізації агробізнесу.

The article states that agribusiness is one of the most important sectors of the economy of Ukraine, which has great potential for further development. However, in the era of transformational changes, numerous challenges and threats are quite difficult to predict using traditional forecasting methods, as they do not contribute to effective business management in the turbulent environment. It is emphasized that solving this problem is possible thanks to the intellectualization of agribusiness, namely thanks to the introduction of "digital double" technologies. As agribusinesses face the challenges of climate change, resource scarcity, and growing demand for food, digital doubles serve as a key tool for its adaptation and development. The origin of the concept of "digital double" was considered and its definition was clarified according to the functional approach. It is emphasized that the introduction of "digital double" technologies, like any transformation, is accompanied by certain challenges and threats. The expediency of structuring the challenges and threats of inhibiting the introduction of "digital twin" technologies by constructing Ishikawa's cause-and-effect diagram is substantiated. Attention is focused on assessing the readiness of agribusiness to introduce a digital business prototype. The stages of decision-making regarding the introduction of "digital double" technologies are briefly described. It was emphasized that such decisions should be made based on the

results of reengineering, taking into account the set goals, corporate landscape, business and IT architecture, the agricultural company's IT system and the possibilities of its integration with other external IT systems; IT security and teams willing to learn and work with a "digital double". It is emphasized that for any best model of a "digital double", its syntactic, semantic and pragmatic quality will not be hindered. The introduction of "digital twin" technologies contributes to a deeper understanding of the complex interrelationships in agribusiness, more informed decision-making, and the creation of sustainable agricultural systems. A simulation model of the introduction of "digital double" technologies in agribusiness is proposed. The expediency of accelerating the intellectualization of agribusiness is justified on a specific example.

Ключові слова: *агробізнес, зелена економіка, інтелектуалізація агробізнесу, трансформаційні зміни, «цифровий двійник», бізнес-архітектура, IT-архітектура, цифровий аналог, цифровий прототип.*

Keywords: *agribusiness, green economy, intellectualization of agribusiness, transformational changes, "digital double", business architecture, IT architecture, digital analogy, digital prototype.*

Вступ. Агробізнес є одним з найважливіших секторів економіки України, який має великий потенціал подальшого розвитку. Втім, в епоху трансформаційних змін, існують численні загрози та ризики, які досить складно передбачити за традиційними методами прогнозування, оскільки в умовах турбулентності середовища вони не забезпечують створення необхідного інформаційного забезпечення, а отже, і ефективного управління бізнесом. Вирішити дану проблему, як свідчить зарубіжна практика, можливо завдяки інтелектуалізації агробізнесу, а саме завдяки впровадженню технологій «цифрового двійника» (*Digital Twin*) (далі – *DT*). Вперше поняття «цифровий двійник» вжив Майкл Грівес в 2014 році [1, с.4], характеризуючи його як імітацію певного об'єкта. Проте, з роками *DT* еволюціонував і на сьогодні

«цифровим двійником» вважається динамічне віртуальне відтворення об'єктів, процесів, продуктів чи систем, яке завдяки симбіозу фізичного та віртуального світів, відображає у реальному часі всі виклики функціонування бізнесу [2, с.80], забезпечуючи у такий спосіб більш реалістичний та цілісний набір інструментів щодо вчасного на них реагування.

Віддзеркалюючи фізичний об'єкт, завдяки поєднанню *IoT* та математичного моделювання, «цифрові двійники» дозволяють аналізувати великі масштаби даних, прогнозувати бізнес-процеси, обирати найбільш оптимальні бізнес-моделі та управляти процесами чи життєвим циклом продуктів без фізичної взаємодії з ними [3]. Зокрема, віртуальна модель сільськогосподарських культур, ґрунтуючись на ключових аспектах агрономічного розвитку, таких як зрошення, внесення добрив і боротьба зі шкідниками, забезпечує прийняття рішень і крокових змін в технології виробництва, сприяючи таким чином стійкості агробізнесу, прямій економії ресурсів та скороченню вуглецевого сліду землекористування [4]. В свою чергу цифровий аналог ферми дозволяє відстежувати рух, поведінку та життєві показники тварин, здійснювати раннє виявлення захворювань, оптимізувати умови утримання та продуктивність. Віртуальний прототип технопарку завдяки насиченню фізичних об'єктів інтелектуальними технологіями, електронно-цифровими пристроями, засобами, системами та налагодженню електронно-комунікаційного обміну між ними, віддзеркалює роботу техніки та обладнання агрофірм, сприяючи підвищенню їх експлуатаційної ефективності та упередженню втрат [5, с.48]. Створений «цифровим двійником» ланцюг постачання готової продукції завдяки імітації коливань кон'юнктури ринку продовольства, гарантує наближення виробництва продукції до ринкового попиту, роблячи його більш ефективним та адаптивним до змін ринку. А високий рівень контролю *DT* за сумісністю процесів і стандартів виробництва аграрної продукції із загальносвітовими, забезпечує вихід агробізнесу України на провідні позиції як експортера сільськогосподарської продукції.

Отже, для посилення конкурентних позицій на світовому ринку продовольства, процес інтелектуалізації агробізнесу України варто прискорити вже наразі. Втім, варто пам'ятати, що інтелектуалізація бізнесу, як і будь-яка трансформація, супроводжується певними викликами та ризиками, які можуть стати на заваді досягнення поставленої цілі. Щоб запобігти їх проявам або мінімізувати наслідки впливу, важливо чітко розуміти причини їх виникнення та можливі шляхи упередження, на вивченні яких саме і сфокусоване дане дослідження.

Аналіз літературних джерел свідчить, що технології «цифрового двійника» є об'єктом досить активних дискусій, що пов'язано зі складним характером їх запровадження в агробізнесі [6, с.38]. Зокрема, Краус Н., Краус К. та Манжура О. наголошують, що в умовах трансформації до «зеленої економіки» агробізнес потребує оптимізації бізнес-процесів шляхом інтелектуалізації, що корелюється з цілями Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року [5, с.47], Національної економічної стратегії на період до 2030 року [7] та інших стратегічних документів, пов'язаних з відбудовою та подальшим розвитком України. Дослідники відстоюють наукову позицію доцільності запровадження в агробізнесі технологій «цифрового двійника», оскільки вони: по-перше, є корисними для оптимізації існуючих технологічних бізнес-процесів; по-друге, дозволяють прискорено аналізувати великі масштаби даних та вчасно приймати рішення; по-третє, забезпечують зв'язок між віртуальним і реальним виробництвом, відображаючи у реальному часі всі виклики функціонування бізнесу [5; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14].

Javaid M., Haleem A., Singh R. та Suman, R., виходячи з останніх досягнень Agriculture 4.0, розширюють значимість «цифрових двійників» для агробізнесу, підкреслюючи, що дані технології понад усе призначені для забезпечення адаптації аграрного виробництва до змін клімату, упередження ризиків та мінімізації наслідків їх впливу, оптимізації використання природних ресурсів та пом'якшення тиску агробізнесу на довкілля [15].

Втім, Hong M., Tian M. та Wang J. [16] доводять, що *DT* забезпечують не лише адаптацію до кліматичних змін, але й сприяють сталому розвитку агробізнесу в цілому, що за твердженням Xia F. та Xu J. [17] узгоджується з основним принципом його «озеленення» й концепцією *GTFP* (*Green Total Factor Productivity*). Комбінація штучного інтелекту та моделювання, за твердженням дослідників, дає змогу *DT* створювати замкнуті економічні процеси. Тож, *Digital Twin* сьогодні стає невід'ємною частиною стратегії побудови «зеленої» економіки замкнутого циклу, ресурсо- та енергоефективного аграрного виробництва. Натомість, запровадження технологій «цифрового двійника» в агробізнесі України, як і будь-яка трансформація, супроводжуються певними викликами та ризиками, що зумовлює необхідність у поглибленні досліджень в окресленому напрямі.

Мета дослідження – вивчення викликів та загроз гальмування запровадження в агробізнесі технологій «цифрового двійника» в умовах трансформації України до «зеленої» економіки.

Результати досліджень. З огляду на багаті природні ресурси, м'який клімат та вигідне географічне розташування, Україна має високий агропродовольчий потенціал, завдяки якому стала одним з ключових гравців на світовому ринку продовольства. Тож, агробізнес України і в подальшому має укріплювати свої позиції серед ТОП-5 країн-лідерів з експорту агропродовольчої продукції. Проте, геополітичні виклики, а також виклики загострення кліматичної кризи, поглиблення дефіциту критичних ресурсів (зокрема, прісної води), глобальних трансформаційних змін та полікриза можуть стати на заваді досягнення поставленої мети. Упередити їх вплив чи мінімізувати наслідки, за твердженням експертів, можливо завдяки інтелектуалізації агробізнесу, а саме завдяки застосуванню технологій «цифрового двійника», які останнім часом набувають все більшої популярності.

Термін «цифровий двійник» з'явився на наукових теренах з агробізнесу не так давно й зобов'язаний своєю популярністю таким соціально-економічним явищам як четвертій індустріальній революції та Agriculture 4.0 [18]. А отже,

чіткого узагальненого визначення даного поняття до тепер не сформовано. І це природньо, оскільки за прискореного процесу інтелектуалізації агробізнесу та змін цифрових технологій, доволі швидко змінюються підходи щодо його трактування. Тож, наразі «цифровий двійник» розглядається дослідниками по-різному, зокрема, як: віртуальна модель, цифровий прототип, віртуальне представлення об'єктів і процесів реального світу, цифровий аналог фізичних систем тощо. Втім, не дивлячись на таке різноманіття його трактування, три характерні риси «цифрового двійника», названі Grieves M. в Білій книзі (2014) [1, с.4] все ж присутні в більшості сучасних визначень *DT*. До їх числа слід віднести: фізичний продукт у реальному просторі; віртуальний продукт у віртуальному просторі; зв'язки даних та інформації, які пов'язують віртуальні та фізичні продукти [1, с.5]. Відтак, кожна із запропонованих дефініцій поняття «цифровий двійник» [3-4,10,12-17], безумовно має певне раціональне зерно.

Проте, за умов трансформації до моделі «зеленої» економіки замкнутого циклу, спрямованої на збереження ресурсів й навколишнього середовища, під «цифровим двійником» вважаємо найбільш доцільно розуміти симулятор фізичного об'єкту (продукту, процесу чи системи), який завдяки симбіозу фізичного та віртуального світів, *IoT* та математичного моделювання, дозволяє: фундаментально переосмислити та радикально змінити бізнес-процеси та бізнес-модель, максимально адаптуючи та оптимізуючи їх до умов середовища функціонування бізнесу, вимог споживачів та кон'юнктури ринку; передбачити невидимі виклики та оперативно вжити заходи щодо їх упередження чи мінімізації наслідків впливу; приймати виважені управлінські рішення щодо результативності та сталості бізнесу.

Розуміння сутності «цифрового двійника» є вкрай важливим, оскільки це не просто впровадження стеку технологій або використання модного терміну, це стратегія, яка вимагає переосмислення та оптимізацію застарілих бізнес-процесів, певні ресурси та час для її впровадження [18]. Відтак, прийняття рішення щодо запровадження технологій «цифрового двійника» бізнес-моделі агробізнесу має ґрунтуватись на реінжинірингу (фундаментальному

переосмисленні і радикальному перепроєктуванні бізнес-процесів з метою досягнення істотного поліпшення якості функціонування) та враховувати:

- цілі та причини, що спонукають до змін бізнес-моделі;
- готовність агробізнесу щодо запровадження технологій *DT*, можливі виклики та загрози, що мають стати на заваді реалізації даного процесу;
- відповідність архітектури «цифрового двійника» корпоративному ландшафту агрокомпанії;
- якість моделі «цифрового двійника»;
- очікувані результати впровадження цифрового прототипу тощо.

Щодо цілей та причин зміни бізнес-моделі досить зрозуміло, що за умов трансформації агробізнесу до «зеленої» економіки, бізнес-процеси аграрного виробництва мають бути спрямовані на кардинальні зміни та максимальну їх адаптацію до умов середовища функціонування бізнесу, ресурсо- та енергозбереження, а також зниження тиску на довкілля. Але, оцінка готовності агробізнесу до запровадження технологій «цифрового двійника» потребує на досить деталізоване вивчення: стратегічних цілей агробізнесу; корпоративної, бізнес- та ІТ-архітектури компанії; ІТ-системи агрокомпанії та можливостей її інтеграції з іншими зовнішніми ІТ-системами (зокрема, ВІ-системи (Business Intelligence), DWH (Data Warehouse) та ін.); потужності ІТ-інфраструктури компанії та потреби в сервісах; ІТ-безпеки; підходів до моделювання бізнес-процесів та побудови бізнес-моделі компанії в цілому; команди бажаної навчатись й працювати з «цифровим двійником» тощо. Отримані результати дозволять сформувати чітке портфоліо середовища запровадження технологій «цифрового двійника». А отже, і встановити існуючі виклики та загрози гальмування запровадження *DT*, здійснити їх пріоритизацію та побудувати діаграму Ісікави (рис.1), відому у світовій практиці як причинно-наслідкову або як діаграму аналізу кореневих причин [20, с.164].

Досліджувану проблему на діаграмі Ісікави показано основною стрілкою. Виклики та загрози, що посилюють проблему (першочергові за пріоритизацією), відображено похилими лініями до основної. Виклики та

загрози другого порядку додано до похилих ліній. Поглиблення розділення виявлених викликів на діаграмі Ісікави рекомендується відображати до 5-го рівня, але це не є догмою. Рішення щодо її побудови має визначатись глибиною досліджень, кількістю рівнів викликів, визначених під час їх пріоритизації, а також поставленою метою щодо встановлення причин їх виникнення.

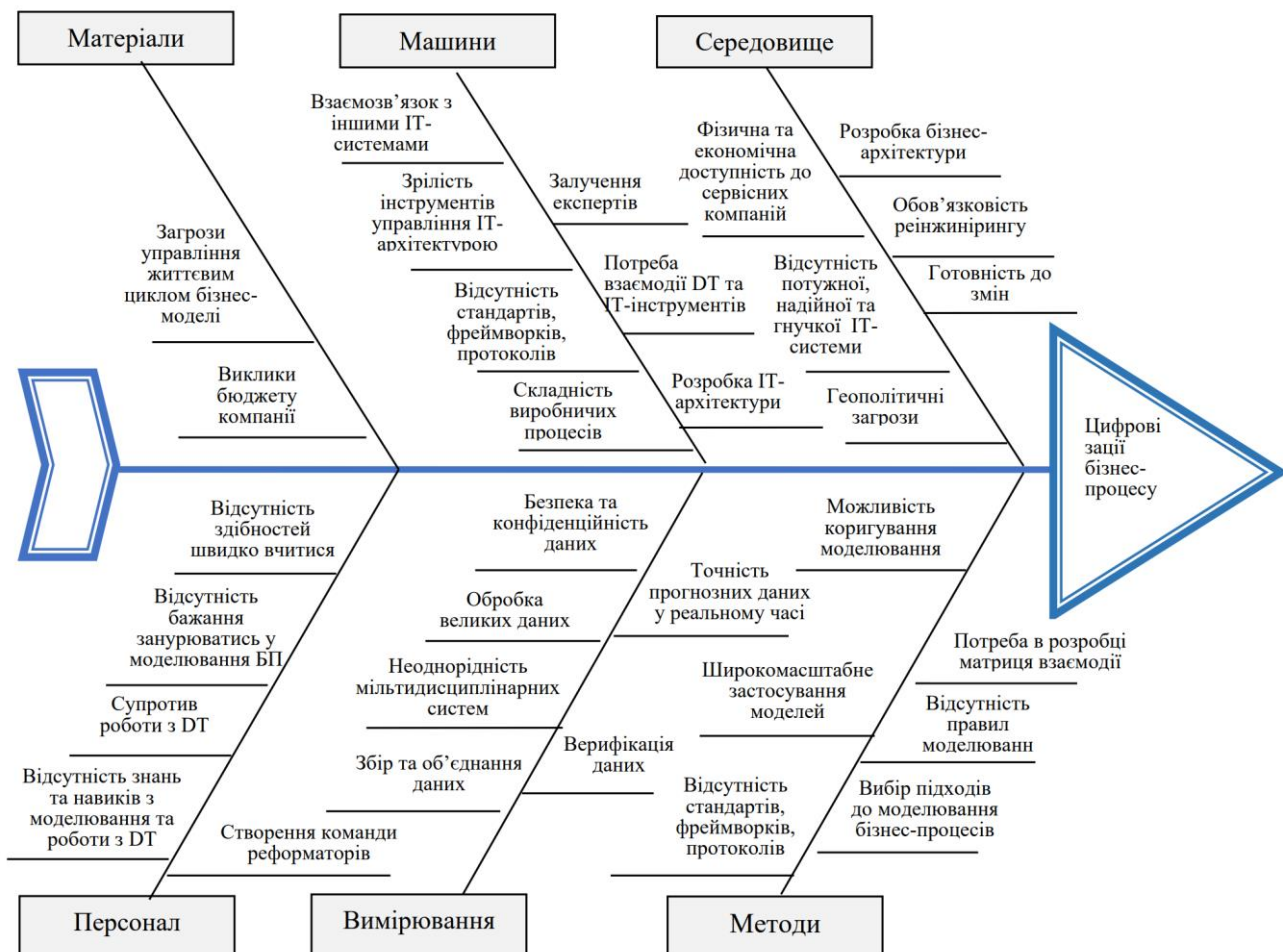


Рис.1 Діаграма Ісікави причинно-наслідкових взаємозв'язків гальмування запровадження технологій «цифрового двійника» в агробізнесі [авторське трактування]

Стосовно відповідності архітектури «цифрового двійника» корпоративному ландшафту варто зазначити, що побудова сильної (якісної) архітектури цифрового аналогу моделі агробізнесу можлива у випадку, коли фундаментальною основою її створення є бізнес- та ІТ-архітектура агрокомпанії, сформовані з урахуванням сучасних стандартів та правил

побудови інформаційної архітектури бізнесу (зокрема, TOGAF® Standard, 10-й випуск та інші), результатів детальної інвентаризації базового середовища, потреб в сервісах, зрілості архітектурної дисципліни компанії та вимог інформаційної безпеки. Лише сформована у такий спосіб модель цифрового аналога агробізнесу, дозволить бути впевненим в тому, що «цифровий двійник» відповідатиме інтересам бізнесу та компанії, забезпечить їх гнучкість, а також сприятиме прийняттю виважених управлінських рішень.

Проте, навіть за таких умов, не завадить здійснити експертизу моделі «цифрового двійника» на синтаксичну, семантичну та прагматичну якість. Оскільки синтаксична якість характеризує відповідність моделі «цифрового двійника» правилам мови моделювання, семантична – її коректність (тобто, наскільки достовірно і точно «цифровий двійник» відображає реальний об'єкт, процес чи систему), а прагматична – корисність моделі та її відповідність вимогам з моделювання 7PMG (визначених Mendling, Reijersta Aalst (2010), а також Avila і Thom (2019)), які передбачають правила запобігання надмірного насичення моделі та уникнення мовних неоднозначностей при її побудові [21]. Також, приймаючи рішення щодо запровадження технологій «цифрового двійника» варто переконатись в реалістичності очікуваних результатів від упровадження цифрового прототипу бізнес-моделі агрокомпанії, тобто в реалістичності очікуваної ефективності інвестованого капіталу та терміну його окупності. Таким чином, імітаційна модель запровадження «цифрового двійника» бізнес-моделі аграрного виробництва, сформована за прагматичним підходом має набувати наступного вигляду (рис.2).

Оскільки агробізнес стикається з проблемами зміни клімату, дефіциту ресурсів та зростанням попиту на продовольство [22], «цифрові двійники» слугують ключовим інструментом його адаптації та розвитку. Прикладом є застосування цифрового прототипу бізнесу агрохолдингом KSG Agro, який продовжує успішно працювати навіть під час війни. «Перепрошивши» бізнес-процеси під нову реальність (бойові дії на території України, порушення логістичних зав'язків, падіння цін на продукцію до критичного мінімуму тощо),

агрохолдинг трансформував бізнес-стратегію, оптимізував використання земельного банку в 21 000 га, зосередившись на трьох напрямках. Перший – зернові: пшениця, кукурудза та ячмінь, які постачаються до країн Азії та Африки. Другий – соняшник, який переробляється в соняшникову олію, що постачається до країн Євросоюзу. Третій і найбільш пріоритетний – свилярство, яке працює на внутрішній ринок.



Рис. 2. Імітаційна модель запровадження в агробізнесі технологій «цифрового двійника» [розробка автора]

За умови здешевлення зерна, аграрії активно шукають більш маржинальні ніші. Тож, як серед великих і середніх агропідприємств, так і серед невеликих фермерів та домогосподарств зростає попит на поросят. KSG Agro завдяки інтелектуалізації бізнесу вибудував і запропонував «мережецентричну» модель, за якої вигодовування здійснюється не на одному великому комплексі, а на багатьох партнерських майданчиках. Компанія надає фермерам поросят якісної канадської генетики, корма власного виробництва та повний консалтинговий

супровід, а вони своєю чергою забезпечують відгодівлю та ветеринарний контроль. Створений цифровий прототип «мережі» із багатьох виробничих майданчиків дозволив KSG Agro в умовах тотальної невизначеності краще розподіляти ризики, пов'язані з війною, біобезпекою, водо- та енергопостачанням, а отже, і надалі лишатись у складі ТОП-20 лідерів агробізнесу України [23]. Отже, впровадження технологій «цифрового двійника» сприяє глибшому розумінню складних взаємозв'язків у агробізнесі, прийняттю більш виважених рішень та створенню стійких сільськогосподарських систем.

Висновки. Таким чином, за результатами дослідження констатовано, що агробізнес є одним з найважливіших секторів економіки України, який має великий потенціал для подальшого розвитку. В умовах трансформаційних змін, існують численні виклики та загрози, які досить складно передбачити за традиційними методами прогнозування, оскільки в турбулентному середовищі вони не сприяють ефективному управлінню бізнесом. Вирішити дану проблему можливо завдяки інтелектуалізації агробізнесу, а саме впровадженню технологій «цифрового двійника». За умов «зеленої» трансформації економіки під «цифровим двійником» варто розуміти симулятор фізичного об'єкту (продукту, процесу чи системи), який завдяки симбіозу фізичного та віртуального світів, *IoT* та математичного моделювання, дозволяє: фундаментально переосмислити та радикально змінити бізнес-процеси та бізнес-модель, максимально адаптуючи та оптимізуючи їх до умов середовища функціонування бізнесу, вимог споживачів та кон'юнктури ринку; передбачити невидимі виклики та оперативно вжити заходи щодо їх упередження чи мінімізації наслідків впливу; приймати виважені управлінські рішення щодо результативності та сталості бізнесу.

Запровадження технологій «цифрового двійника», як і будь-яка трансформація супроводжується певними викликами та загрозами. Обґрунтовано доцільність структурування викликів та загроз гальмування запровадження технологій «цифрового двійника» шляхом побудови причинно-

наслідкової діаграми Ісікави. Сфокусовано увагу на етапології прийняття рішення щодо запровадження технологій «цифрового двійника» та обґрунтовано, що такі рішення мають прийматись за результатами реінжинірингу з урахуванням поставлених цілей, корпоративного ландшафту, бізнес- та ІТ-архітектури, ІТ-системи агрокомпанії та можливостей її інтеграції з іншими зовнішніми ІТ-системами; ІТ-безпеки та команди бажаної навчатись й працювати з «цифровим двійником». З урахуванням етапології прийняття рішення щодо запровадження цифрового аналогу, запропоновано імітаційну модель запровадження в агробізнесі технологій «цифрового двійника» та на конкретному прикладі обґрунтовано доцільність прискорення інтелектуалізації агробізнесу.

Література

1. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. White paper. 2014. №1. Pp. 1-7.
2. Сапон С. Концепція моделювання цифрового двійника шпиндельного віузла. *Технічні науки та технології*. 2022. №4(30). С.80-90.
3. Parrott A., Warshaw L. Industry 4.0 and the Digital Twin: Manufacturing Meets its Match. New York, NY, USA: Deloitte University Press, 2017. URL: <https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>
4. Escribà-Gelonch M., Liang S., Schalkwyk P., Fisk I. та Fisk I.. Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications. *Agric. Food Chem.* 2024, Vol. 72, pp. 10737–10752. URL: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.jafc.4c01934>
5. Краус Н.М., Краус К.М., Манжура О.В. Фермерство і аграрні підприємства в контексті реалізації стратегічних цілей євроінтеграції та цифровізації економіки України. *European scientific journal of Economic and Financial innovation*. 2023. №2. С.46-64.
6. Тищенко Д.С. Цифрова трансформація як драйвер розвитку економіки. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2023. №4(04). С.38-45.

7. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року. Постанова КМУ від 3 березня 2021 р. №179. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text>

8. Тарасюк А.М., Гамалій В.Ф., Рзаєва С.Л. Шляхи побудови інтелектуальної системи управління агрофірмою. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2023. №3(19). С.197-208.

9. Чала В.С. Діджиталізація та інтелектуалізація як важливі закономірності зеленої трансформації світового виробництва. The 16th International scientific and practical conference “Modern directions of scientific research development” (September 7-9, 2022) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2022. 369 p.

10. Fei Tao, Fangyuan Sui, Ang Liu, Qinglin Qi, Meng Zhang, Boyang Song, Zirong Guo, Stephen C.-Y. Lu & A. Y. C. Nee (2018). Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*. Vol. 57

11. Eli-Chukwu, N. C. Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2019, vol. 9, №4, pp. 4377-4383

12. Verdouw, C.; Tekinerdogan, B.; Beulens, A.; Wolfert, S. Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*. 2021, Vol. 189

13. Nasirahmadi A., Hensel O. Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm. *Sensors*. 2022, vol.22, 498.

14. Трусова Н.В., Вініченко І.І., Дяченко Н.К. Моделювання бізнес-процесів сільськогосподарських підприємств. *Агросвіт*. 2022. № 4. С. 18-26.

15. Javaid, M.; Haleem, A.; Singh, R. P.; Suman, R. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*. 2022, Vol.3, 150-164

16. Hong M., Tian M., Wang J. (2022). Digital Inclusive Finance, agricultural industrial structure optimization and agricultural green total factor productivity. *Sustainability*, Vol.14(18), <https://doi.org/10.3390/su141811450>

17. Xia F., Xu J. (2020). Green total factor productivity: A re-examination of quality of growth for provinces in China. *China Economic Review*, Vol.62, <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2020.101454>
18. Matthieu De Clercq, Anshu Vats, Alvaro Biel. Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology. World Government Summit. OLIVER. 2018. URL: https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2019/12/OliverWyman-Report_English-LOW.pdf
19. Цифровий двійник: контроль, ефективність, безпека. SMART URL: <https://smart-eam.com/ua/news/cifrovoj-dvojn timer-kontrol-jeffektivnost-bezopasnost/>
20. Ченчева О., Сукач С., Петренко І., Караєва Н.. Принцип побудови бально-модифікованої діаграми Ісікави як сучасного інструментарію аналізу ризиків видобувних та механообробних підприємств. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Зб. наук. праць. 2023. Том 1, №71, С.163-166
21. Calvet E., Falcão R., Thom L. Business Process Model for Interoperability Improvement in the Agricultural Domain Using Digital Twins. Pacific Asia Conference on Information Systems. *Software Engineering*. 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.08589>
22. Левченко Н.М. Державна підтримка фінансового забезпечення розвитку аграрного сектора економіки. *Теорія та практика державного управління*. 2008. URL: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2008-2/doc/2/03.pdf>
23. Касьянов С. У KSG Agro знайшли «мережецентричну» формулу зростання під час війни. 2023. URL: https://lb.ua/economics/2023/12/07/587903_ksg_agro_znayshli_merezhetsentrichnu.html

References

1. Grieves, M. (2014), "Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication", *White paper*, vol. 1, pp. 1-7.

2. Sapon, S. (2022), “The concept of modeling a digital twin of a spindle assembly”, *Technical sciences and technologies*, vol.4(30), pp.80-90.

3. Parrott, A. and Warshaw, L. (2017), *Industry 4.0 and the Digital Twin: Manufacturing Meets its Match*, Deloitte University Press, New York, USA, available at: <https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html> (Accessed 4 Aug 2024).

4. Escribà-Gelonch, M., Liang, S., Schalkwyk, R., Fisk, I. and Fisk, I. (2024), “Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications. Agric”, *Food Chem*, vol. 72, pp. 10737–10752.

5. Kraus, N.M., Kraus, K.M. and Manzhura, O.V. (2023), “Farming and agrarian enterprises in the context of the implementation of the strategic goals of European integration and digitalization of the economy of Ukraine”, *European scientific journal of economic and financial innovation*, vol.2, pp.46-64.

6. Tyshchenko, D.S. (2023), “Digital transformation as a driver of economic development”, *Digital economy and economic security*, vol.4(04), pp.38-45. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.4-7>

7. Cabinet of Ministers of Ukraine (2021), “Resolution of the jn the approval of the National Economic Strategy for the period until 2030”, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> (Accessed 1 Aug 2024).

8. Tarasyuk, A.M., Gamalii, V.F. and Rzayeva, S.L. (2023), “Ways of building an intelligent management system of an agricultural company”, *Cyber security: education, science, technology*, vol. 3(19), pp.197-208

9. Chala, V.S. (2022), “Digitization and intellectualization as important regularities of the green transformation of world production”, The 16th International scientific and practical conference "Modern directions of scientific research development", BoScience Publisher, Chicago, USA, September 7-9.

10. Fei, Tao, Fangyuan, Sui, Ang, Liu, Qinglin, Qi, Meng, Zhang, Boyang, Song, Zirong, Guo, Stephen, C.-Y. Lu & Nee, A. Y. C. (2018), “Digital twin-driven product design framework”, *International Journal of Production Research*, vol. 57

11. Eli-Chukwu, N.C. (2019), "Applications of artificial intelligence in agriculture: A review", *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 9, pp. 4377-4383
12. Verdouw, C. Tekinerdogan, B. Beulens, A. and Wolfert, S. (2021), "Digital twins in smart farming", *Agricultural Systems*, vol.189.
13. Nasirahmadi, A. and Hensel, O. (2022), "Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm", *Sensors*, vol.22, pp.498. <https://doi.org/10.3390/s22020498>
14. Trusova, N.V., Vinichenko, I.I. and Dyachenko, N.K. (2022), "Modeling of business processes of agricultural enterprises", *Agroworld*, vol.4, pp. 18-26
15. Javaid, M. Haleem, A. Singh, R.P. and Suman, R. (2022), "Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies", *International Journal of Intelligent Networks*, vol.3, pp.150-164
16. Hong M., Tian M. and Wang J. (2022), "Digital Inclusive Finance, agricultural industrial structure optimization and agricultural green total factor productivity", *Sustainability*, Vol.14(18), <https://doi.org/10.3390/su141811450>
17. Xia, F. and Xu, J. (2020), "Green total factor productivity: A re-examination of quality of growth for provinces in China", *China Economic Review*, Vol.62, <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2020.101454>
18. De Clercq, M. Vats, A. and Biel. A. (2018), "Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology", World Government Summit. OLIVER, available at: https://www.bollettinoadapt.it/wp-content/uploads/2019/12/OliverWyman-Report_English-LOW.pdf (Accessed 2 Aug 2024).
19. SMART (2021), "Digital double: control, efficiency, security", available at: <https://smart-eam.com/ua/news/cifrovoj-dvojn timer-kontrol-jeffektivnost-bezopasnost/> (Accessed 2 Aug 2024).
20. Chenchewa, O., Sukach, S., Petrenko, I. and Karayeva, N. (2023), "The principle of constructing a ball-modified Ishikawa diagram as a modern tool for risk analysis of mining and mechanical processing enterprises", *Control, navigation and communication systems*, vol.1, pp. 163-166

21. Calvet, E., Falcão, R. and Thom, L. (2022), "Business Process Model for Interoperability Improvement in the Agricultural Domain Using Digital Twins", Pacific Asia Conference on Information Systems. *Software Engineering*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.08589>

22. Levchenko, N.M. (2008), "State financial support for the development of the agrarian sector of the economy", *Theory and practice of public administration*. 2008. available at: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2008-2/doc/2/03.pdf> (Accessed 2 Aug 2024).

23. Kasyanov, C. (2023), "KSG Agro found a "network-centric" growth formula during the war", available at: https://lb.ua/economics/2023/12/07/587903_ksg_agro_znayshli_merezhetsentrichnu.html (Accessed 4 Aug 2024).

Стаття надійшла до редакції 15.08.2024 р.