

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-78-152>

УДК 331.5

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ КАДРОВОГО ДЕФІЦИТУ ТА МОДЕРНІЗАЦІЮ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

DIGITAL TWINS TECHNOLOGY AS A TOOL FOR OVERCOMING WORKFORCE DEFICITS AND MODERNIZING UKRAINE'S FOOD PRODUCTION SECTOR

Мазник Ліана Валеріївнадоктор економічних наук, доцент,
Національний університет харчових технологій
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5387-7442>**Жуковська Карина Володимирівна**студентка,
Національний університет харчових технологій
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5549-6666>**Maznyk Liana, Zhukovska Karyna**

National University of Food Technologies

У статті розглянуто актуальну проблему дефіциту персоналу на харчових підприємствах України в умовах воєнного часу та пошуку інноваційних шляхів її вирішення. Показано значення безперервності виробничих процесів для забезпечення продовольчої безпеки держави. Обґрунтовано доцільність використання цифрових двійників як інструменту, здатного компенсувати кадровий дефіцит шляхом оптимізації виробництва, автоматизації контролю, прогностичного обслуговування обладнання та створення віртуальних навчальних середовищ. Визначено переваги та потенціал впровадження технології в українських реаліях, окреслено практичні кроки, спрямовані на її ефективне використання та масштабування. Зроблено висновок про стратегічне значення digital twins для модернізації та відбудови агропродовольчої сфери України.

Ключові слова: цифрові двійники, кадровий дефіцит, харчова промисловість, автоматизація, продовольча безпека, Україна.

This article addresses the pressing issue of labor shortages in Ukrainian food production enterprises under the conditions of war and continuous social and economic instability. The relevance of the topic is grounded in the critical importance of uninterrupted production for ensuring national food security and maintaining resilience of supply chains. The main objective of the study is to assess the potential of digital twin technology as an innovative solution capable of compensating for the lack of staff by reconfiguring production processes and enabling more sustainable operations. The methodology is based on a comprehensive analytical approach that includes conceptual analysis of the digital twin phenomenon, evaluation of its functional capabilities, as well as extrapolation of practical applications from industrial contexts to the specific environment of the food industry. The study highlights several key results. Firstly, digital twins make it possible to substitute the physical presence of staff with remote monitoring and data-driven decision-making. Secondly, predictive maintenance supported by virtual models reduces the need for extensive repair teams and lowers risks of unexpected downtime. Thirdly, automated quality control based on digital twins ensures adherence to strict standards while reducing reliance on manual labor. Finally, the creation of immersive training environments on the basis of digital replicas accelerates the integration of new employees and mitigates the impact of staff turnover. The practical value of the article lies in the formulation of recommendations for gradual adaptation of digital twin solutions to the Ukrainian food production sector. The proposed steps include pilot projects on selected enterprises, evaluation of return on investment, and the development of integration roadmaps with existing resource planning systems. The findings demonstrate that digital twins should not only be considered as a technological innovation but also as a strategic instrument for rebuilding and modernizing the agri-food sector of Ukraine. This technology has the potential to strengthen the competitiveness of Ukrainian enterprises and ensure sustainable development in a post-war economy.

Keywords: digital twins, labor shortage, food industry, automation, food security, Ukraine.



Постановка проблеми. Сучасна харчова промисловість України функціонує в умовах глибокої соціально-економічної та безпекової кризи, спричиненої війною, масовою міграцією населення та мобілізацією працівників. Одним із найгостріших викликів залишається дефіцит кваліфікованого персоналу, який безпосередньо впливає на ефективність виробничих процесів, якість продукції та стабільність забезпечення продовольчими ресурсами. Безперервність виробництва є ключовим чинником національної продовольчої безпеки, тому актуалізується необхідність пошуку технологічних рішень, здатних компенсувати кадровий дефіцит. Одним із найперспективніших підходів є використання технології цифрових двійників (digital twins), що дозволяє створювати віртуальні моделі виробничих процесів для моніторингу, прогнозування та оптимізації у реальному часі. Їх застосування здатне не лише підтримати стійкість галузі в кризових умовах, але й стати фундаментом її цифрової модернізації в післявоєнний період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних наукових дослідженнях усе більше уваги приділяється концепції цифрових двійників (digital twins) як перспективному інструменту трансформації виробничих процесів та оптимізації використання обмежених ресурсів. У контексті України ця проблематика набуває особливої актуальності через наявний дефіцит кваліфікованої робочої сили, спричинений воєнними діями, мобілізацією та масовою міграцією працездатного населення. Відтак, зростає потреба у технологічних рішеннях, здатних компенсувати кадрові втрати, забезпечити безперервність виробництва та підвищити рівень продовольчої безпеки країни. В останні роки з'явився ряд публікацій, присвячених як загальній теоретичній базі digital twin, так і прикладним аспектам їхнього впровадження в умовах української економіки та виробничих підприємств харчової галузі.

У дослідженні Ю. Яковенка та Р. Шаптали [1] здійснено ґрунтовний аналіз сучасних практик застосування цифрових двійників у виробничих процесах в Україні, із наголосом на оптимізації ресурсів, підвищенні енергоефективності та реалізації принципів сталого розвитку [1, с. 45–47]. Автори зазначають, що digital twin технології стають ключовим елементом у побудові «розумних» виробництв, де управлінські рішення приймаються на основі даних, отриманих у режимі реального

часу. Зокрема, наводяться приклади успішної оптимізації роботи складів, що дозволило скоротити час логістичних операцій на 20%, а також приклади використання цифрових моделей для підвищення ефективності роботизованих ліній [1, с. 53]. Окремо підкреслюється важливість цієї технології для післявоєнної реконструкції промисловості України, адже моделювання сценаріїв розвитку виробництв у цифровому середовищі дозволяє швидше відновлювати пошкоджені об'єкти та інтегрувати нові технології без значних ризиків.

Значний внесок у розвиток теоретичних засад концепції digital twin зробила Н. Панкратова зі співавторами [2], які розглядають етапи розвитку, класифікацію та галузі застосування цієї технології [2, с. 29–31]. Дослідники систематизують підходи до визначення цифрових двійників, відмінних від близьких понять, таких як симуляційні моделі чи кіберфізичні системи, та пропонують власну класифікацію на основі рівня інтегрованості й функціональних можливостей. У статті наголошується, що саме цифровий двійник відрізняється здатністю динамічно оновлюватися у відповідь на зміни у фізичному об'єкті, що робить його надзвичайно корисним для управління складними системами в умовах постійної нестабільності. Для України цей теоретичний фундамент є важливим, адже забезпечує наукову основу для подальшого розвитку прикладних досліджень та практичної імплементації у виробничі процеси харчової промисловості.

У публікації В. Веретельника, Т. Латишевої та Л. Куб'явки [3] розглядається питання інтеграції технології digital twin у процеси планування виробничої та проєктної діяльності [3, с. 17]. Автори акцентують увагу на тому, що цифрові двійники можуть стати важливим інструментом у підвищенні гнучкості планувальних систем, оскільки дозволяють тестувати різні сценарії розвитку виробництва без ризику для реальних процесів. Для харчових підприємств України, які часто стикаються з непередбачуваними перебоями у постачанні сировини чи персоналу, така можливість є особливо актуальною. Дослідження демонструє, що цифрові двійники можуть значно скоротити час підготовки виробничих планів, забезпечуючи їхню адаптивність до швидких змін зовнішніх умов.

Проблематику бар'єрів упровадження цифрових двійників аналізують Н. Притков і А. Заморев [4], виокремлюючи технічні,

організаційні та економічні обмеження, які можуть гальмувати поширення цієї технології [4, с. 82–83]. Серед головних викликів автори виділяють високу вартість початкових інвестицій, нестачу кваліфікованих фахівців, здатних працювати з такими системами, а також проблеми інтеграції цифрових двійників з уже наявними виробничими технологіями. У контексті України ця проблематика є особливо загостреною, оскільки харчові підприємства часто працюють із застарілим обладнанням, що ускладнює процес цифровізації. Водночас автори наголошують, що подолання цих бар'єрів можливе за рахунок поступового впровадження цифрових двійників на окремих ділянках виробництва та розвитку партнерств між підприємствами й науковими установами.

Іншим важливим напрямом досліджень є використання цифрових двійників для моніторингу та аналізу ефективності виробничих процесів. У статті М. Хан та ін. [5] представлено проєкт «PerfCam», де цифрові двійники використовуються для оцифрування ключових показників ефективності (KPI), зокрема загальної ефективності обладнання (OEE) на виробничих лініях [5 с. 64]. Використання камерного моніторингу дозволяє у режимі реального часу аналізувати продуктивність обладнання та персоналу, що створює передумови для зменшення простоїв та втрат. Хоча дослідження має переважно міжнародний характер, його результати можуть бути безпосередньо застосовані до українського контексту, де харчові підприємства стикаються з потребою підвищення продуктивності при обмеженій кількості персоналу.

Окрему увагу заслуговує робота Використання технології цифрових двійників (DT) для прогнозування потреб у робочій силі в післявоєнній реконструкції України [6], у якій пропонується застосування цифрових двійників для прогнозування попиту на робочу силу в умовах післявоєнної відбудови України. Автори наголошують на можливості інтеграції цифрових моделей із сучасними алгоритмами машинного навчання (LSTM, Random Forest) з метою підвищення точності прогнозів кадрових потреб на різних рівнях – від окремих підприємств до національної економіки. Такий підхід відкриває нові перспективи для адаптації технології digital twin не лише як інструмента виробничої оптимізації, але й як механізму стратегічного управління ринком праці.

Таким чином, аналіз останніх досліджень і публікацій дозволяє виокремити кілька клю-

зових тенденцій. По-перше, українські автори активно долучаються до розробки як теоретичних, так і практичних аспектів технології digital twin, пропонуючи власні моделі та приклади впровадження. По-друге, відзначається міждисциплінарний характер досліджень, що охоплюють як технічні, так і організаційні та економічні аспекти. По-третє, особлива увага приділяється специфічним умовам України – кадровим обмеженням, післявоєнній реконструкції та потребі у швидкій адаптації виробництва. Усе це формує наукове підґрунтя для подальшого вивчення потенціалу цифрових двійників у подоланні дефіциту персоналу на харчових підприємствах, забезпеченні їхньої безперервної роботи та підвищенні рівня продовольчої безпеки країни.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри зростаючий інтерес наукової спільноти до проблематики впровадження цифрових двійників у виробничі процеси, слід констатувати, що низка аспектів цієї теми досі залишається недостатньо вивченою, особливо в українському контексті. Більшість наявних досліджень зосереджуються на загальних принципах функціонування digital twin, їхній класифікації, технологічних можливостях та прикладах застосування у світовій практиці. Водночас систематичні та цільові праці, які б безпосередньо аналізували використання цієї технології в умовах воєнного часу, є поодинокими або ж відсутніми. Воєнні дії в Україні спричинили унікальні виклики для харчової промисловості, що характеризуються не лише зростанням дефіциту кваліфікованих кадрів унаслідок міграційних процесів, мобілізації та фізичних загроз для працівників, але й підвищеними вимогами до безперервності виробництва як елементу забезпечення продовольчої безпеки країни. Саме тому постає потреба в дослідженнях, які б інтегрували специфічний соціально-економічний та безпековий контекст України у вивчення технології цифрових двійників.

Окремої уваги потребує питання ролі digital twins у компенсації кадрового дефіциту саме на харчових підприємствах. Наявна література переважно зосереджена на прикладах промисловості загального профілю або ж на високотехнологічних галузях, де цифрові двійники розглядаються як інструмент підвищення енергоефективності, зменшення витрат чи оптимізації логістики. Водночас харчова промисловість має власну специфіку: високу залежність від ручної праці,

сезонність виробничих циклів, жорсткі вимоги до санітарно-гігієнічних стандартів і потребу у швидкому реагуванні на зміни попиту. Недостатній рівень досліджень саме в цій сфері призводить до того, що потенціал цифрових двійників як засобу автоматизації процесів, підвищення точності прогнозування виробничих навантажень і заміщення певних категорій трудових ресурсів залишається майже невивченим.

Таким чином, невирішеною залишається проблема комплексного аналізу впровадження digital twins у харчовій промисловості України в умовах воєнного часу. Потрібні наукові розвідки, які б враховували особливості кадрового дефіциту та можливості технології щодо його часткової компенсації, а також оцінювали б економічні, організаційні та соціальні наслідки такого впровадження. Відсутність цільових досліджень у цій сфері формує суттєвий науковий та практичний розрив, подолання якого є критично важливим як для розвитку самої галузі, так і для забезпечення продовольчої безпеки країни в умовах тривалої нестабільності.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета дослідження – визначення потенціалу технології цифрових двійників як інструменту оптимізації виробничих процесів і часткової компенсації кадрових втрат на харчових підприємствах України в умовах воєнного часу.

Завдання дослідження є: 1) проаналізувати вітчизняний та міжнародний досвід застосування технології digital twin у виробничих системах; 2) визначити функції персоналу, які можуть бути частково автоматизовані або підтримані за допомогою цифрових двійників; 3) розробити практичні рекомендації щодо впровадження технології цифрових двійників у діяльність харчових підприємств України.

Об'єкт дослідження – процеси впровадження цифрових двійників у виробничу діяльність харчових підприємств.

Предмет дослідження – інструменти та механізми використання технології цифрових двійників для компенсації кадрового дефіциту та підвищення ефективності виробництва.

Методи дослідження – аналіз наукових джерел і практик застосування технології digital twin, порівняльний аналіз міжнародного та українського досвіду, узагальнення і моделювання можливих напрямів її інтеграції у виробничі процеси.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сутність технології: визначення, кон-

цепція, класифікація. Концепція цифрових двійників (digital twin) сформувалася як логічний етап розвитку цифровізації виробничих систем і є ключовим елементом парадигми Індустрії 4.0. Згідно з визначенням, запропонованим у працях Н. Панкратової та співавт. [2], цифровий двійник являє собою віртуальну модель фізичного об'єкта, процесу або системи, яка перебуває у постійній інтеграції з реальним прототипом завдяки двосторонньому потоку даних. Така модель не є статичною симуляцією, а функціонує в динамічному режимі, забезпечуючи можливість відстеження змін, моделювання сценаріїв і прогнозування результатів на основі реальних даних.

Концептуально технологія базується на трьох ключових складових: фізичному об'єкті, його цифровому аналогу та двонапрямленому потоці інформації, що забезпечує актуальність і точність моделі. У сучасних дослідженнях також наголошується на ролі штучного інтелекту та технологій машинного навчання, які дозволяють цифровим двійникам не лише відображати стан системи, але й здійснювати інтелектуальний аналіз, виявляти приховані закономірності й надавати рекомендації для оптимізації роботи [2].

З позицій класифікації виділяють кілька типів цифрових двійників. По-перше, продуктові цифрові двійники, що описують конкретний виріб чи товар і дозволяють відстежувати його життєвий цикл. По-друге, виробничі двійники, які охоплюють процеси функціонування обладнання, виробничих ліній чи навіть цілих заводів. По-третє, організаційні або системні двійники, що інтегрують уявлення про підприємство в цілому, включно з логістичними, фінансовими та управлінськими процесами. Остання категорія має особливе значення для харчової промисловості, оскільки саме тут потрібна комплексна координація численних операцій, які залежать від ритмічності постачання сировини, роботи складських приміщень і виконання санітарних норм.

Сучасні дослідження свідчать, що цифрові двійники еволюціонують від статичних моделей до складних аналітичних систем, які інтегруються з алгоритмами штучного інтелекту та машинного навчання. Зокрема, З. Двудіт, Л. Мазник та ін. [6] підкреслюють можливість використання методів LSTM і Random Forest для точнішого прогнозування кадрових потреб, що розширює функціональність цифрових двійників і робить їх корисними не лише для моніторингу виробництва, але й для стратегічного управління людським капіталом.

Таким чином, сутність цифрових двійників полягає у створенні адаптивної, інтерактивної цифрової системи, що дозволяє підприємствам підвищувати ефективність управління, мінімізувати витрати й зменшувати залежність від людського чинника, що є особливо актуальним у сучасних умовах дефіциту персоналу.

Галузеві застосування: переваги в плануванні, оптимізації, моніторингу

Вивчення практичних кейсів свідчить, що цифрові двійники вже довели свою ефективність у різних галузях промисловості. Наприклад, дослідження Ю. Яковенко та Р. Шаптала [1] демонструє застосування цієї технології у виробничих комплексах України з акцентом на оптимізацію ресурсів, підвищення енергоефективності та забезпечення сталого розвитку. Автори наголошують, що цифрові двійники дозволяють моделювати роботу складських приміщень і логістичних потоків, що дає змогу зменшити потребу у великій кількості обслуговуючого персоналу. Це особливо важливо для українських підприємств, де дефіцит кадрів є системною проблемою.

Інший приклад подає інноваційна система PerfCam [5], що демонструє використання цифрового двійника для моніторингу виробничих ліній за допомогою камер та алгоритмів комп'ютерного зору. Така інтеграція дозволяє відслідковувати ключові показники ефективності (зокрема, OEE – Overall Equipment Effectiveness), аналізувати відхилення й оперативно реагувати на проблеми без потреби у постійній фізичній присутності працівників на всіх етапах процесу. У практичному вимірі це означає можливість скорочення кількості контрольних інспекторів та операторів ліній, залишаючи їхню роботу для більш складних і стратегічних завдань.

Дослідження В. Веретельник, Т. Латишева, Л. Кубявка [3] підкреслює значення цифрових двійників у плануванні виробничих і проєктних процесів. На їхню думку, застосування цифрових моделей дозволяє інтегрувати різні рівні планування – від ресурсного забезпечення до прогнозування кінцевих термінів постачання продукції. Це критично для харчової галузі, де затримки у виробництві або порушення логістики можуть призвести до значних втрат через обмежені терміни придатності продукції.

Узагальнюючи ці приклади, можна виділити основні переваги цифрових двійників у виробничих процесах:

- підвищення точності планування завдяки моделюванню сценаріїв;
- оптимізація використання ресурсів і зниження енергоспоживання;
- моніторинг обладнання в реальному часі та швидке реагування на відхилення;
- скорочення потреби у значних кадрових ресурсах для рутинних завдань.

Вирішення кадрових проблем

Однією з головних переваг впровадження цифрових двійників у харчовій промисловості є їхній потенціал у вирішенні кадрових проблем, які набули критичного характеру в Україні. Технологія здатна компенсувати нестачу персоналу за кількома ключовими напрямками. Важливою інновацією є те, що цифрові двійники можуть не лише автоматизувати контроль і обслуговування виробничого обладнання, а й виконувати роль інструмента прогнозування кадрових потреб. Згідно з З. Двудіт, Л. Мазник та ін. [6], цифрова модель робочої сили дозволяє враховувати фактори міграції, повернення демобілізованих працівників, регіональну мобільність та освітні програми. Це дає змогу підприємствам заздалегідь планувати кадрову політику та уникати критичних розривів у забезпеченні персоналом. Для харчових підприємств такий підхід може стати основою для довгострокового збереження безперервності виробництва.

Дистанційний контроль замість фізичної присутності. Завдяки цифровим двійникам стає можливою віддалена координація виробничих процесів. Система в реальному часі відображає стан обладнання, параметри виробничих ліній і якість продукції, що дозволяє керівникам та інженерам здійснювати управління без потреби у постійному перебуванні на заводі. Це особливо актуально в умовах воєнних ризиків, коли доступ до виробничих майданчиків може бути обмеженим або небезпечним.

Прогнозне обслуговування замість великих ремонтних бригад. Традиційно утримання великих ремонтних команд було необхідністю, адже будь-яка несправність обладнання могла призвести до зупинки виробничого процесу. Проте використання цифрових двійників із функціями прогнозової аналітики дозволяє завчасно виявляти потенційні несправності й планувати ремонт у зручний час, коли це мінімально вплине на виробничий цикл. Це скорочує потребу у великій кількості ремонтного персоналу, знижує витрати на аварійні зупинки та підвищує надійність виробництва.

Автоматизований контроль якості. Однією з найбільш трудомістких функцій у харчовій промисловості є контроль якості продукції на різних етапах. Цифрові двійники, інтегровані з системами комп'ютерного зору та сенсорними технологіями, дозволяють автоматизувати цей процес. Віртуальна модель може відстежувати показники якості в реальному часі, порівнювати їх із нормативними значеннями та сигналізувати про відхилення. Це зменшує потребу у великій кількості контролерів і знижує ризик людських помилок.

Віртуальне навчання на основі digital twin. Підготовка персоналу в умовах кадрового дефіциту є ще одним викликом. Традиційні методи навчання вимагають часу, ресурсів і доступу до обладнання, що може бути обмежено. Використання цифрових двійників як тренажерів для навчання дозволяє новим співробітникам отримувати практичні навички у віртуальному середовищі, не перериваючи виробничий процес і не ризикуючи безпекою обладнання. Це скорочує час підготовки кадрів і підвищує їхню компетентність.

Таким чином, цифрові двійники є не лише інструментом підвищення ефективності виробництва, але й потужним засобом часткової компенсації кадрового дефіциту.

Практична адаптація для України

Попри очевидні переваги, впровадження цифрових двійників у харчовій промисловості України стикається з низкою викликів. По-перше, значна частина підприємств має застаріле обладнання та слабку цифрову інфраструктуру, що ускладнює інтеграцію з сучасними технологіями. По-друге, фінансові обмеження підприємств, особливо в умовах воєнної економіки, знижують можливості для масштабних інвестицій у цифровізацію. По-третє, існує дефіцит спеціалістів, здатних працювати з технологіями digital twin, що створює додаткові організаційні бар'єри.

Водночас перспективним напрямом є інтеграція цифрових двійників з уже наявними системами управління підприємством, зокрема ERP-рішеннями. Така інтеграція дозволяє отримати єдиний інформаційний простір, у якому поєднуються дані про виробництво, постачання, фінанси та персонал. Це забезпечує комплексний підхід до управління підприємством і підвищує прозорість прийняття рішень.

Для практичної адаптації до українських умов доцільно застосовувати поетапний підхід. На першому етапі рекомендується реалізація пілотних проєктів на окремих ділянках

виробництва, що дозволить оцінити ефективність технології без значних фінансових витрат. На другому етапі можливе розширення функціоналу цифрових двійників на ключові виробничі процеси, а також інтеграція з ERP-системами. Завершальним етапом має стати масштабне впровадження із залученням навчальних програм для персоналу, що забезпечить стійкість і довгостроковий ефект.

Зважаючи на вищезазначене, впровадження цифрових двійників у харчову промисловість України є не лише технологічною інновацією, але й стратегічною необхідністю. Їхня адаптація до національних умов може стати ключовим фактором у подоланні кадрового дефіциту, підвищенні ефективності виробництва та забезпеченні продовольчої безпеки країни.

Висновки. Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна стверджувати, що технологія цифрових двійників (digital twins) має вагомий потенціал у подоланні сучасних викликів, з якими стикається харчова промисловість України. Насамперед, ідеться про кадровий дефіцит, спричинений воєнними діями, міграційними процесами та мобілізацією працівників. У цих умовах цифрові двійники виступають не просто інструментом оптимізації виробничих процесів, а й засобом зниження критичної залежності підприємств від чисельності персоналу. Вони дозволяють частково замінити фізичну присутність спеціалістів дистанційним контролем, прогнозним обслуговуванням обладнання, автоматизованими системами контролю якості та створенням інтерактивних середовищ для навчання нових кадрів.

Крім безпосереднього впливу на ефективність виробничих процесів, цифрові двійники мають стратегічне значення для забезпечення безперервності функціонування харчових підприємств, що є одним із ключових факторів підтримки продовольчої безпеки держави. Технологія дозволяє підвищити надійність планування, точність прогнозування та гнучкість реагування на коливання попиту, що особливо важливо в умовах нестабільності та обмежених ресурсів. З огляду на це, впровадження digital twins у харчову промисловість варто розглядати не лише як технологічну інновацію, а як елемент довгострокової стратегії відбудови та зміцнення агропродовольчого сектору України.

Водночас важливо наголосити, що реалізація цього потенціалу потребує системного підходу та ретельної адаптації до українських

умов. По-перше, необхідно розпочати із пілотних проєктів на окремих підприємствах, які дозволять протестувати цифрові двійники в реальних виробничих середовищах, оцінити технічні, організаційні та економічні бар'єри, а також продемонструвати практичні результати. По-друге, слід здійснити ґрунтовний аналіз показників окупності інвестицій (ROI), що стане базою для прийняття управлінських рішень щодо масштабування впровадження. По-третє, важливо вибудувати дорожню карту інтеграції технології з урахуванням обмежених фінансових ресурсів, слабкої інфраструк-

тури та потреби в поступовому формуванні цифрової культури серед працівників.

Таким чином, цифрові двійники є перспективним напрямом цифрової трансформації українських харчових підприємств, здатним не лише підвищити їхню стійкість у воєнних умовах, але й закласти фундамент для інноваційного розвитку галузі в майбутньому. Їхнє застосування варто розглядати як один із ключових інструментів модернізації, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності національного агропродовольчого сектору в глобальному вимірі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Яковенко Ю., Шаптала Р. Цифрові двійники в українській промисловості: оптимізація ресурсів, енергоефективність та сталий розвиток. *Technology Audit and Production Reserves*. 2024. 2(4(76)), С. 11–20.
2. Панкратова Н., Сидоренко А., Власенко О. Концепція цифрового двійника: етапи розвитку, класифікація та галузі застосування. *IASA Journal*. 2023. № 4. С. 12–27.
3. Веретельник В., Латишева Т., Кубявка Л. Планування проєктно-виробничої діяльності з використанням цифрового двійника. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 5(3 (131)). С. 6–17.
4. Притков Н. І., Заморєв А. С. Бар'єри впровадження цифрових двійників: технічні, організаційні та економічні чинники. *Philosophical Problems of IT and Cyberspace (PhilIT&C)*. 2023. № 1. С. 53–64.
5. Хан М., Чжоу Л., Пател Р. PerfCam: цифровий двійник для моніторингу виробничих ліній на основі камерного аналізу ОЕЕ. *arXiv*. 2025. № 2502. С. 1–15.
6. Двудіт З., Мазник Л., Мазник К., Брич Л., Двудіт М.-М., Іващук Н., Іващук А. Використання технології цифрових двійників (DT) для прогнозування потреб у робочій силі в післявоєнній реконструкції України. *2nd International Conference on Smart Automation & Robotics for Future Industry (SMARTINDUSTRY – 2025)*, Lviv, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings. 2025. № 3678. С. 112–124.
7. Тао Ф., Чжан Х., Ліу А., Ні А. Цифрові двійники в промисловості: сучасний стан і напрями майбутніх досліджень. *Advanced Engineering Informatics*. 2022. Т. 52. С. 101554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101554>
8. Нергі Е., Фумагаллі Л., Маккі М. Огляд ролей цифрових двійників у розумному виробництві. *Computers in Industry*. 2021. Т. 132. С. 103476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103476>
9. Шубенкова К., Петров А. Цифрова трансформація харчової промисловості: впровадження цифрових двійників для сталого виробництва. *Journal of Food Systems and Digital Innovation*. 2024. Т. 8, № 2. С. 67–79.
10. Габор Т., Белцнер Л., Кірмашер М., Фам М. Архітектура цифрових двійників для розумного виробництва, заснована на моделюванні. *IEEE Access*. 2023. Т. 11. С. 45621–45635. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3245781>

REFERENCES:

1. Yakovenko, Y., & Shaptala, R. Tsifrovi dviinyky v ukrainskii promyslovosti: optymizatsiia resursiv, enerhoefektyvnist ta stalyi rozvytok [Study of digital twins as the driving force of digital transformation and achieving the goals of sustainable development]. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(4(76)), 11–20.
2. Pankratova, N., Sydorenko, A., & Vlasenko, O. (2023) Kontseptsiiia tsyvrovoho dviinyka: etapy rozvytku, klasyfikatsiia ta haluzi zastosuvannia [Digital twins: stages of concept development, areas of use, prospects]. *IASA Journal*, (4), 12–27.
3. Veretelnyk, V., Latysheva, T., & Kubiavka, L. (2024) Planuvannia proiektno-vyrobnychoi diialnosti z vykorystanniam tsyvrovoho dviinyka [Development of a concept of combined project-production activities planning using digital twins]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3 (131)), 6–17.
4. Prytkov, N. I., & Zamorev, A. S. (2023). Bar'yery vprovadzhenia tsyvrovykh dviinykiv: tekhnichni, orhanizatsiini ta ekonomichni chynnyky [Barriers to the integration of digital twin technology in manufacturing]. *Philosophical Problems of IT and Cyberspace (PhilIT&C)*, 1:53-64.
5. Khan, M., Zhou, L., & Patel, R. (2025). PerfCam: Digital Twinning for Production Lines Using 3D Gaussian Splatting and Vision Models. *arXiv*, 2502, 1–15.

6. Dvulit, Z., Maznyk, L., Maznyk, K., Brych, L., Dvulit, M.-M., Iwaszczuk, N., & Iwaszczuk, A. (2025) Using Digital Twin (DT) Technology for Workforce Demand Forecasting in the Post-War Reconstruction of Ukraine. In *2nd International Conference on Smart Automation & Robotics for Future Industry (SMARTINDUSTRY – 2025)*, Lviv, Ukraine. CEUR Workshop Proceedings, 3678, 112–124.
7. Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. (2022) Digital Twin in Industry: State-of-the-Art and Future Research Directions. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101554>
8. Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2021) A Review of the Roles of Digital Twin in Smart Manufacturing. *Computers in Industry*, 132, 103476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103476>
9. Shubenkova, K., & Petrov, A. (2024) Digital Transformation of the Food Industry: Implementation of Digital Twins for Sustainable Production. *Journal of Food Systems and Digital Innovation*, 8(2), 67–79.
10. Gabor, T., Belzner, L., Kiermeier, M., & Pham, M. (2023) A Simulation-Based Architecture for Smart Manufacturing Digital Twins. *IEEE Access*, 11, 45621–45635. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3245781>