

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У МІЖНАРОДНОМУ БІЗНЕСІ

В останнє десятиліття цифрові двійники з'явилися як революційна технологія, що відкриває двері для цифрових інновацій і модернізації. Цифровий двійник (ЦД) [1] – це віртуальна модель фізичного об'єкта або системи, яка використовує реальні дані для моніторингу, аналізу та прогнозування їх поведінки в реальному часі. Її також називають технологією створення віртуальних клонів. Такий підхід дозволяє компаніям отримувати оперативну та достовірну інформацію про стан об'єктів, забезпечуючи швидке реагування на можливі проблеми. У програмах цифрових двійників використовуються інструменти штучного інтелекту, моделювання та аналітики даних, Інтернету речей, доповненої, віртуальної та штучної реальності. Завдяки цьому цифрові двійники надають можливість не лише відстежувати реальний стан об'єкта, але й моделювати можливі сценарії його подальшого розвитку. Важлива особливість ЦД полягає в тому, що він отримує вхідні дані від датчиків реального пристрою, який працює одночасно з ним. Це забезпечує високу точність моделювання та дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення. Цифрові двійники вже знайшли широке застосування у промисловості, будівництві, медицині, енергетиці, аерокосмічній галузі та розумних містах для моделювання, оптимізації та прогнозування процесів у реальному часі [2-4]. Вони допомагають підвищити ефективність, зменшити витрати та покращити прийняття рішень у різних сферах бізнесу та технологій. Зовсім недавно дослідники почали створювати цифрові двійники для природних середовищ, що відкриває нові можливості для прогнозування змін клімату та природних катастроф. Однак у міжнародному бізнесі ЦД використовуються мало через високу вартість, складність інтеграції, відсутність стандартів і ризики кібербезпеки.

Метою роботи було дослідити використання цифрових двійників у міжнародному бізнесі, визначити їхні основні сфери застосування, переваги та недоліки впровадження, а також оцінити перспективи їх подальшого розвитку та інтеграції у глобальні бізнес-процеси.

Міжнародний бізнес – це діяльність компаній, яка включає виробництво, торгівлю, інвестиції чи надання послуг у двох або більше країнах. Він охоплює експорт, імпорт, науково-технічне співробітництво, міжнародні інвестиції, проявляється у створенні міжнародних стратегічних альянсів, філій за кордоном та інших форм економічної взаємодії у міжнародному контексті. Особливістю міжнародного бізнесу є необхідність роботи в різних часових поясах, з різними правовими системами, мовами та культурами. Цифрові двійники підвищують ефективність і продуктивність, оптимізують витрати, зменшують час простоїв та дозволяють швидко адаптуватися до змін ринку. Їх широке впровадження відкриває нові можливості для міжнародного бізнесу, допомагаючи компаніям залишатися конкурентоспроможними у глобальній економіці.

ЦД вже використовуються у міжнародному бізнесі, але їхнє поширення поки що обмежене низкою факторів, зокрема, високою вартістю впровадження, складністю і масштабом операцій, які вимагають більшого контролю, координації та оптимізації, технологічними бар'єрами та недостатньою стандартизацією. Найбільше активно ЦД впроваджуються у промисловості [2] для оптимізації виробничих процесів, моніторингу обладнання та прогнозування технічного обслуговування. Завдяки поєднанню реальних і цифрових моделей обладнання, підприємства можуть проводити точний аналіз, прогнозувати несправності та покращувати роботу виробничих потужностей.

Найчастіше, у міжнародному бізнесі компанії використовують цифрові двійники для симуляції виробничих ліній, прогнозного обслуговування обладнання, глобального управління виробництвом, автоматизації та тестування нових продуктів. Такі компанії, як Siemens, General Electric, Bosch, Tesla та BMW, застосовують цю технологію для вдосконалення своїх процесів у різних країнах.

Друге місце по використанню цифрових двійників займає логістика та управління ланцюгами поставок. Цифрові двійники допомагають відстежувати вантажі, оптимізувати маршрути та управляти складами. Компанії, такі як DHL або Maersk, активно застосовують їх для покращення ефективності глобальних логістичних операцій. Також у галузі логістики використовують цифрові двійники такі відомі компанії як Amazon та Walmart для управління глобальними ланцюгами поставок. Цифрові двійники цих компаній у сфері роздрібної торгівлі не тільки контролюють логістичні операції, а і допомагають управляти запасами, прогнозувати попит та оптимізувати мережі магазинів. Завдяки

аналізу великих обсягів даних компанії можуть прогнозувати ризики, оптимізувати витрати та підвищувати продуктивність. У сфері міжнародної торгівлі ЦД використовуються для координації глобальних ланцюгів постачання, зменшення операційних витрат і мінімізації логістичних затримок. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності компаній на міжнародному ринку.

Лідерами використання цифрових двійників на міжнародному рівні є транснаціональна компанія Shell (Велика Британія, Нідерланди) та британська компанія BP (British Petroleum, Велика Британія). Компанія Shell активно використовує цифрові двійники для управління нафтогазовими активами, зокрема для моніторингу обладнання на офшорних платформах, прогнозування технічних збоїв та планування профілактичного обслуговування, що допомагає уникнути дорогих простоїв і знизити ризики аварій. Крім того, ЦД дозволяють оптимізувати виробництво нафти та газу, моделюючи різні сценарії видобутку, що призводить до зниження собівартості продукції. Компанія BP активно використовує цифрові двійники для управління нафтогазовими родовищами та переробними заводами, що дозволяє оптимізувати видобуток і підвищити продуктивність, особливо у віддалених або складних регіонах. До того ж, цифрові двійники допомагають BP ефективно керувати енергетичними мережами, забезпечуючи стабільний розподіл електроенергії та газу, уникаючи перевантажень і підтримуючи баланс у різних країнах. Також ці дві енергетичні компанії застосовують цифрові двійники у логістиці. У міжнародній авіації цифрові двійники активно використовують такі компанії, як Airbus, Boeing та General Electric (GE Aviation). Вони застосовують ці технології для моделювання, тестування та оптимізації роботи літаків, двигунів і авіаційних систем, що дозволяє покращувати ефективність, знижувати витрати на обслуговування та підвищувати безпеку польотів. Наприклад, Airbus, Boeing використовують цифрові двійники для моніторингу стану літаків у реальному часі, а GE Aviation – для аналізу роботи авіаційних двигунів.

Попри значні переваги, використання цифрових двійників у міжнародному бізнесі стикається з низкою проблем. Насамперед, висока вартість впровадження та технічне обслуговування обмежує доступність цієї технології для багатьох компаній. Поруч із цим, відсутність єдиних міжнародних стандартів та сумісності між різними платформами ускладнює інтеграцію цифрових двійників у глобальні бізнес-процеси. Поміж технічних бар'єрів, компанії також стикаються зі складністю законодавчого регулювання, оскільки різні країни мають відмінні підходи до цифрових технологій та управління даними. Крім того, питання кібербезпеки та захисту конфіденційних даних викликають занепокоєння, оскільки цифрові двійники оперують великими масивами інформації. Ризики витоку даних та потенційних кібератак змушують компанії вкладати додаткові ресурси у захист своїх систем, що ще більше підвищує витрати на впровадження цієї технології. Також існує нестача кваліфікованих спеціалістів, які можуть ефективно розробляти та впроваджувати ці технології. Ще одним викликом є складність адаптації цифрових двійників до швидкозмінного ринкового середовища та регуляторних вимог у різних країнах. Подолання цих проблем потребує значних інвестицій, міжнародної співпраці та розробки уніфікованих підходів до розвитку цифрових двійників у глобальному масштабі.

Таким чином, у міжнародному бізнесі цифрові двійники використовують переважно великі компанії через їхню здатність інвестувати у дорогі технології, доступ до великих обсягів даних та складні операційні процеси, де такі інновації приносять значну економічну вигоду. Малі та середні підприємства часто не мають достатніх ресурсів для впровадження цифрових двійників, зосереджуючись на більш нагальних завданнях, таких як підтримка базових операцій або конкуренція на ринку. Таким чином, використання цифрових двійників у міжнародному бізнесі залишається переважно привілеєм великих корпорацій. Загалом цифрові двійники є потужним інструментом, що трансформує міжнародний бізнес, сприяючи його гнучкості, ефективності та інноваційності. Подальший розвиток цієї технології, а також її інтеграція зі штучним інтелектом та Інтернетом речей, відкриває нові можливості для глобальних компаній і змінює економічну природу сучасного світу.

Список використаних джерел

1. Abayadeera M. R., Ganegoda G. U. Digital Twin Technology: A Comprehensive Review. *International Journal of Scientific Research and Engineering Trends*. 2024. Vol. 10, Issue 4. PP. 1485–1504. URL: <https://doi.org/10.61137/ijset.vol.10.issue4.199> (the date of application: 24.03.25).
2. da Silva Mendonça R., de Oliveira Lins S., de Bessa I. V., de Carvalho Ayres F. A., Jr., de Medeiros R. L. P., de Lucena V. F., Jr. Digital Twin Applications: A Survey of Recent Advances and Challenges. *Processes*. 2022. Vol. 10. Article 744. URL: <https://doi.org/10.3390/pr10040744> (the date of application: 24.03.25).
3. Holopainen M., Saunila M., Rantala T., Ukko J. Digital twins' implications for innovation. *Technology Analysis & Strategic Management*. 2024. Vol. 36, No. 8. PP. 1779-1791. URL: <https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2115881> (the date of application: 24.03.25).
4. Tooth J., Tuptuk N., Watson J.D.M. Transdisciplinary Perspectives on Navigating Digital Twin Adoption. *Engineering for Social Change*. 2024. PP. 453. URL: <https://doi.org/10.3233/ATDE240892> (the date of application: 24.03.25)