

Базик О. В., д-р екон. наук Гринько Т. В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна)

**КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНТЕГРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ
В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ**

За сучасних умов підприємства стикаються з викликами, зумовленими конкуренцією, нестабільністю зовнішнього середовища та стрімким розвитком цифрових технологій. Традиційні моделі управління виявляються неефективними для адаптації до цих змін. Інтернет речей (IoT) створив передумови для розробки нових підходів до управління бізнес-процесами, заснованих на автоматизації та зборі даних у режимі реального часу, що призвело до формування концепції цифрового двійника (ЦД).

Цифровий двійник – це віртуальна репліка фізичного об’єкта або процесу, яка дає змогу проводити симуляції, прогнозування та оптимізацію управлінських рішень [1]. Спочатку цифрові двійники застосовувалися переважно у виробництві. Проте нині ця концепція активно впроваджується для моделювання бізнес-процесів, забезпечуючи динамізм, оперативність і вищу якість управлінських рішень.

Інтеграція цифрових двійників у бізнес-процеси породжує низку взаємопов’язаних викликів, які необхідно подолати для повного розкриття їхнього трансформаційного потенціалу. Серед них – точність моделювання, синхронізація даних у режимі реального часу та їхня надійність, що є критично важливими для точних симуляцій і прийняття обґрунтованих рішень. Автоматичні втручання та прийняття нових технологій користувачами додають складності, вимагаючи узгодженої взаємодії між цифровими й фізичними системами, а також постійної співпраці зацікавлених сторін. Подолання цих викликів дає змогу організаціям повною мірою реалізувати переваги цифрових двійників, підвищуючи ефективність та адаптивність своїх операцій.

Еволюція інструментів моделювання суттєво змінила підходи до представлення фізичних об’єктів і процесів у цифровому середовищі. З’явилися дедалі складніші цифрові моделі, що дають змогу детально відтворювати реальні об’єкти та їхні властивості. У результаті виникли такі поняття, як цифрова модель, цифрова тінь і цифровий двійник, як показано на рис. 1.

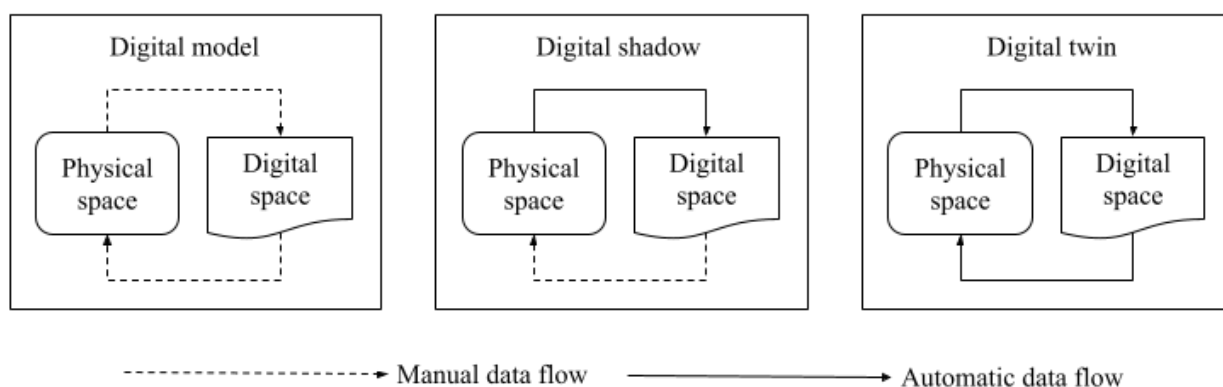


Рис. 1. Digital Model, Digital Shadow і Digital Twin представлення на основі фізичних і цифрових просторів

Цифрова модель – це цифрове представлення одного або кількох аспектів фізичного об’єкта. Проте окрема модель зазвичай не здатна повністю охопити фізичний об’єкт, оскільки зосереджена на окремому аспекті, а не на його цілісному зображенні (наприклад, просторові параметри, поточний стан або можливі дії) [12]. Тому, хоча цифрові моделі є корисними, вони часто створюються вручну, що може призводити до неповноти інформації або затримок в оновленні.

Поява технологій IoT дала змогу автоматизувати збір даних у режимі реального часу, що призвело до формування поняття «цифрова тінь». Цифрова тінь забезпечує автоматичне оновлення цифрових моделей на основі реальних даних, що дозволяє точно відображати поточний стан фізичного об’єкта та здійснювати моніторинг у режимі реального часу. Наступним етапом стала поява цифрового двійника – віртуальної копії реального об’єкта або процесу, яка синхронізована з фізичним об’єктом із певною періодичністю та точністю [1]. Основна відмінність цифрових двійників від цифрових тіней полягає у розширеному функціоналі, який дає змогу не лише відслідковувати поточний стан об’єкта, а й моделювати сценарії типу «що буде, якщо», приймати обґрунтовані рішення та керувати поведінкою фізичних об’єктів. Таким чином, цифрові двійники забезпечують двосторонній потік даних між фізичним і цифровим середовищами.

Використання цифрових двійників на рівні організації дає змогу динамічно представляти організаційні процеси, оперативно реагувати на непередбачувані події, скорочувати цикл розробки продукції та покращувати її якість. Крім того, цифрові двійники на організаційному рівні можуть надати цілісне бачення внутрішніх процесів, що сприяє ефективнішому управлінню та організаційному проектуванню. Ключовою особливістю бізнес-процесів є те, що будь-яка організація виконує послідовність дій, спрямованих на створення продукту або надання послуги. Ці процеси зазвичай інтегровані у виробничі та операційні процедури підприємства і структуровані відповідно до його підрозділів. Наприклад,

у виробничому підрозділі бізнес-процес може складатися з послідовних етапів складання продукції [11], тоді як у логістичному – охоплювати етапи доставки товарів.

Бізнес-процеси традиційно вбудовані в операційну діяльність підприємства та тісно пов'язані з роботою окремих підрозділів. З огляду на зростаючі вимоги до ефективності та конкурентоспроможності, бізнес-процеси потребують постійного вдосконалення. З цією метою застосовується стандартний цикл управління бізнес-процесами, що включає кілька ключових етапів:

1. Ідентифікація процесів: визначення бізнес-процесів, які потребують покращення або оптимізації.

2. Виявлення процесів: побудова та опис існуючих моделей бізнес-процесів. На цьому етапі часто застосовуються методи Process Mining для автоматичного збору інформації з журналів подій, що дає змогу формувати детальні моделі процесів [3].

3. Аналіз процесів: виявлення недоліків у поточних процесах та оцінка їхнього впливу на ефективність організації.

4. Редизайн процесів: розробка нових (to-be) моделей процесів, які краще відповідають стратегічним цілям організації.

5. Реалізація процесів: практичне впровадження нових моделей із забезпеченням ресурсів, систем та навчання персоналу. Цей етап може включати використання спеціалізованих технологій автоматизації, таких як рушії процесів.

6. Моніторинг процесів: постійне спостереження за виконанням процесів із використанням інформаційних панелей (дашбордів), які дозволяють оперативно реагувати на відхилення.

Повторення цих етапів сприяє циклічному вдосконаленню діяльності підприємства, оскільки кожна ітерація відкриває нові можливості для оптимізації. Такий підхід підвищує адаптивність організації до змін зовнішнього середовища та сприяє загальному підвищенню ефективності.

Інтеграція цифрових двійників: перехід від статичних до динамічних бізнес-процесів. З метою кращого розуміння інтеграції бізнес-процесів і цифрових двійників, на рис. 2 представлено концептуальну модель, що ілюструє взаємозв'язок між реальними бізнес-процесами, їхніми моделями, цифровими тінями та цифровими двійниками.

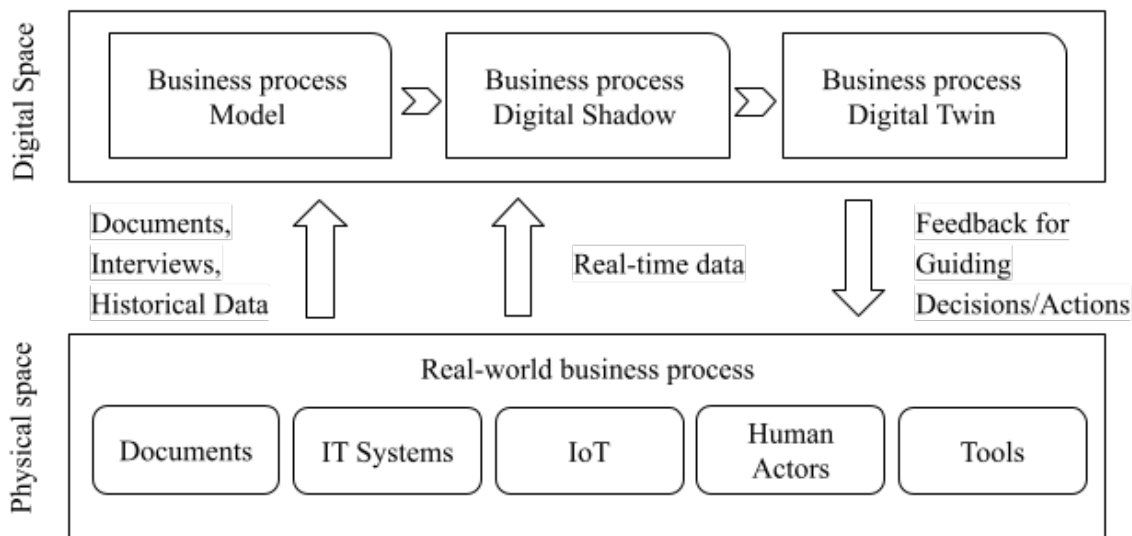


Рис. 1. Інтеграція та підключення між фізичними бізнес-процесами та їхніми цифровими аналогами

Практично кожна організація виконує набір взаємопов'язаних послідовних дій для створення продукції або надання послуг. Бізнес-процеси та цифрові двійники мають спільні риси у цифровому відтворенні реальних процесів, а в деяких випадках – цілих організацій. Як показано на рис. 2, реальний бізнес-процес охоплює різноманітні фізичні сутності – людей, системи, IoT-пристрої, документи тощо – які існують у фізичному просторі.

Першим кроком до інтеграції є створення моделі бізнес-процесу, яка відповідає цифровій моделі в контексті цифрових двійників. Моделювання бізнес-процесів здійснюється за стандартним підходом управління бізнес-процесами (BPM), оскільки ці процеси зазвичай уже функціонують в організації [3]. Як правило, використовуються два типи моделей:

Імперативні моделі – чітко визначають послідовність дій у процесі, наприклад,

за допомогою мереж Петрі або блок-схем. Вони описують поведінку процесу в стабільних умовах.

Декларативні моделі – описують бізнес-процеси через обмеження, що визначають допустиму поведінку. Такі моделі створюються мовами Declare, DCR-діаграмами [6] або SCIFF [9] і є ефективними для опису динамічних і змінюваних процесів.

Поєднання моделі бізнес-процесу з потоками даних у реальному часі утворює Цифрову тінь бізнес-процесу (BPDS). BPDS поєднує цифрові моделі з потоками даних для точного відображення поточного стану процесу [10]. Це дає змогу детально моніторити всі фази виконання процесу в реальному часі. Джерелами даних для цифрових тіней можуть бути IoT-пристрої, бізнес-системи, системи контролю тощо. Дані з цих джерел інтегруються та візуалізуються за допомогою спеціалізованих дашбордів, що дозволяє менеджерам оперативно оцінювати ситуацію та приймати рішення щодо подальшої оптимізації процесів [7].

Повний перехід до Цифрового двійника бізнес-процесу (BPDT) є критично важливим для виявлення неефективностей, стратегічного управління та оптимізації процесів на основі точного прогнозування. BPDT підтримує детальний аналіз сценаріїв «що буде, якщо», використовуючи симуляції та прогнози [3]. Це дає змогу моделювати різні сценарії, оцінювати їх результати та стратегічно оптимізувати бізнес-процеси. Порівнюючи ключові показники ефективності (KPI) для альтернативних сценаріїв, можна визначити найефективнішу модель процесу. У результаті бізнес-процеси стають адаптивнішими, ефективнішими та здатними швидко реагувати на зовнішні виклики. Інтеграція цифрових двійників у систему управління підприємством відкриває нові можливості для підвищення ефективності та гнучкості бізнес-процесів. Завдяки використанню технологій IoT і автоматизованого збору даних у реальному часі формується «цифрова тінь» процесу, що слугує основою для розгортання повноцінного цифрового двійника. Така інтеграція забезпечує глибоке моделювання, симуляції

сценаріїв та проактивне управління, що дозволяє оперативно реагувати на внутрішні та зовнішні виклики бізнесу.

Двосторонній обмін даними між цифровим і фізичним середовищами сприяє зменшенню затримок у прийнятті рішень і зниженню ризиків, пов'язаних із неточною чи неповною інформацією. Цифровий двійник бізнес-процесу (BPDT) значно розширює функціональні можливості традиційного моделювання, даючи змогу не лише здійснювати моніторинг у реальному часі, а й формувати обґрунтовані рекомендації щодо редизайну процесів на основі відповідних показників ефективності. Це забезпечує постійне вдосконалення бізнес-процесів з метою зниження витрат, покращення якості продукції або послуг та підвищення конкурентоспроможності.

Таким чином, сучасна концептуальна модель інтеграції цифрових двійників у систему управління підприємством формує основу для глибшого розуміння операційної динаміки, підвищення прозорості процесів і забезпечення більш узгодженої роботи різних підрозділів. Її впровадження сприятиме розвитку адаптивних організаційних структур, здатних ефективно реагувати на стрімко змінювані умови ринку та виклики цифрової епохи.

Список використаних джерел:

1. Barricelli, B., Casiraghi, E., & Fogli, D. (2019). A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access*, 7, 167653–167671. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499>.
2. Panetta, K. (2019). Gartner top 10 strategic technology trends for 2019. Gartner. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>.
3. Kuehn, W. (2018). Digital twins for decision making in complex production and logistic enterprises. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 13(3), 260–271.
4. Нікітін, Ю.О., & Кульчицький, О.І. (2019). Цифрова парадигма як основа визначень: цифровий бізнес, цифрове підприємство, цифрова трансформація. *Маркетинг і цифрові технології*, 3(4), 77–87.
5. Le, L., 2024. P-r-dash: A dashboard-constructing tool for twinning business processes. *SN Computer Science*, 5, 550.
6. Matta, A., Lugaresi, G., 2023. Digital twins: Features, models, and services, in: *Winter Simulation Conference, WSC 2023*, San Antonio, TX, USA, December 10–13, 2023, IEEE. pp. 46–60.
7. Lee, J., Chua, P. C., Liu, B., Moon, S. K., & Lopez, M. (2024). A hybrid Data-Driven optimization and Decision-Making approach for a digital twin environment: towards customizing production platforms. *International Journal of Production Economics*, 109447.

8. Кулинич, М.Б. (2019). Цифрова трансформація вітчизняних підприємств в сучасних умовах. *Економіка, управління та адміністрування*, 3(89), 8–15.
9. Seiger, R., Malburg, L., Weber, B., Bergmann, R., 2022. Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases. *Journal Of Manufacturing Systems*, 63, 575–592
10. Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *IEEE Access*, 6, 3585–3593.
11. Дергачова, Г.М., & Колешня, Я.О. (2020). Цифрова трансформація бізнесу: сутність, ознаки, вимоги та технології. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*, 17.
12. Wang, B., Zhou, H., Li, X., Yang, G., Zheng, P., Song, C., Yuan, Y., Wuest, T., Yang, H., & Wang, L. (2023). Human Digital Twin in the context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 85, 102626.