

ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВОГО МЕТАВСЕСВІТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто концепцію промислового метавсесвіту як середовища інтеграції цифрових двійників, систем Інтернету речей та технологій віртуальної і доповненої реальності для моделювання виробничих процесів. Запропоновано підхід до використання промислового метавсесвіту для оптимізації технологічних режимів і прогнозування стану обладнання. Показано, що використання цифрових моделей виробничих систем дозволяє підвищити ефективність управління технологічними процесами та зменшити витрати на експлуатацію обладнання.

Ключові слова: промисловий метавсесвіт, цифровий двійник, Інтернет речей, кіберфізичні системи, промислова автоматизація.

Abstract

The paper considers the concept of the industrial metaverse as an environment for integrating digital twins, Internet of Things systems, and virtual and augmented reality technologies to simulate industrial processes. An approach to the use of the industrial metaverse for optimizing technological modes and predicting equipment conditions is proposed. It is shown that the use of digital models of industrial systems can significantly improve the efficiency of technological process control and reduce operational costs.

Keywords: industrial metaverse, digital twin, Internet of Things, cyber-physical systems, industrial automation.

Вступ

Цифрова трансформація промисловості є одним із ключових напрямів розвитку сучасних виробничих систем. У межах концепції Industry 4.0 активно впроваджуються технології Інтернету речей, штучного інтелекту та кіберфізичних систем. Одним із нових етапів розвитку цих технологій є формування так званого промислового метавсесвіту — інтегрованого цифрового середовища, яке поєднує віртуальні моделі виробничих систем із реальними технологічними об'єктами.

Промисловий метавсесвіт дозволяє створювати повноцінні цифрові представлення підприємств, виробничих ліній або окремих технологічних процесів. Такі моделі формуються на основі даних сенсорних систем, які збирають інформацію про стан обладнання, параметри середовища та характеристики виробничих процесів. У результаті створюється цифровий двійник об'єкта, який може використовуватися для моделювання, аналізу та прогнозування роботи системи.

Використання промислового метавсесвіту відкриває нові можливості для управління складними виробничими системами. Зокрема, стає можливим проведення експериментів із технологічними режимами без втручання у реальний виробничий процес. Це дозволяє зменшити ризики, пов'язані з випробуванням нових алгоритмів керування, а також підвищити ефективність оптимізації виробництва [1].

Метою роботи є дослідження можливостей використання промислового метавсесвіту для моделювання та оптимізації технологічних процесів на підприємствах.

Результати дослідження

Промисловий метавсесвіт базується на інтеграції фізичних виробничих систем із їх цифровими моделями. Основним елементом такої інтеграції є **цифровий двійник**, який представляє собою динамічну математичну модель об'єкта, що постійно оновлюється на основі даних сенсорних вимірювань.

Структурно система промислового метавсесвіту може бути представлена у вигляді трирівневої архітектури:

- **Фізичний рівень**, що включає технологічне обладнання, датчики та виконавчі механізми.
- **Цифровий рівень**, на якому формується цифровий двійник виробничої системи.

- **Віртуальний рівень**, що забезпечує інтерактивну взаємодію користувача з моделлю у середовищі віртуальної або доповненої реальності.

Формування цифрового двійника передбачає використання мережі датчиків, які здійснюють вимірювання параметрів технологічного процесу, таких як температура, тиск, швидкість обертання, енергоспоживання тощо. Отримані дані передаються до інформаційної системи, де використовуються для коригування параметрів математичної моделі об'єкта.

На фізичному рівні дані від сенсорів передаються до інформаційної системи через мережеву інфраструктуру. Отримані дані використовуються для оновлення параметрів цифрового двійника. У свою чергу, цифрова модель дозволяє виконувати моделювання різних сценаріїв функціонування системи [2].

Для опису взаємодії між реальним об'єктом та його цифровим двійником може бути використано узагальнену модель:

$$X_p(t) = f(X_d(t), U(t), \theta), \quad (1)$$

де $X_p(t)$ - вектор параметрів фізичної системи;

$X_d(t)$ - стан цифрового двійника;

$U(t)$ - керуючі впливи;

θ - параметри моделі.

Використання промислового метавсесвіту дозволяє виконувати таку оптимізацію у віртуальному середовищі, використовуючи цифрові моделі виробничих систем. У результаті можна визначити найбільш ефективні режими роботи обладнання без необхідності проведення експериментів на реальному виробництві (рис. 1) [3].

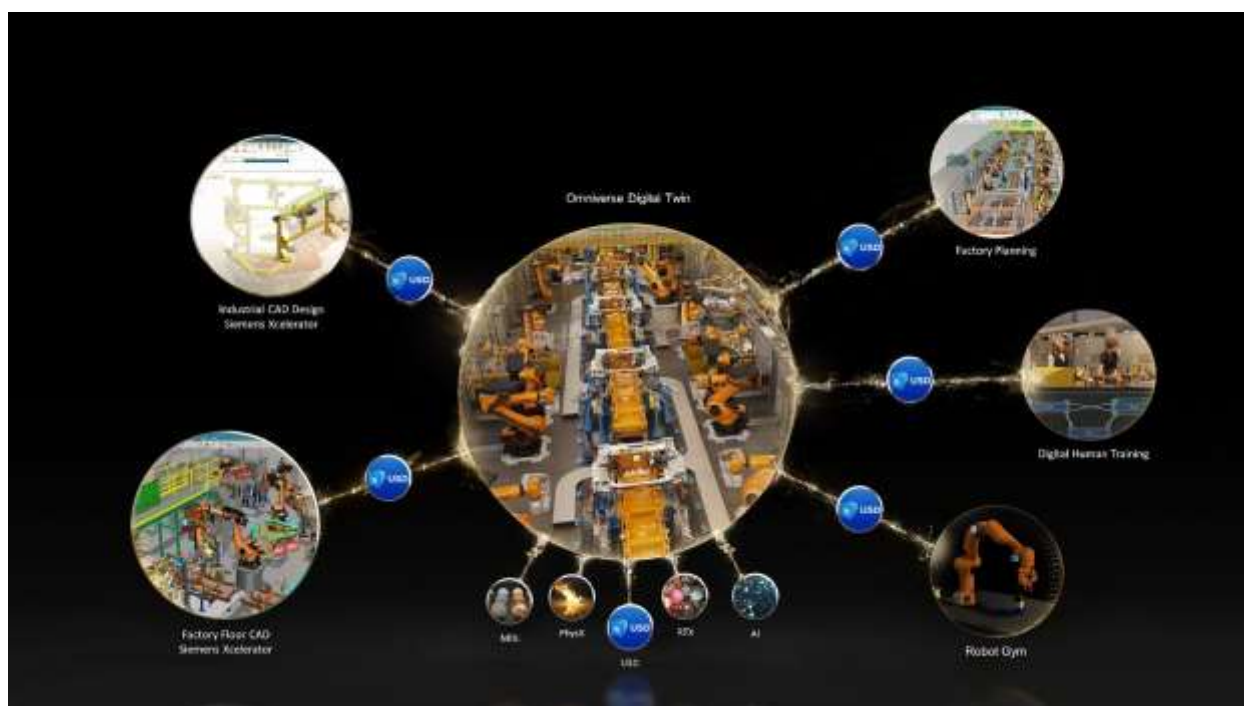


Рис. 1. Структура Nvidia Omniverse

Окрім задач оптимізації, промисловий метавсесвіт може використовуватися для прогнозування технічного стану обладнання. Аналіз часових рядів сенсорних даних дозволяє виявляти тенденції зміни параметрів системи та визначати ознаки можливих відмов. На основі таких даних можуть бути сформовані алгоритми предиктивного обслуговування [4].

Важливою перевагою промислового метавсесвіту є можливість інтерактивної візуалізації виробничих процесів. Інженери та оператори можуть спостерігати роботу обладнання у тривимірному віртуальному середовищі, аналізувати параметри системи та приймати рішення щодо оптимізації режимів роботи.

Таким чином, промисловий метавесвіт формує нову парадигму управління виробничими системами, яка поєднує можливості математичного моделювання, аналізу даних та інтерактивної візуалізації технологічних процесів [5].

Висновки

У роботі досліджено можливості використання промислового метавесвіту для моделювання та оптимізації виробничих процесів. Показано, що інтеграція цифрових двійників, сенсорних систем та засобів віртуальної візуалізації дозволяє створити єдине цифрове середовище для дослідження функціонування технологічних систем.

Запропонована математична модель взаємодії фізичного об'єкта та його цифрового двійника забезпечує можливість аналізу різних режимів функціонування виробничих систем. Використання оптимізаційного функціоналу дозволяє визначати ефективні технологічні режими з урахуванням продуктивності, енергоспоживання та технічного стану обладнання.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методів інтеграції промислового метавесвіту з системами автоматизованого керування технологічними процесами та застосування алгоритмів машинного навчання для адаптивного управління виробничими системами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tao F., Zhang M., Nee A. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. Academic Press, 2019. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=PvKGDwAAQBAJ>.
2. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. SME Manufacturing Letters. 2014. Vol. 3. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.
3. What is the Metaverse?. NVIDIA Blog. URL: <https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-the-metaverse/> (date of access: 16.03.2026).
4. Industrial internet of things in intelligent manufacturing: a review, approaches, opportunities, open challenges, and future directions / P. Gupta et al. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s12008-022-01075-w>.
5. Industrial Metaverse for Smart Manufacturing: Model, Architecture, and Applications / L. Ren et al. IEEE Transactions on Cybernetics. 2024. Vol. 54. P. 2683–2695. URL: <https://doi.org/10.1109/TCYB.2024.3372591>.

Науковий керівник – Кулик Ярослав Анатолійович – к.т.н., доцент кафедри Автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kulyk.y.a@vntu.edu.ua

Kulyk Yaroslav Anatoliyovych - Ph.D., associate professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kulyk.y.a@vntu.edu.ua