

ПЛАТФОРМА МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

*Атаманюк О. В., аспірант
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"
alexata1204@gmail.com*

ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій цифрові двійники (Digital Twins, DT) стали ключовим інструментом у забезпеченні ефективного управління складними об'єктами та процесами. Цифровий двійник представляє та програмно реалізовує певне цифрове відображення фізичного об'єкта або системи[1]. Залежно від рівня цифрового двійника, програмна система може постійно оновлюватись на основі реальних даних, що дозволяє здійснювати моделювання, проводити аналіз і оптимізацію на всіх етапах життєвого циклу об'єкта. Вперше ідея цифрового двійника була представлена NASA у 2002 році в рамках обслуговування космічних кораблів. Згодом вона отримала широке поширення у промисловості, медицині, енергетиці, логістиці, будівництві та інших сферах. Технологія цифрових двійників набула популярності, оскільки сприяє зниженню ризиків, підвищенню ефективності та точності рішень на основі віртуального моделювання.

При проєктуванні цифрових двійників одним із ключових питань для забезпечення якості продукту є вибір поведінкової моделі системи, яка буде відповідати за певне представлення логіки та закономірностей у системі, що розглядається. Моделі, що лежать в основі цифрових двійників, можуть суттєво відрізнитись за принципами побудови, методами обробки інформації та рівнем деталізації. Одним із найбільш поширених підходів є фізично-орієнтовані моделі[2], які ґрунтуються на описі фізичних процесів за допомогою математичних рівнянь. Такі моделі застосовують методи скінченних елементів (FEM), кінцевих об'ємів (FVM) та інші чисельні методи для симуляції механіки, термодинаміки, гідродинаміки тощо. Вони забезпечують високу точність моделювання, однак потребують значних обчислювальних ресурсів та глибокого розуміння фізичної природи системи. Прикладом застосування є віртуальне тестування аерокосмічних конструкцій або біомеханічне моделювання в ортопедії.

Іншим популярним типом моделей є моделі, які орієнтовані на дані(data-driven). Цей підхід спирається на машинне навчання, нейронні мережі та статистичні алгоритми для виявлення закономірностей у великих масивах даних[3]. Такі моделі часто використовуються у випадках, коли фізичні закони системи невідомі або їх складно формалізувати. Наприклад, на основі історичних даних з датчиків можна навчити модель прогнозувати ймовірність відмов технічного обладнання або передбачити зміни біологічних параметрів у пацієнта. Основною перевагою таких моделей є гнучкість та здатність до самооновлення, проте великим недоліком є потреба у великому об'ємі даних високої якості, адже без них неможливо виявити реальні закономірності.

Агентно-орієнтовані моделі застосовуються для моделювання децентралізованих або розподілених систем, у яких окремі елементи (агенти) взаємодіють між собою за визначеними правилами[4]. Кожен агент у такій моделі може приймати самостійні рішення, реагувати на зміни в оточенні та впливати на загальну поведінку системи. Такий підхід широко використовується для моделювання логістичних процесів, транспортних мереж, соціальних структур та систем

колективної поведінки. Основна перевага таких моделей полягає у можливості відтворити складну динаміку системи без необхідності глобального централізованого управління.

На противагу децентралізованим моделям виступають семантичні та онтологічні моделі. Дані типи моделей забезпечують формалізований опис структури, властивостей і відношень між елементами системи[5]. Такі моделі базуються на використанні онтологій, які дозволяють реалізовувати автоматизовану обробку знань, інтеграцію даних з різних джерел та забезпечення узгодженості між елементами у системі. У контексті цифрових двійників онтології сприяють побудові єдиної інформаційної моделі, яка служить основою для взаємодії між фізичними, цифровими і логічними компонентами системи. Зокрема, у медичній сфері онтології використовуються для опису взаємозв'язків між анатомічними структурами, функціями та захворюваннями, що дозволяє створювати складні багаторівневі цифрові моделі пацієнтів.

Доцільно також поєднувати декілька типів моделей для створення нових, гібридних моделей[6]. Такий підхід дозволить використати переваги обох типів. Наприклад, гібридні моделі можуть поєднувати у собі елементи фізично-орієнтованих та даних-орієнтованих підходів. Таке поєднання дозволяє використовувати відомі фізичні рівняння як каркас, доповнюючи їх емпіричними компонентами або алгоритмами машинного навчання для уточнення деталей. Для прикладу, поведінка складної енергетичної установки може описуватись базовою фізичною моделлю, в той час як особливості деградації матеріалів визначаються на основі історичних експлуатаційних даних.

Вибір моделі системи для цифрового двійника визначається низкою чинників, серед яких важливу роль відіграє складність об'єкта, доступність фізичних знань, наявність даних, цілі аналізу та ресурси для обчислень. Наприклад, для механічних або інженерних об'єктів доцільно застосовувати фізично-орієнтовані моделі, тоді як для складних соціальних або біологічних систем більш ефективними можуть бути агентні або дані-орієнтовані підходи. Гібридні моделі є універсальним компромісом, а онтологічні моделі надають додаткові можливості для семантичного розуміння компонентів, особливо в мультидисциплінарних системах.

Список використаних джерел

1. Сулема Є. С. Методи, моделі та засоби обробки мультимодальних даних цифрових двійників. Дисертація, 2020.
2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. – Springer, 2017. – 284 p.
3. Liu Y., Zhang L., Yang Y., Wang L., Wang X. A data-driven digital twin approach for smart manufacturing. – Journal of Manufacturing Systems, 2021. – Vol. 58. – P. 346–360.
4. Macal C.M., North M.J. Tutorial on agent-based modeling and simulation. – Journal of Simulation, 2010. – Vol. 4(3). – P. 151–162.
5. Pan Y., Zhang L., Wang L. Semantic modeling for digital twins in smart manufacturing. – Advanced Engineering Informatics, 2020. – Vol. 45. – 101101 p.
6. Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. Data-driven smart manufacturing. – Journal of Manufacturing Systems, 2019. – Vol. 48. – P. 157–169.

Науковий керівник: Сулема Є. С., д.т.н., доцент