

Узун І.Г.

здобувач вищої освіти,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
Науковий керівник: ст. викл. Зінов'єва О.Г.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АГЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Анотація. У статті проведено порівняльний аналіз двох провідних методологій моделювання складних систем - агентного моделювання та системної динаміки. Розглянуто концептуальні основи, ключові відмінності, переваги та обмеження кожного підходу. Особливу увагу приділено моделюванню інформаційних систем, де поєднання агентного моделювання та системної динаміки дозволяє глибше розуміти динаміку інформаційних потоків, поведінку користувачів і процеси самоорганізації.

Ключові слова: агентне моделювання, системна динаміка, складні системи, інформаційні системи, гібридні моделі.

Uzun I. Comparative analysis of agent modeling and system dynamics in studied complex systems. The article provides a comparative analysis of two leading methodologies for modeling complex systems: agent-based modeling and system dynamics. It examines the conceptual foundations, key differences, advantages, and limitations of each approach. Particular attention is paid to the modeling of information systems, where the combination of agent-based modeling and system dynamics allows for a deeper understanding of the dynamics of information flows, user behavior, and self-organization processes.

Key words: agent-based modeling, system dynamics, complex systems, information systems, hybrid models.

Актуальність дослідження. У сучасному світі, що характеризується стрімким зростанням складності технологічних, соціальних та економічних систем, питання вибору адекватних методів моделювання набуває особливої актуальності. В цих умовах наука

стикається з необхідністю розуміння та моделювання дедалі складніших систем. Складні системи – соціальні, економічні, інформаційні – характеризуються високою динамічністю, невизначеністю та численними зворотними зв'язками. Традиційні аналітичні методи виявляються недостатніми для адекватного опису поведінки таких систем, які характеризуються нелінійністю, емерджентністю та складними взаємодіями між численними компонентами.

Двома основними та найбільш поширеними підходами до моделювання та аналізу динаміки складних систем є системна динаміка (СД) та агентне моделювання (АМ). Кожен із цих методів пропонує унікальний погляд на структуру та функціонування системи, має свої переваги та обмеження. Вибір найбільш підходящого методу або їх комбінації є критично важливим для успішного дослідження. Актуальність даного дослідження полягає у необхідності чіткого порівняльного аналізу цих двох парадигм, особливо в контексті моделювання інформаційних систем, де важливо враховувати як загальні потоки інформації та ресурсів, так і індивідуальну поведінку користувачів та компонентів [1, с. 30].

Метою цієї статті є проведення порівняльного аналізу методологій системної динаміки та агентного моделювання, виявлення їхніх ключових відмінностей, переваг та недоліків, а також ілюстрація їхнього застосування при моделюванні інформаційних систем.

Виклад основного матеріалу. Системна динаміка є методологією моделювання, що розглядає систему як сукупність взаємопов'язаних запасів (stocks) і потоків (flows). Основна ідея полягає у тому, що поведінка системи визначається структурою зворотних зв'язків між її компонентами. Системи описуються через диференціальні рівняння, які відображають, як потоки змінюють запаси з плином часу [2, с. 36–37].

У межах цього підходу системи розглядаються як безперервні, а поведінка системи визначається взаємодією підсистем через причинно-наслідкові петлі. Моделі системної динаміки ефективні для аналізу макродинаміки – наприклад, зміни рівня інвестицій, інформаційних потоків чи продуктивності в інформаційних системах.

Системна динаміка особливо ефективна для моделювання процесів, де важливі агреговані характеристики системи, а індивідуальні відмінності між елементами не є критичними. Вона дозволяє

досліджувати довгострокову поведінку системи та виявляти наслідки прийнятих рішень.

Метод системної динаміки використовується для оцінки ефективності управління IT-інфраструктурою, планування ресурсів, виявлення вузьких місць у потоках даних, а також для стратегічного прогнозування розвитку систем.

Системна динаміка дає змогу відстежувати макрорівневу динаміку – наприклад, баланс між потоком запитів і продуктивністю серверів. Вона використовується для оптимізації ресурсів, оцінки впливу кіберзагроз або планування розширення інфраструктури. Такі моделі допомагають аналізувати ефекти затримок, зворотних зв'язків і стабільності в цифрових середовищах.

Агентне моделювання розглядає систему як сукупність автономних агентів, що взаємодіють за певними правилами [2, с. 40]. Агентами можуть бути люди, організації, програми або технічні елементи. На відміну від системної динаміки, агентне моделювання дозволяє враховувати гетерогенність, індивідуальні стратегії та адаптивну поведінку. Цей підхід активно застосовується в дослідженнях інформаційних систем – для аналізу поведінки користувачів, моделювання кіберзагроз і оцінки ефективності політик безпеки [3].

Агентне моделювання та системна динаміка мають свої унікальні риси та підходи, що визначає їх застосування в різних сценаріях.

Однією з основних відмінностей є рівень деталізації. Агентне моделювання пропонує детальний аналіз окремих агентів та їх взаємодій. Це важливо, коли індивідуальні дії агентів мають значний вплив на загальну динаміку системи. Системна динаміка, в свою чергу, дозволяє отримати загальне уявлення про систему, ґрунтуючись на агрегованих даних. Цей підхід є зручним, коли важливо дослідити вплив загальних факторів, не заглиблюючись у поведінку системи.

При моделюванні інформаційних систем обидва методи можуть доповнювати один одного. Агентне моделювання може бути використано для аналізу користувацької поведінки, впливу змін в інтерфейсі або функціоналі системи на взаємодію користувачів. Системна динаміка дозволяє досліджувати більш широкі процеси, такі як розповсюдження інформаційних змін в структурі організації.

Усе частіше для адекватного моделювання особливо складних ІС використовується гібридний підхід. Наприклад, модель електронної комерції може використовувати агентів для моделювання окремих

покупців з їх поведінкою, тоді як загальна динаміка запасів, обробки замовлень та логістики моделюється через системну динаміку.

Для організації, яка впроваджує нову інформаційну систему, важливо враховувати як індивідуальні дії користувачів (моделювання за допомогою агентів), так і загальну архітектуру та взаємодію всіх компонентів (моделювання в системній динаміці). Це подвійне застосування методів дозволяє забезпечити більш глибоке розуміння системи та її функціонування.

Гібридні підходи стають актуальними для побудови цифрових двійників інформаційних систем. Системна динаміка описує макрорівень (ресурси, навантаження, ризики), а агентне моделювання – мікрорівень (користувачі, програми, пакети даних). Поєднання цих методів підвищує точність прогнозів і дозволяє виявляти ефекти, які не видно при використанні одного підходу.

Однією з важливих характеристик будь-якого методу моделювання є його стійкість. Стійкість моделі визначається її здатністю справлятися із змінами в параметрах системи та зберігати свої основні характеристики. Агентне моделювання, в силу своєї детальності, може виявитися менш стійким в умовах значних змін в правилах поведінки агентів. Наприклад, якщо вводяться нові правила, то це може кардинально змінити поведінку всієї системи.

Системна динаміка, завдяки своєму агрегованому підходу, часто зберігає стійкість, навіть коли вводяться нові параметри або змінні. Це пов'язано з тим, що основні ресурси та зворотні зв'язки залишаються в системі, навіть коли зміни відбуваються на детальному рівні. Однак важливо зазначити, що системна динаміка може не завжди точно відображати деталі поведінки окремих агентів, що може привести до втрати важливої інформації

В умовах швидкозмінних технологій та динамічного середовища необхідно враховувати складні умови моделювання. Коли мова йде про планування та управління проєктами важливо бути гнучким та адаптуватися до змін.

Агентне моделювання дозволяє більш детально вивчити, які індивідуальні дії можуть впливати на весь процес, а системна динаміка надає можливість зрозуміти загальні тенденції та напрямки змін. Ці методи можуть використовуватися сумісно для створення гібридних моделей, які враховують як індивідуальні характеристики, так і глобальні динамічні процеси. припустимо, організація розробляє нову платформу

для онлайн-навчання. Агентне моделювання може допомогти передбачити, як користувачі будуть взаємодіяти з контентом, а системна динаміка може проаналізувати, як зміни в контенті вплинуть на загальний процес навчання в організації.

Вибір між агентним моделюванням і системною динамікою залежить від характеру досліджуваної проблеми, доступних даних і ресурсів, а також цілей дослідження.

Висновки. Порівняльний аналіз агентного моделювання та системної динаміки показує, що обидва методи мають свої унікальні переваги та недоліки, що робить їх ефективними інструментами для дослідження складних систем. Агентне моделювання дозволяє глибше зрозуміти індивідуальні взаємодії та їх вплив на загальні процеси, тоді як системна динаміка концентрується на вивченні взаємозв'язків та зворотних зв'язків на більш високому рівні.

У зв'язку з зростаючою складністю та динамікою сучасних інформаційних систем важливо використовувати обидва методи в комплексі. Це дозволить провести більш повне дослідження, яке враховує як детальні аспекти функціонування системи, так і загальні тенденції та напрями змін.

Таким чином, вибір між агентним моделюванням та системною динамікою залежить від цілей дослідження, доступних ресурсів та специфіки системи, що досліджується. Об'єднання методів може призвести до більш глибокого розуміння та ефективного управління складними системами, що важливо для успішного функціонування організацій у сучасному світі.

Література

1. Вишнівський В.В. та ін. Агентно-орієнтоване та системно-динамічне моделювання в управлінні складними системами. *Наукові записки Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2024. № 2(6). С. 30–36.
2. Зінов'єва О.Г., Шаров С.В., Паламарчук І.П. Імітаційне моделювання та моделювання систем навчальний посібник. Запоріжжя : ФОП Однорог Т.В., 2025. 203 с.
3. Vestad A., Yang B. A survey of agent-based modeling for cybersecurity. In: Abbas Moallem (eds) Human Factors in Cybersecurity. *AHFE International Conference. AHFE Open Access*. 2024. Vol 127.