

DOI: 10.15276/ETR.03.2025.12

DOI: 10.5281/zenodo.15750464

UDC: 658.012.2

JEL: C63, D24, D81, M21

## ГІБРИДНІ ІМІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ПРОЦЕСАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

### HYBRID SIMULATION MODELS IN MANAGEMENT DECISION SUPPORT PROCESSES

Zoia M. Sokolovska, Doctor of Economic Sciences, Professor  
Odesa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine  
ORCID: 0000-0001-5595-7692  
Email: nadin\_zs@te.net.ua

Received 01.05.2025

*Соколовська З.М. Гібридні імітаційні моделі в процесах підтримки прийняття управлінських рішень. Науково-методична стаття.*

Стаття представляє гібридне імітаційне моделювання як аналітичну базу підтримки прийняття управлінських рішень. Розглянуто основні концепції побудови гібридних імітаційних моделей та особливості їх архітектури. Доводиться доцільність використання моделей даного класу в дослідженнях складних економічних систем. Представлено гібридну модель виробничо-збутової діяльності фармацевтичного підприємства, побудовану на основі комбінації трьох парадигм імітації – дискретно-подієвої, агентної та системної динаміки – на програмній платформі системи багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic. Можливості застосування моделі в процесах прийняття рішень та аналізу їх наслідків проілюстровані фрагментами результатів імітаційних експериментів за матеріалами фармацевтичної компанії ПрАТ «Фармацевтична фірма «Дарниця».

*Ключові слова:* гібридні імітаційні моделі, підтримка управлінських рішень, фармацевтична компанія, дискретно-подієвий підхід, агентний підхід, системна динаміка, імітаційний експеримент

*Sokolovska Z.M. Hybrid Simulation Models in Management Decision Support Processes. Scientific and methodical article.*

The article presents hybrid simulation modeling as an analytical basis for supporting managerial decision-making. The main concepts of building hybrid simulation models and the features of their architecture are considered. The expediency of using models of this class in the study of complex economic systems is proved. A hybrid model of production and sales activities of a pharmaceutical enterprise, built on the basis of a combination of three simulation paradigms – discrete-event, agent-based and system dynamics – on the software platform of the AnyLogic multi-approach simulation modeling system is presented. The possibilities of applying the model in decision-making processes and analysis of their consequences are illustrated by fragments of the results of simulation experiments based on the materials of the pharmaceutical company PrJSC "Pharmaceutical Firm "Darnitsa".

*Keywords:* hybrid simulation models, management decision support, pharmaceutical company, discrete-event approach, agent-based approach, system dynamics, simulation experiment

Сучасний стан розвитку вітчизняної економіки відрізняється підвищеною ентропією середовища функціонування суб'єктів господарювання. Наслідки війни, глибокі кризові явища створюють численні форс-мажорні обставини, що суттєво ускладнюють прийняття рішень на всіх рівнях ієрархії управління. Водночас, постійне підвищення інформатизації суспільства й цифрової трансформації бізнесу надають активний поштовх розвитку та прикладному впровадженню автоматизованих систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Архітектура сучасних СППР (містить підсистеми даних, моделей; інтерфейс користувача) пристосована для розв'язання комплексу різноманітних завдань бізнесу від оперативної до стратегічної перспективи, що передбачає залучення потужної інструментальної бази. Розробка якісного інструментарію, здатного забезпечити наукову обґрунтованість прийнятих рішень, є однією з актуальних задач сьогодення. Наявний досвід застосування СППР доводить, що найбільш ефективними є системи, максимально наближені до реалій об'єктів впровадження та побудовані з використанням таких інтелектуальних технологій, як імітаційне моделювання, штучний інтелект, великі дані, хмарні технології.

Імітаційне моделювання набуло швидкого розвитку в останні десятиліття завдяки гнучкому характеру методології побудови моделей із врахуванням специфіки систем/процесів, що підлягають дослідженню. На відміну від аналітичного моделювання імітаційні методології мають відмінності, притаманні тільки даному напрямку економіко-математичного моделювання, а саме:

- Відтворення реальної динаміки перебігу процесів завдяки наявності «вбудованого годинника» з налаштуванням на конкретні одиниці часу.
- Одночасне відтворення в моделі процесів різноманітної природи: як з точки зору їх змісту, так і за визначенням параметрів (детерміновані або стохастичні). Імітатори стохастичних процесів, що відповідають реаліям

- об'єктів, базуються на різноманітних генераторах випадкових чисел, вбудованих в будь-які програмні платформи реалізації імітаційних технологій.
- Відокремлення модельних блоків та експериментальної частини, що притаманно сучасним програмним платформам підтримки імітаційного моделювання.
  - Наявність інструментів налаштування широкого спектру імітаційних експериментів (зокрема, оптимізаційних, варіації параметрів, чутливості, порівняння прогонів, Монте-Карло, експериментів за власним визначенням експериментаторів) згідно досліджуваному ситуації. На даному етапі найбільш відомими парадигмами імітаційного моделювання є наступні:
    - дискретно-подієва;
    - системно-динамічна;
    - агента.

Кожна з наведених парадигм має власні концептуальні основи; використовує специфічний набір інструментів імітації та реалізується на відповідних програмних платформах – як вузько-спеціалізованих, так і багатопідходних. Однією з головних ознак вибору конкретної парадигми є ступінь агрегування процесів, який потрібен експериментаторам. Найбільший ступінь деталізації забезпечує дискретно-подієвий підхід, тоді як системна динаміка дозволяє створити моделі з найвищим ступенем абстракції.

Водночас, на сучасному етапі розвитку методології імітації використання однієї парадигми в ході побудови моделі часто є об'єктивно обмеженим внаслідок ускладненої дії економічних систем; підвищеної ентропії й мінливості середовищ функціонування досліджуваних об'єктів, що пов'язано зі значними ризиками. Відповідно до цього актуальні більш гнучкі підходи для побудови моделей складних економічних систем, що й призвело до появи та розвитку такого напрямку, як гібридне імітаційне моделювання.

В узагальненому вигляді основні принципи створення гібридних моделей можна визначити наступним чином:

- Паралельне відтворення в одній моделі процесів з різним ступенем деталізації.
- Побудова моделей із застосуванням комбінації різноманітних парадигм імітаційного моделювання.
- Модульність та відкритість моделей: визначення окремих модулів (підмоделей), а також встановлення взаємозв'язків між окремими модулями.
- Забезпечення повної інформаційної сумісності функціонуючих модулів/блоків.
- Застосування гнучких методів концептуального моделювання. Використання підходу концептуалізації створення моделей сприяє встановленню більш прозорої модельної архітектури. Це, в свою чергу, дозволяє більш адекватно відображати специфіку функціонування досліджуваних систем; передбачати сценарії засто-

- сування моделей, найбільш наближені до відтворення реальних процесів на практиці.
- Застосування традиційних та розвиток нових, більш гнучких, методів валідації та верифікації моделей: сприяє підвищенню точності та придатності моделей в плані прикладного застосування.
- Відокремлення налаштувань імітаційних експериментів із розв'язком задач різних математичних типів (зокрема, оптимізація; статистичне моделювання та ін.) від базової моделі. Тобто налаштування та реалізація експериментів (із визначенням конкретних алгоритмів в їх середовищі) без змін базової алгоритмічної основи.
- Розвиток емпіричних досліджень.

Використання гібридних імітаційних моделей в контурах стратегічного та оперативного управління складними економічними системами поступово стає реальною практикою не тільки на макро-але і на мікрорівні. Стосовно підтримки прийняття рішень на мікро-рівні це підкріплюється розвинутими можливостями гібридних моделей в імітації динамічних бізнес-процесів із відтворенням багатьох впливів стохастичних факторів; багатосценарною імітацією реальних ситуацій; візуалізацією поведінки компонентів досліджуваних реальних систем.

Гнучкі інструменти інформаційного обміну, притаманні гібридним моделям, а також забезпечення налаштувань, відповідних швидкими змінам в середовищі функціонування досліджуваних реальних об'єктів, дозволяють відтворити актуальні тенденції їх динаміки. Згідно з наведеним може бути досягнена розвинута аналітика реального часу.

Окрім наведеного, позитивом імітаційних, а особливо, гібридних імітаційних моделей є наявність не тільки гнучких інструментів інформаційного обміну, але і обміну знаннями, що досягається за рахунок взаємодії з інструментами штучного інтелекту. В останні роки модулі штучного інтелекту розробляються, як сателіти програмних платформ багатопідходного/гібридного імітаційного моделювання. Одним з прикладів є проведення таких розробок сумісно з розвитком відомої системи AnyLogic [1].

Динамічні гібридні імітаційні моделі з притаманним їм інформаційним підґрунтям мають всі підстави позиціонуватися, як аналітична база підтримки прийняття управлінських рішень.

З точки зору використання гібридних імітаційних моделей на мікрорівні, враховуючи наведені вище відмінності даного математичного апарату, особливо доцільним здається їх застосування для галузей з динамічним розвитком, значною номенклатурою випуску продукції та швидкими змінами продуктивних портфелів; спрямуванням на висококонкурентні товарні ринки з високим ступенем ризиків.

До однієї з таких належить фармацевтична галузь, значення якої не можна перебільшити у зв'язку зі специфікою продукції, впливом на

здоров'я та життя населення країни та, особливо, зважаючи на сучасні воєнні обставини. Відповідно до цього доцільно проаналізувати можливості промислового застосування гібридних імітаційних моделей в процесах прийняття рішень на рівні управління фармацевтичним підприємствами.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Методологія гібридного імітаційного моделювання активно розвивається, особливо протягом останнього десятиліття, що підтверджується значним колом публікацій, серед яких [2-7].

В роботах [2-5] розкриваються особливості таких напрямків розвитку методології гібридної імітації, як концептуалізація процесів розробки моделей; валідація та верифікація моделей; основи та особливості емпіричних досліджень.

Робота [6] присвячена дослідженню теоретичних та прикладних аспектів використання можливих комбінацій основних парадигм імітації в ході розробки гібридних моделей. Питання, що розкриваються в роботі, є вельми актуальними з погляду на те, що ретельному вивченню проблеми доцільності та необхідності паралельного використання в гібридних моделях конкретних парадигм імітації (різних за змістом та інструментарієм) все ще приділяється недостатня увага. В якості прикладу ще однієї роботи за означеною тематикою можна навести публікацію [8].

У зв'язку з наведеним привертає особливу увагу фундаментальна праця [7], присвячена не тільки різним аспектам гібридного моделювання на базі основних парадигм імітації, але і розгляду даного підходу моделювання у широкому, мультидисциплінарному розумінні. Йдеться про залучення в процесі моделювання методів з таких дисциплін, як прикладні обчислення, наука про дані, інженерія, дослідження якісних операцій та ін. В роботі доводиться необхідність застосування різних технік моделювання для здійснення комплексного аналізу досліджуваних систем й обґрунтованого прийняття управлінських рішень.

З точки зору комплексного розкриття прикладних аспектів розробки гібридних імітаційних моделей з використанням всіх найбільш відомих парадигм імітації вагомий вклад вносить праця [9]. Особливістю видання є його перманентне поповнення новими модельними додатками з різних сфер діяльності, зокрема, економічної. На даний момент видання містить близько 150 промислових модельних додатків різного ступеня складності та є практичним покроковим керівництвом для моделістів, що працюють у різних предметних галузях.

Основні досягнення в теорії та практиці застосування гібридних імітаційних моделей регулярно представляються на таких відомих професійних платформах, як Winter Simulation Conference, Federation of European Simulation Societies, Arbeitsgemeinschaft Simulation, що свідчить про неухильне зростання уваги до цього напрямку [10-12]. Так, в межах Winter Simulation Conference, починаючи з 2015 р., даному напрямку присвячено кілька панелей, огляд яких можна знайти, наприклад, в роботі [13]. Оглядова

тематика з точки зору операційних досліджень продовжена в роботі [14].

Існують відповідні модельні додатки і на рівні підприємств фармацевтичної галузі. Підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень з використанням гібридних моделей суттєво сприяє зростання потужності програмних платформ реалізації – таких, як системи ARENA та AnyLogic [1].

На базі багатопідходної платформи імітаційного моделювання AnyLogic створено ряд прикладних додатків для фармацевтичної галузі. Серед них наявні і гібридні моделі. В якості прикладів можна навести CASE Biotech & Pharma manufacturing optimization using simulation та CASE A Pharmaceutical company decides on a marketing strategy using agent-based modeling [15, 16].

Мета CASE Biotech & Pharma полягала в моделюванні різних аспектів фармацевтичного виробництва із досягненням оптимізації процесу прийняття рішень щодо постачання нової продукції / препаратів / харчових добавок. Задача виникла у зв'язку з необхідністю підтримки персоналізованого медичного лікування у лікарнях США. В компанії-замовника спостерігалися «вузькі місця» за ресурсами. До дефіцитних належали обладнання, кадри. Найбільші складності спостерігалися у плануванні процесів, необхідності досягнення їх ритмічності, своєчасному наданні відповідних препаратів/продуктів конкретним пацієнтам.

Складна гібридна імітаційна модель фармацевтичного виробництва та оптимізації управлінських рішень була розроблена Princeton Consultants на базі комбінації двох імітаційних парадигм – дискретно-подієвої та агентної – з використанням інструментарію AnyLogic. На базі моделі стало можливим розв'язання значного кола задач з прийняттям відповідних управлінських рішень – від оцінки наслідків потенційних змін у виробничому процесі, зміни архітектури процесу, оптимізації використання дефіцитних ресурсів до удосконалення політики планування й ефективної організації ланцюгів постачання.

CASE A Pharmaceutical company decides on a marketing strategy, розроблений консалтинговою компанією Sterling Simulation, спрямований на розробку ефективної маркетингової стратегії фармацевтичної компанії. Простежується суттєва відмінність запропонованої моделі від традиційних моделей маркетинг-микса завдяки авторизованому моделюванню фармацевтичного ринку. Задіяна при побудові моделі агентна парадигма дозволяє відтворювати взаємовідносини лікарів та пацієнтів, поведінку функціонерів фармацевтичного ринку (компаній-виробників, торгових посередників, лікарень, аптек), просування на ринку нових препаратів та ін. В моделі досягається прив'язка до конкретних захворювань та, відповідно, до конкретних препаратів. Експерименти на моделі довели ефективність її використання в ході прийняття стратегічних маркетингових рішень відносно ринкового просування різноманітних препаратів, зокрема, альтернативних.

Існують приклади застосування гібридних імітаційних моделей як бази прийняття управлінських рішень на стратегічну перспективу. Так, в роботі [17] пропонується модель визначення ефективної стратегії форсування продуктового портфеля фармацевтичної компанії. Модель реалізована на базі комбінації двох парадигм імітації – системно-динамічної та агентної. Системна динаміка використовується в блоці розподілу фінансових ресурсів між розширеним відтворенням та інвестуванням у розробку нових препаратів. Агентна імітація відтворює життєвий цикл нового виробу з його просуванням на фармацевтичному ринку. У взаємодії наведених блоків здійснюється формування продуктового портфеля на різну часову перспективу. Паралельно вирішуються фінансові та інвестиційні питання згідно ситуаціям, що складаються впродовж заданих імітаційних періодів. Ієрархічна структура моделі дозволяє вдало розв'язувати головне питання – забезпечення ефективної присутності компанії на товарному фармацевтичному ринку. На моделі реалізовано широке коло експериментів – стандартні, оптимізаційні, варіації параметрів, порівняння прогонів.

На базі комбінації системно-динамічного та агентного підходів реалізована також модель конкурентного фармацевтичного ринку, представлена в роботі [18]. Системна динаміка є базовою у відтворенні виробничо-збутових ланцюгів фармацевтичних компаній. Агентна парадигма відтворює поведінку користувачів на ринку фармацевтичної продукції. Параметричні налаштування гібридної моделі дозволяють програвати на ній наслідки управлінських рішень на різну часову перспективу – від оперативної до стратегічної – та здійснювати імітаційні експерименти різних типів, достатні для отримання аналітично обґрунтованих рішень.

Існують також конкретні імітаційні модельні додатки з приводу управління ланцюгами постачання та логістичними мережами. Часто задачі фармацевтичної логістики розв'язуються з використанням дискретно-подієвого підходу у його класичній нотації. Для конкретних задач обмеження в моделі однією парадигмою має сенс, зокрема, при необхідності досягнення високого ступеня деталізації відтворення процесів. В якості прикладу можна навести роботу [19], в якій наведені можливі реалізації однорівневого та двохрівневого каналів збуту крупної фармацевтичної компанії-власника аптечних мереж.

Проблемам ланцюгів поставок в фармацевтичних компаніях з використанням моно-парадигми імітації – системної динаміки – присвячена робота [20]. Застосування даної методології обумовлено необхідністю агрегованого представлення досліджуваних процесів, чому відповідає зміст саме обраної парадигми.

### **Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми**

З наведеного огляду видно, що імітаційне моделювання знаходить певне впровадження в

управлінські процеси фармацевтичної галузі. Однак, його прикладне застосування має, як правило, одностороннє використання. Для отримання достатньої аналітики не вистачає модельних комплексів, які б охоплювали різні сфери діяльності досліджуваних об'єктів – фармацевтичних компаній, аптечних мереж, фірм-посередників тощо.

Зміни, що відбуваються в галузі, висувають додаткові вимоги до управлінських рішень з точки зору не тільки їх обґрунтованості, але й забезпечення мобільності та моніторингу можливих наслідків їх прийняття. Окрім цього, сфера бізнес-рішень такої динамічної галузі, як фармацевтична, постійно розширюється та змінюється, що, безумовно впливає на процеси управління.

Згідно з наведеним гібридне імітаційне моделювання є актуальним трендом для створення бази підтримки прийняття управлінських рішень на рівні суб'єктів галузі. Однак, розробка гібридних моделей є складним процесом зі значними методологічними проблемами, які ще знаходяться на стадії розв'язання. Так, попри переваги гібридної парадигми час створення моделей в зазначеній нотації значно перевищує розробку з використанням моно-парадигми імітації. Більш складна архітектура гібридних моделей потребує ретельної проробки модельних складових та їх взаємозв'язків вже на стадії постановки. Потребує окремого дослідження питання доцільності комбінованого залучення в одній моделі конкретних парадигм імітації. Це ускладнюється змістом та різноманіттям постановок задач прийняття рішень, багатосценарністю потрібних імітаційних експериментів на моделях.

Згідно з наведеним дослідження в галузі впровадження гібридних імітаційних моделей в процеси підтримки прийняття управлінських рішень є актуальними.

*Метою статті є* представлення гібридної імітаційної моделі в процесах прийняття рішень в сфері виробничо-збутової діяльності фармацевтичних компаній.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

В розробленій моделі з різним ступенем агрегування відтворюються процеси виробництва, постачання та реалізації продукції в умовах конкурентного фармацевтичного ринку. Для простоти модель представлена в нотаціях двохпродуктового ринку – умовно препарат 1 та препарат 2; відповідно сектор користувачів препарату 1 та сектор споживачів препарату 2.

Базова архітектура моделі може бути пристосована під різні концепції (залежно від потреб експериментаторів), а саме:

- Препарати є препаратами-аналогами та належать до однієї фармацевтичної групи, але виготовляються різними компаніями. Виробництво кожного з препаратів має деякі технологічні відмінності; різний рівень очистки та т. і.
- Препарати належать до різних фармацевтичних груп та виготовляються різними компаніями,

конкуруючими на фармацевтичному ринку на тлі популярності/рейтингу продукції, долі ринку та т. і.

- Препарати різних фармацевтичних груп випускаються одним підприємством, яке досліджує ринковий попит на них та, відповідно, обсяги збільшення/зменшення виробничих потужностей. Виробничі ланцюги відтворюють процеси виробництва конкретних препаратів в межах однієї фармацевтичної компанії.

Поза приналежністю до будь-якого варіанту базова модель не підлягає змінам: відмінності можуть бути враховані в межах планів імітаційних експериментів.

Представлена в моделі логістика відтворює процеси постачання, притаманні специфіці дослі-

джуваних препаратів. Модель представляє собою гібрид з трьох парадигм імітації:

- виробничі процеси реалізовані на базі системної динаміки з достатньо високим рівнем агрегування;
- ланцюги постачання відтворюються із залученням дискретно-подієвої парадигми з високим рівнем деталізації;
- процеси фармацевтичного ринку імітуються з використанням агентної парадигми.

Загальний вигляд моделі наведено на рис. 1. Модель побудована на платформі системи багато-підходного імітаційного моделювання AnyLogic.

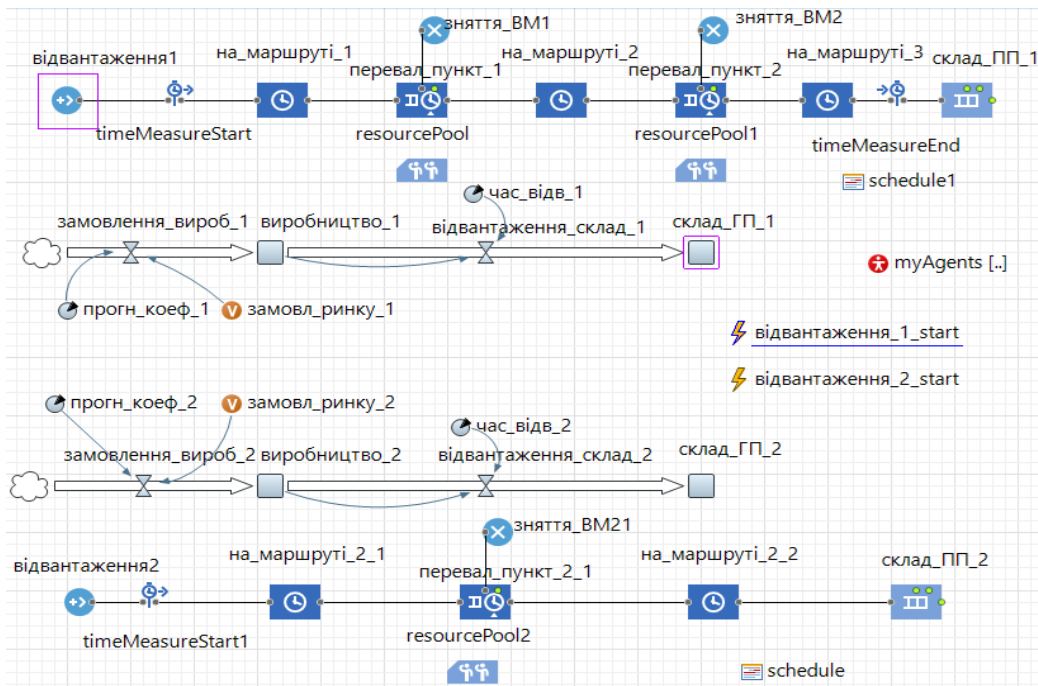


Рисунок 1. Модель виробничо-збугової діяльності підприємства в умовах конкурентного фармацевтичного ринку

Джерело: власна розробка автора

Кожний з виробничих ланцюгів (продукції 1 та продукції 2) починається з генерації замовлень на виробництво (потокі «замовлення\_вироб\_1» та «замовлення\_вироб\_2») та закінчується постачанням готової продукції на склади підприємств (фонди «склад\_ГП\_1» та «склад\_ГП\_2»). Замовлення визначаються на основі імітації ринкового попиту (змінні «замовлення\_ринку\_1» та «замовлення\_ринку\_2»), скорегованого на відповідні прогнольні коефіцієнти (параметри «прогн\_коэф\_1» та «прогн\_коэф\_2»).

Виробничі потужності підприємств (фонди «виробництво\_1» та «виробництво\_2») та тривалість відвантаження продукції (параметри «час\_відв\_1» та «час\_відв\_2») визначають вміст потоків постачання продукції на склади («відвантаження\_склад\_1» та «відвантаження\_склад\_2»).

Ланцюги постачання з підприємств (блоки типу Source – «відвантаження1» та «відвантаження2») до складів покупців-замовників / аптечних мереж / госпіталів та т. і. (блоки типу Queue – «склад\_ПП\_1» та «склад\_ПП\_1») для кожного з видів продукції мають різну конфігурацію, що надає можливість в ході наступних імітаційних експериментів порівняти ступінь ефективності кожного з них.

На логістичному ланцюзі, за яким здійснюється постачання продукції 1 (перше підприємство) передбачено 2 перевалочні пункти (блоки типу Service «перевал\_пункт\_1», («перевал\_пункт\_2»), на яких агенти (вантажівки) захоплюють ресурси типів resourcePool та resourcePool1 відповідно. На перевалочних пунктах може проходити заправка транспортних засобів, їх сервісне обслуговування та/або тимчасове складування за необхідністю.

Логістичний ланцюг підприємства 2 є більш прямим з одним перевалочним пунктом («перевал\_пункт\_2\_1»).

Доступність ресурсів може задаватися згідно розкладу, який притаманний специфіці роботи конкретного перевалочного пункту. Наприклад, доступність перевалочного пункту 1 («перевал\_пункт\_1») визначається розкладом, заданим елементом schedule1.

Розклади є варіативними параметрами, які можуть змінюватися протягом наступних експериментів. Згідно конкретним обставинам експериментатор може задавати різні варіанти розкладу для визначення найбільш прийняттого.

Одиницями виміру у виробничих ланцюгах є обсяги виробництва препаратів у натуральному вираженні (кількість упаковок). В ланцюгах постачання йде оперування кількістю вантажівок (завантажених згідно їх нормативної ємкості). Для цього здійснюється перевід обсягів виробництва у кількість вантажівок. Безпосередньо ці процедури в моделі відбуваються при виконанні спеціальних блоків-подій Event («відвантаження\_1\_start» та («відвантаження\_2\_start»).

Відтворення ринкового попиту здійснюється згідно ємкості товарних ринків, на яких працюють фармацевтичні компанії. Поведінка користувачів на ринку імітується згідно діаграми стану (statechart), представленої на рис. 2.

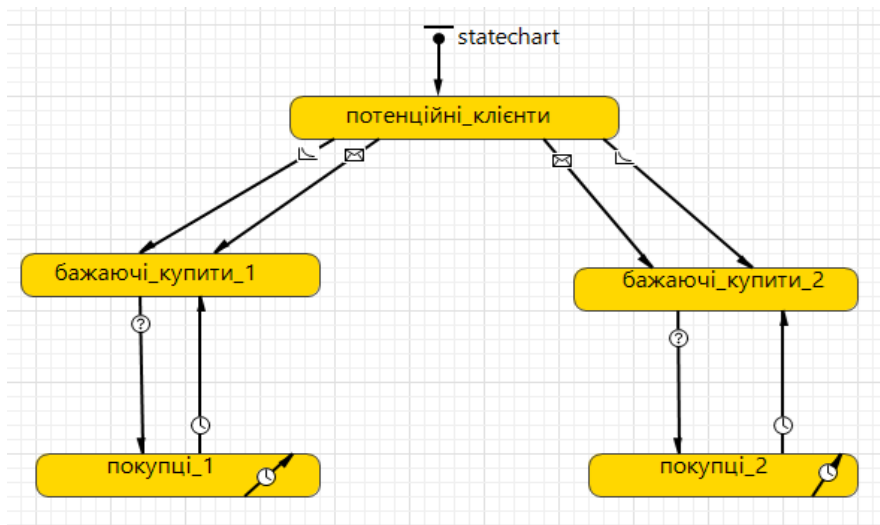


Рисунок 2. Діаграма стану: поведінка споживачів на ринку фармацевтичних товарів  
Джерело: власна розробка автора

Діаграма представлена п'ятьма основними станами:

- потенційні\_клієнти;
- бажаючі\_купити\_1: попит на продукцію 1;
- бажаючі\_купити\_2: попит на продукцію 2;
- покупці\_1: реально здійснені покупки продукції 1;
- покупці\_2: реально здійснені покупки продукції 2.

Перехід потенційної клієнттури у стан бажаючих купити, тобто формування ринкового попиту, здійснюється двома шляхами – за інтенсивністю (варіативний параметр, що підлягає налаштуванню залежно від конкретних ринкових умов) та в ході спілкування з реальними клієнтами-користувачами даної продукції (при отриманні повідомлення).

Перехід зацікавлених покупців безпосередньо до закупівлі фармацевтичної продукції здійснюється за умов її наявності на складі у торговельній мережі.

Внутрішні переходи в станах «покупці\_1» та «покупці\_2» відтворюють процеси спілкування користувачів продукції між собою та передачу відповідного месенджеру потенційним клієнтам ринку.

Процес можливих повторних покупок / імітація відновлення попиту на конкретну продукцію

відтворюється за допомогою зворотних переходів зі станів покупців до станів бажаючих купити.

Представлена в узагальненому вигляді архітектура моделі доводить можливість її параметричного налаштування та використання в якості тренажера в процесах прийняття управлінських рішень у виробничо-збутовій діяльності фармацевтичного підприємства.

В ході проведення імітаційних експериментів були використані матеріали ПрАТ «Фармацевтична фірма «Дарниця» – одного з провідних підприємств вітчизняної фармацевтичної галузі [21].

Роботу моделі проілюструємо фрагментами результатів проведених імітаційних експериментів.

Розглянуто випуск двох конкуруючих видів продукції (умовно продукція 1 та продукція 2). Термін імітації – місяць, крок імітації – день. В результаті первинних налаштувань на часові параметри постачання (від 36 годин до 2,4 годин у дорозі) та з погляду на середню активність ринку (налаштування діаграми стану на незначну інтенсивність переходу клієнтів до станів бажаючих купити та фактичних покупців) були отримані наступні кінцеві результати – рис. 3. Динаміки показників обсягів замовлень, виробництва, відвантаження продукції наведені на рис. 4.

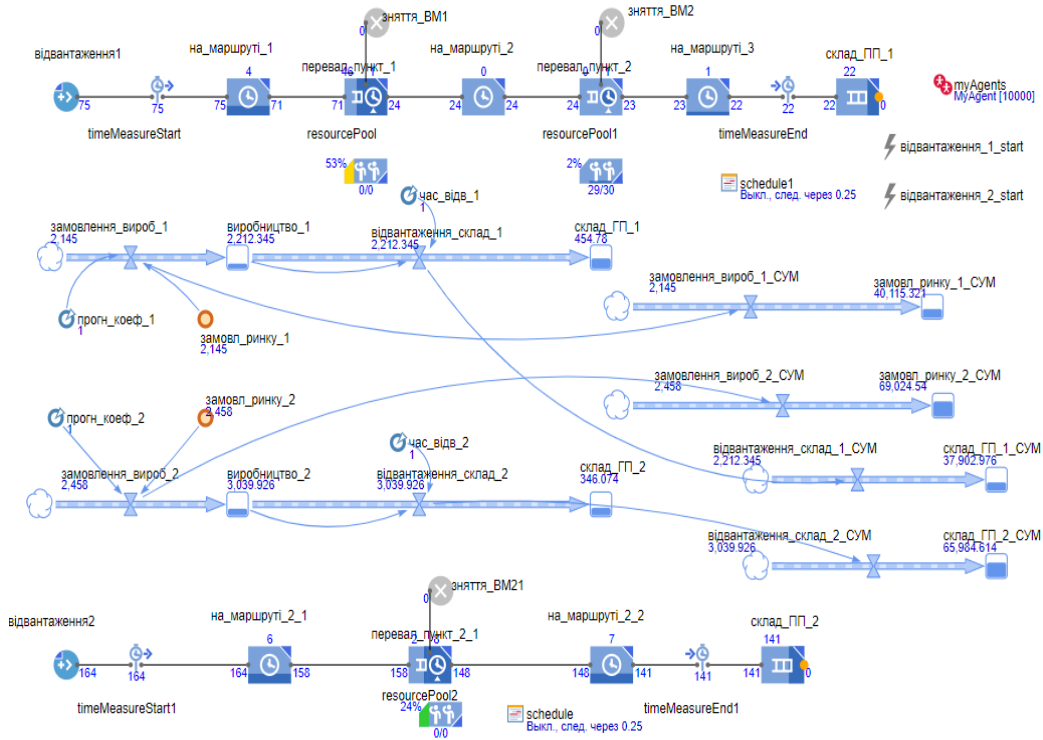


Рисунок 3. Результати імітаційного експерименту при налаштуваннях:  
 часовий період – місяць; крок імітації – день

Джерело: власна розробка автора



Рисунок 4. Динаміки основних показників випуску/відвантаження готової продукції  
 (Ось X – часові періоди (30 днів); ось Y – обсяги продукції у натуральних одиницях виміру  
 (упаковки препаратів)

Джерело: власна розробка автора

Як видно з отриманих даним, найбільшим попитом користується продукція типу 2 (69024 упаковок препаратів) порівняно з продукцією 1 типу (40115 од.). Виробничих потужностей загалом достатньо для забезпечення випуску по обом видам продукції згідно з потребами ринку. Обсяги надходження продукції на склади підприємств становлять 65984 од. та 37902 од., відповідно по продукції 2-го та 1-го типів.

Тобто задоволення ринкового попиту становить по продукції 1 – 94,5%; по продукції 2 – 95,6%, що відрізняється незначно. По обом видам продукції спостерігається поступове зростання попиту протягом місяця.

Однак, робота ланцюгів поставок за пропускнуною спроможністю та ритмічністю має суттєві розбіжності – рис. 5.

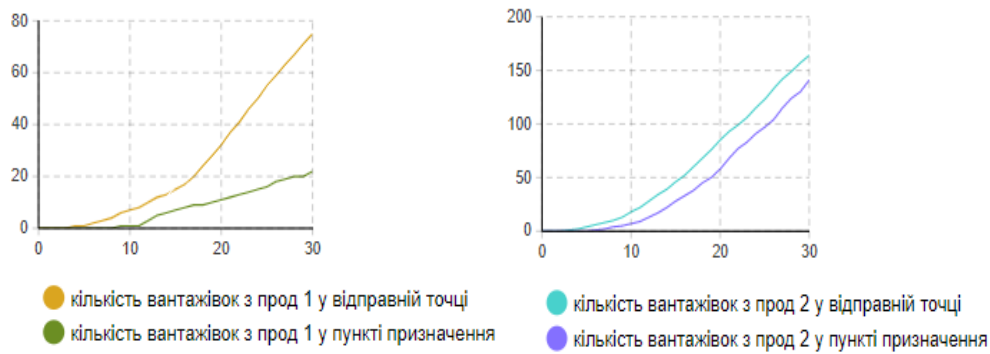


Рисунок 5. Динаміка переміщення транспортних засобів (постачання готової продукції) протягом досліджуваного періоду (Ось X – часові періоди (30 днів))

Джерело: власна розробка автора

Ланцюг по постачанню продукції 2 працює більш ритмічно: з 164 одиниць транспорту у відправній точці до пункту призначення протягом імітаційного періоду дісталася 141 од. (85,97%). Ланцюг постачання продукції 1 має суттєві проблеми функціонування: з 75 вантажівок, що вийшли з підприємства, до пункту призначення (торгівельної мережі) дісталася лише 22 одиниці (29,3%).

Експериментальні дані доводять, що головним «вузьким місцем» є перевалочний пункт 1. Перевалочний пункт в даній моделі працює згідно встановленому розкладу роботи (блок schedule1). Тому

наступним етапом було проведення імітації досліджуваних процесів з попереднім налаштуванням за іншим, більш напруженим, розкладом роботи перевалочного пункту. Отримані результати експерименту підтвердили позитивний вплив підвищення ефективності роботи логістичного ланцюга на результати обсягів поставок й збуту продукції на фармацевтичному ринку стосовно продукції 1.

Переналаштування експерименту при збільшенні терміну імітації до півроку та збереженні параметрів активності ринку довело наступні результати – рис. 6-7.

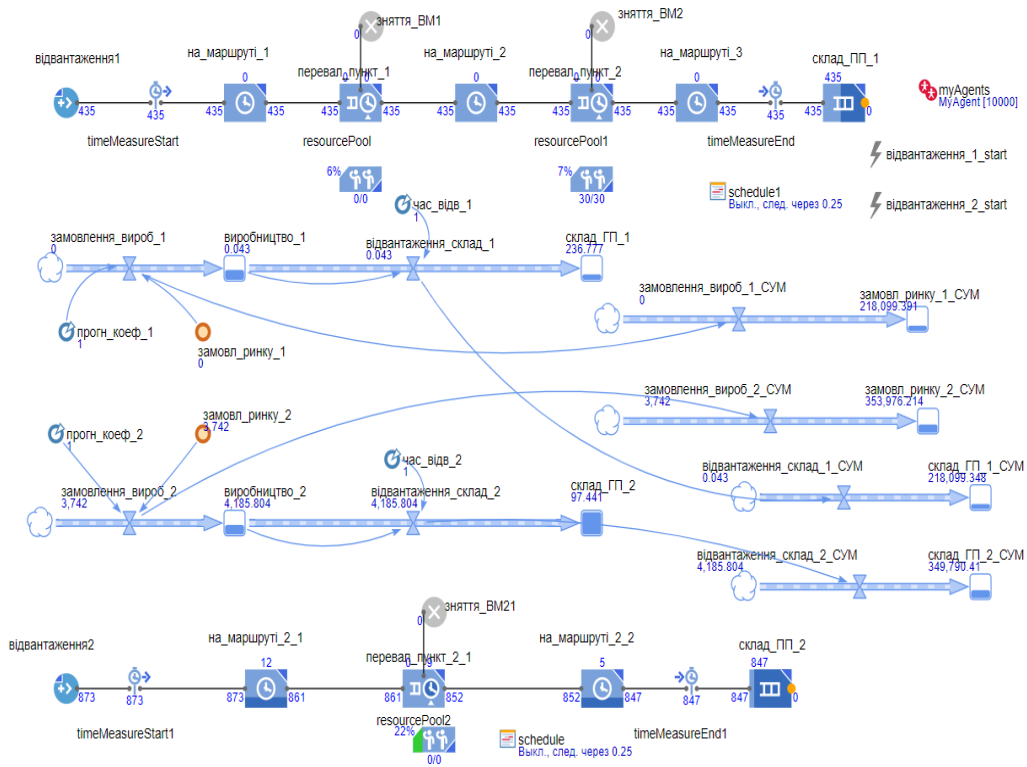


Рисунок 6. Результати імітаційного експерименту при налаштуваннях: часовий період – півроку; крок імітації – день

Джерело: власна розробка автора

Отримані дані свідчать про збереження динаміки попиту на продукцію 2, що превалює над динамікою попиту на продукцію 1. Водночас, ринок не відповідає сталій динаміці: попит на

продукцію має стрибкоподібний вигляд. Виробничих потужностей обом підприємствам вистачає, ринковий попит майже повністю задовольняється протягом імітаційного періоду:

- Замовлення/постачання готової продукції на склад підприємства: по продукції 1 становить 218099 од. / 218099 (100% виконання замовлень); по продукції 2 – 353976 од./ 349790 од. (98,8%).
- Кількість транспортних одиниць у пункті відправлення відносно транспортних одиниць у пункті призначення становить: по продукції 1 – 435/435 (100% доставка); по продукції 2 – 97%. Підвищення ефективності роботи логістичних ланцюгів призвело до позитивних зрушень у

постачанні продукції на фармацевтичний ринок: особливо це стосується продукції 1-го виду.

Динаміка вантажоперевезень представлена на рис. 8.

Отримані дані свідчать про ритмічне постачання продукції на фармацевтичний ринок. Майже весь обсяг виготовленої продукції перевезено та відвантажено на склади пунктів призначення протягом досліджуваного імітаційного періоду.

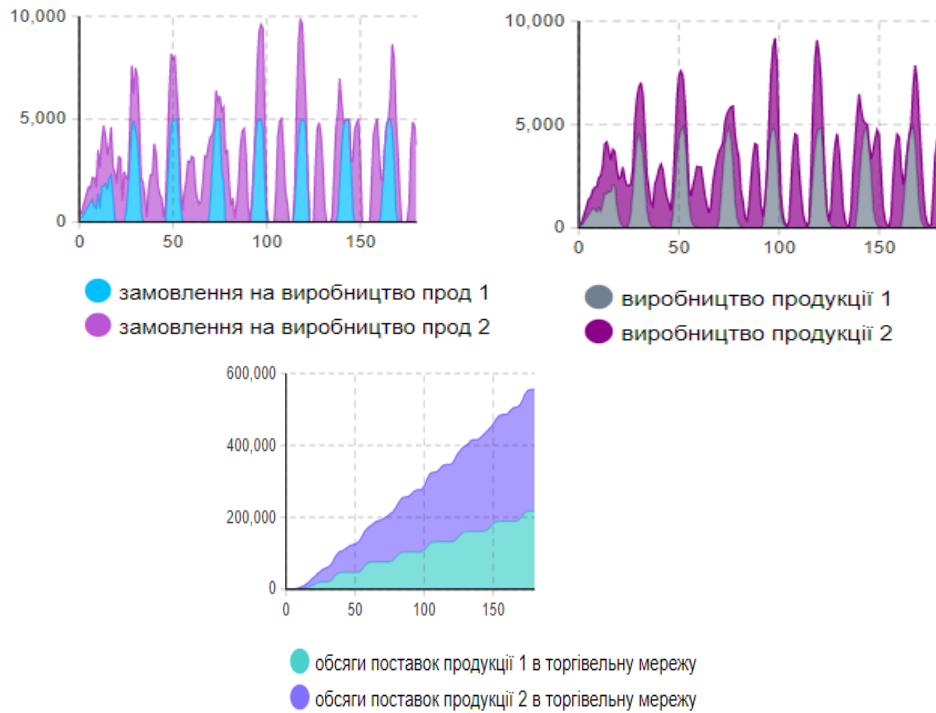


Рисунок 7. Динаміка обсягів замовлень, виробництва та постачання продукції на фармацевтичний ринок (Ось X – часові періоди (180 днів); ось Y – обсяги продукції у натуральних одиницях виміру (упаковки препаратів))

Джерело: власна розробка автора

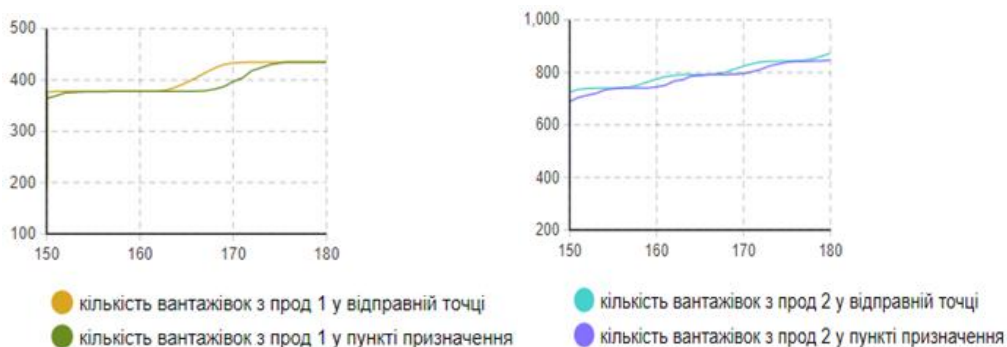


Рисунок 8. Динаміка вантажоперевезень (Ось X – часові періоди (180 днів); ось Y – кількість транспортних одиниць на логістичних ланцюгах продукції 1 та 2)

Джерело: власна розробка автора

Треба окремо підкреслити ефективність проведення імітаційних досліджень логістичних ланцюгів в умовах холодної логістики. Доставка конкретних груп препаратів пов'язана з жорстким дотриманням умов зберігання, температурного режиму при транспортуванні та часу знаходження на маршрутах. Зокрема, в моделі передбачені

спеціальні блоки timeMeasureStart та timeMeasureEnd (рис. 1, 3, 6), за допомогою яких відстежується час знаходження транспорту на всіх відрізках маршруту та на маршруті загалом.

Представлені результати лише частково відображають ситуації, що можуть скластися в діяльності підприємств. Реальне коло ситуацій, на які

можна налаштувати модель, значно ширше і охоплює наступні бізнес-процеси виробництва/збуту:

- Активність фармацевтичного ринку: імітація формування ринкового попиту на досліджувану продукцію.
- Достатність виробничих потужностей для задоволення замовлень на виготовлення продукції (на основі сформованого ринкового попиту на неї).
- Ритмічність процесів відвантаження продукції на склади готової продукції підприємства.
- Ефективність функціонування логістичних ланцюгів в ході поставок готової продукції зі складів фармацевтичного підприємства на склади торгівельної мережі: загальний час, витрачений на маршрутах та час, витрачений між перевалочними пунктами та на окремих ланках маршрутів.

### Висновки

Тренажерний характер гібридних імітаційних моделей передбачає розгляд різноманітних ситуацій, які можуть скластися на прогностичні періоди будь-якої заданої тривалості. Запуск імітаційних експериментів здійснюється з попереднім налаштуванням на численні параметри, що відображають

прогнозовану ситуацію, яка підлягає дослідженню. Специфіка архітектури гібридних моделей дозволяє розглядати процеси, що моделюються, з різним ступенем деталізації; наділяти їх відповідним змістом.

Таким чином, ситуаційний характер імітаційних експериментів надає достатньо повну картину можливого розвитку подій, зважаючи на невизначеність внутрішнього та зовнішнього середовища функціонування фармацевтичних компаній; мінімальність та високий ступінь конкуренції вітчизняного фармацевтичного ринку. Менеджерам підприємства достатньо відтворити на моделях можливі ситуації (відповідно до наявної на конкретний момент часу інформації), щоб коригувати процеси прийняття управлінських рішень згідно отриманим експериментальним даним.

Модульний та відкритий характер моделі надає можливість її впровадження на підприємствах фармацевтичної галузі з незначним налаштуванням на специфіку їх функціонування.

Можливість програмування на гібридних імітаційних моделях наслідків прийнятих управлінських рішень сприяє підвищенню гнучкості процесів управління виробничо-збутовою діяльністю підприємств.

### Abstract

The crisis state of the economy, numerous challenges of war and force majeure circumstances increase the entropy of the internal and external environment of the functioning of economic systems, which complicates decision-making processes at all levels of the management hierarchy. Digital transformation of business and global informatization of society contribute to the active development of automated Decision Support Systems (DSS). Practical experience in the application of DSS proves that increasing their efficiency is associated with the use of such intelligent technologies as simulation modeling, artificial intelligence, big data, cloud technologies. A review of many professional literature sources proves that in the field of simulation modeling, one of the current trends in recent years is the creation of hybrid models, the architecture of which is based on the combined use of the main paradigms of simulation – discrete-event, agent-based, systemic dynamics. The main principles of creating hybrid models are parallel reproduction of processes with varying degrees of detail, modularity, openness, ensuring full information compatibility of functioning modules/blocks, the use of flexible methods of conceptual modeling, advanced methods of model validation and verification, separation of the experimental part from the basic model. The above provides a more transparent model architecture, close to an adequate reflection of the specifics of the systems under study; promotes the development of empirical research and multi-scenario simulation experiments. The applied application of the direction is supported by the emergence of powerful multi-approach simulation software platforms – such as AnyLogic, ARENA. The application of the presented mathematical apparatus in the practice of management of enterprises in the pharmaceutical industry, which are distinguished by dynamic development, significant nomenclature of output and rapid changes in product portfolios, is proposed; targeting highly competitive commodity markets with a high degree of risk. A hybrid model of production and sales activities of a pharmaceutical company, developed using three main simulation paradigms on the software platform of the AnyLogic system, is presented. The operation of the model is illustrated with fragments of simulation experiments based on the materials of the pharmaceutical company PrJSC "Pharmaceutical Firm "Darnitsa". The obtained results prove the possibilities of reproducing on the model various situations that may arise in the real activity of the enterprise. Numerous parametric settings of the model, its modularity and openness position the model as a fairly typical simulator for working out solutions in the circuit of operational and medium-term management of pharmaceutical enterprises.

### Список літератури:

1. Website The AnyLogic company. Retrieved from: <http://www.anylogic.com>.
2. Eyup Kar, Masoud Fakhimi, Christopher Turner & Tillal Eldabi (2024). Hybrid simulation in healthcare: a systematic exploration of models, applications, and emerging trends. *Journal of Simulation*, 1-19. DOI: 10.1080/17477778.2024.2354250.

3. Navonil Mustafee, Alison Harper, Masoud Fakhimi (2022). From Conceptualization of Hybrid Modelling & Simulation to Empirical Studies in Hybrid Modelling. / Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference. Retrieved from: 10.5555/3586210.3586310.
4. Navonil Mustafee, Alison Harper, Masoud Fakhimi (2020). Hybrid Modelling and Simulation (M&S): Driving Innovation in the Theory and Practice of M&S. / Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9383892>.
5. Gonçalo Figueira, Bernardo Almada-Lobo (2014). Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Vol. 46, August 2014, Pages 118-134. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569190X14000458>.
6. Le Khanh Ngan Nguyen, Susan Howick, Itamar Megiddo (2024). A framework for conceptualising hybrid system dynamics and agent-based simulation models. *European Journal of Operational Research*. Vol.315, Issue 3, 16 June 2024, Pages 1153-1166. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221724000468>.
7. Masoud Fakhimi, Navonil Mustafee. Editors (2024). *Hybrid Modeling and Simulation Conceptualizations, Methods and Applications*. Springer Cham. 2024. 352 p. DOI: 10.1007/978-3-031-59999-6.
8. Chris Swinerd, Ken R. McNaught (2012) Design classes for hybrid simulations involving agent-based and system dynamics models. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Volume 25, June 2012, Pages 118-133. Retrieved from: 10.1016/j.simpat.2011.09.002.
9. Borshchev A., Grigoryev, I. (2024) *The Big Book of Simulation Modeling*. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling>.
10. Proceedings of Winter Simulation Conference (The premier international forum for disseminating recent advances in the field of system simulation). Retrieved from: [http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2025\(2024...\)](http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2025(2024...)).
11. Proceedings of EUROSIM (Federation of European Simulation Societies (EUROSIM) 1992-2025). Retrieved from: <https://www.eurosim.info/publications>.
12. Proceedings of ASIM (Arbeitsgemeinschaft Simulation). Retrieved from: <https://www.asim-gi.org/asim>.
13. Eldabi, T., S. Brailsford, A. Djanatliev, M. Kunc, N. Mustafee, and A.F. Osorio. (2018). Hybrid Simulation Challenges and Opportunities: a Life-Cycle Approach. /Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference, edited by M. Rabe, A. A. Juan, and et al., 1500-1514. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Retrieved from: 10.5555/3320516.3320701.
14. Brailsford, S., T. Eldabi, M. Kunc, N. Mustafee, and A. Osorio. (2019). Hybrid Simulation Modelling in Operational Research: A State-of-the-Art Review. *European Journal of Operational Research*. 278(3): 721-737. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221718308786>.
15. CASE Biotech & Pharma manufacturing optimization using simulation (2019). Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/biotech-pharma-manufacturing-optimization-using-simulation>.
16. CASE A Pharmaceutical company decides on a marketing strategy using agent-based modeling (2015). Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/a-pharmaceutical-company-used-agent-based-modeling-to-decide-on-a-marketing-strategy>.
17. Sokolovska Z., Klepikova O. (2024) Model simulators as an analytical basis for strategic decision-making by pharmaceutical companies. *Int. J. Knowledge Management Studies*, Vol. 15, No. 4, 2024. pp. 515-542. DOI: 10.1504/IJKMS.2024.144156.
18. Sokolovska, Z., Klepikova, O., Ivchenko, I., Ivchenko, O. (2024). Models-Simulators in Business Decision-Making Processes for Pharmaceutical Enterprises. //Advances in Information Systems, Artificial Intelligence and Knowledge Management. ICIKS 2023. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 486. Pp. 3-18. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-51664-1\_1.
19. Соколовська З.М. Імітаційні моделі фармацевтичної логістики // *Економіка: реалії часу*. 2024. № 4 (74). С. 99-110. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11.
20. Moosivand, A., Ghatari, A.R., Rasekh, H.R.: Supply chain challenges in pharmaceutical manufacturing companies: Using qualitative system dynamics methodology. *Iran. J. Pharm. Res.* 18. 1103-1116 (2019).
21. Офіційний сайт ПрАТ «Фармацевтична фірма «Дарниця». Retrieved from: <https://darnytsia.ua>.

## References:

1. The AnyLogic Company. (n.d.). Website. Retrieved from: <http://www.anylogic.com> [in English].
2. Kar, E., Fakhimi, M., Turner, C., & Eldabi, T. (2024). Hybrid simulation in healthcare: A systematic exploration of models, applications, and emerging trends. *Journal of Simulation*, 1-19. DOI: 10.1080/17477778.2024.2354250 [in English].
3. Mustafee, N., Harper, A., & Fakhimi, M. (2022). From conceptualization of hybrid modelling & simulation to empirical studies in hybrid modelling. In Proceedings of the 2022 Winter Simulation Conference. DOI: 10.5555/3586210.3586310 [in English].

4. Mustafee, N., Harper, A., & Fakhimi, M. (2020). Hybrid modelling and simulation (M&S): Driving innovation in the theory and practice of M&S. In Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9383892> [in English].
5. Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2014). Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 46, 118-134. Retrieved from: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S1569190X14000458> [in English].
6. Nguyen, L.K.N., Howick, S., & Megiddo, I. (2024). A framework for conceptualising hybrid system dynamics and agent-based simulation models. *European Journal of Operational Research*, 315(3), 1153-1166. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221724000468> [in English].
7. Fakhimi, M., & Mustafee, N. (Eds.). (2024). *Hybrid modeling and simulation: Conceptualizations, methods and applications* (p. 352). Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-59999-6 [in English].
8. Swinerd, C., & McNaught, K. R. (2012). Design classes for hybrid simulations involving agent-based and system dynamics models. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 25, 118-133. DOI: 10.1016/j.simpat.2011.09.002 [in English].
9. Borshchev, A., & Grigoryev, I. (2024). *The Big Book of Simulation Modeling*. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling> [in English].
10. Winter Simulation Conference. (n.d.). Proceedings of the Winter Simulation Conference. Retrieved from: <http://meetings2.informs.org/wordpress/wsc2025> [in English].
11. Federation of European Simulation Societies (EUROSIM). (n.d.). Proceedings of EUROSIM. Retrieved from: <https://www.eurosim.info/publications> [in English].
12. Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM). (n.d.). Proceedings of ASIM. Retrieved from: <https://www.asim-gi.org/asim> [in English].
13. Eldabi, T., Brailsford, S., Djanatliev, A., Kunc, M., Mustafee, N., & Osorio, A. F. (2018). Hybrid simulation challenges and opportunities: A life-cycle approach. In Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference (pp. 1500-1514). IEEE. DOI: 10.5555/3320516.3320701 [in English].
14. Brailsford, S., Eldabi, T., Kunc, M., Mustafee, N., & Osorio, A. (2019). Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 721-737. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221718308786> [in English].
15. AnyLogic. (2019). Biotech & pharma manufacturing optimization using simulation. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/biotech-pharma-manufacturing-optimization-using-simulation> [in English].
16. AnyLogic. (2015). A pharmaceutical company decides on a marketing strategy using agent-based modeling. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/case-studies/a-pharmaceutical-company-used-agent-based-modeling-to-decide-on-a-marketing-strategy> [in English].
17. Sokolovska, Z., & Klepikova, O. (2024). Model simulators as an analytical basis for strategic decision-making by pharmaceutical companies. *International Journal of Knowledge Management Studies*, 15(4), 515-542. DOI: 10.1504/IJKMS.2024.144156 [in English].
18. Sokolovska, Z., Klepikova, O., Ivchenko, I., & Ivchenko, O. (2024). Models-simulators in business decision-making processes for pharmaceutical enterprises. In *Advances in Information Systems, Artificial Intelligence and Knowledge Management (ICIKS 2023)*. Lecture Notes in Business Information Processing (Vol. 486, pp. 3-18). Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-51664-1\_1 [in English].
19. Sokolovska, Z.M. (2024). Imitation models of pharmaceutical logistics. *Economics: Time Realities*, 4(74), 99-110. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11 [in Ukrainian].
20. Moosivand, A., Ghatari, A.R., & Rasekh, H.R. (2019). Supply chain challenges in pharmaceutical manufacturing companies: Using qualitative system dynamics methodology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 18, 1103-1116 [in English].
21. JSC "Pharmaceutical Company Darnitsa". (n.d.). Official website. Retrieved from <https://darnytsia.ua> [in Ukrainian].

**Посилання на статтю:**

Соколовська З.М. Гібридні імітаційні моделі в процесах підтримки прийняття управлінських рішень / З.М. Соколовська // *Економіка: реалії часу. Науковий журнал*. – 2025. – № 3 (79). – С. 120-131. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/files/archive/2025/No3/120.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.03.2025.12. DOI: 10.5281/zenodo.15750464.

**Reference a Journal Article:**

Sokolovska Z.M. Hybrid Simulation Models in Management Decision Support Processes / Z.M. Sokolovska // *Economics: time realities. Scientific journal*. – 2025. – № 3 (79). – P. 120-131. – Retrieved from: <https://economics.net.ua/files/archive/2025/No3/120.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.03.2025.12. DOI: 10.5281/zenodo.15750464.

