

DOI: 10.15276/ETR.04.2026.1
DOI: 10.5281/zenodo.22725220
UDC: 658.012.2
JEL: C63, C99, D81, M21, P42

Received: 2025-07-02, Revised: 2026-08-01, Accepted: 2026-08-09, Published: 2026-08-26

АГЕНТНІ МОДЕЛІ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПІДПРИЄМСТВ

AGENT MODELS OF ECONOMIC DIAGNOSTICS OF LOGISTICS CHAINS OF ENTERPRISES



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

Логістика відіграє важливу роль у забезпеченні роботи виробничо-збутових систем підприємств, що є одним з важливих факторів визначення їх конкурентоспроможності. Логістичні процеси постійно трансформуються, що зумовлено підвищеною ентропією внутрішнього й зовнішнього середовища функціонування суб'єктів господарювання, нестачею ресурсів, різноманітними форс-мажорними обставинами, воєнними конфліктами.

В межах загальної логістичної системи ланцюги постачання займають особливе місце підсистеми-посередника між виробниками та кінцевими споживачами продукції. Ефективність їх функціонування напряму залежить від впровадження інноваційних технологій, інструментів цифровізації, гнучких підходів до управління. В реальних економічних ситуаціях підприємство часто має не один, а цілу низку працюючих логістичних ланцюгів – розгалужений логістичний простір. У підприємств залежно від галузі, обсягів та специфіки виробництва може бути певна кількість регіональних складів, більш-менш значна номенклатура постачальників сировини/матеріалів/напівфабрикатів, а також деяка кількість перевізників його готової продукції. Складовими наведеного простору можуть також бути дистриб'ютори, дилери, роздрібні торговці та ін.

Складні та гнучкі архітектури логістичних ланцюгів та логістичних мереж передбачають застосування сучасних підходів в процесах їх формування, модифікації й прийняття відповідних управлінських рішень. Принципи формування й реалізації ланцюгів знаходяться в стані постійних трансформацій, реагуючи на зовнішні виклики й економічні ситуації. В сучасних умовах вітчизняної економіки важливими характеристиками функціонування логістичних ланцюгів є їх гнучкість з можливістю швидкого адаптування до змін, пов'язаних з війною, економічною кризою, інфляцією, численними форс-мажорними обставинами.

Відповідно до наведеного актуальною є проблема удосконалення процесів діагностики

Соколовська З.М. Агентні моделі економічної діагностики логістичних ланцюгів підприємств. Науково-методична стаття.

Стаття розглядає агентне імітаційне моделювання як базовий інструмент підтримки прийняття управлінських рішень стосовно формування та діагностики функціонування логістичних ланцюгів підприємств. Проведено огляд основних наробок та прикладних додатків, існуючих в галузі застосування аналітичного та імітаційного моделювання логістичних процесів/систем. Доводиться доцільність використання імітаційного моделювання, особливо його агентної та гібридної парадигми, в дослідженнях гнучких архітектур сучасних логістичних систем. Представлено агентні імітаційні моделі логістичних ланцюгів підприємства різної архітектури, реалізовані на програмній платформі системи багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic. Моделі експериментально апробовані за матеріалами ТОВ «Торговий дім «Одескабель». Можливості прикладного застосування в ході діагностики продемонстровані на фрагментах сценарних імітаційних експериментів, проведених на моделях.

Ключові слова: підприємство, логістичні ланцюги, економічна діагностика, управлінські рішення, модель, агентний підхід, гібридний підхід, імітаційний експеримент, система AnyLogic

Sokolovska Z.M. Agent Models of Economic Diagnostics of Logistics Chains of Enterprises. Scientific and methodical article.

The article considers agent simulation modeling as a basic tool for supporting management decision-making regarding the formation and diagnostics of the functioning of logistics chains of enterprises. A review of the main developments and applications existing in the field of analytical and simulation modeling of logistics processes/systems is conducted. The feasibility of using simulation modeling, especially its agent and hybrid paradigm, in research on flexible architectures of modern logistics systems is proved. Agent simulation models of logistics chains of enterprises of different architectures are presented, implemented on the software platform of the multi-approach simulation modeling system AnyLogic. The models were experimentally tested using materials from LLC "Trading House "Odeskabel". The possibilities of applied application during diagnostics are demonstrated on fragments of scenario simulation experiments conducted on the models.

Keywords: enterprise, logistics chains, economic diagnostics, management decisions, model, agent approach, hybrid approach, simulation experiment, AnyLogic system

логістичних ланцюгів на засадах використання економіко-математичного моделювання, інформаційних і цифрових технологій. Необхідним є сучасний математичний та технологічний інструментарій постійного застосування – достатньо гнучкий та з можливістю параметричного налаштування на численні збурюючі чинники детермінованого й, особливо, стохастичного характеру. Важливим є також пристосування такого інструментарію до особливостей галузі та специфіки конкретного підприємства, логістичні ланцюги якого підлягають дослідженню та прогнозуванню.

В умовах воєнного стану особливого значення набувають логістичні ланцюги для підприємств, які належать до провідних та критично необхідних галузей. Однією з таких є електротехнічна промисловість України. В умовах постійного руйнування вітчизняної енергетичної інфраструктури її відновлення напряму залежить від виробництва кабелів різних типів та їх своєчасного транспортування до кінцевих пунктів-споживачів. Вирішальну роль при цьому відіграють логістичні ланцюги підприємств-виробників кабельної продукції.

Специфіка виробництва, діючі стандарти на продукцію, руйнування традиційної логістики за воєнних умов роблять вивчення логістичних ланцюгів даної галузі актуальною задачею, розв'язання якої потребує обґрунтування доцільної інструментальної бази дослідження.

Сучасне математичне моделювання представлено двома парадигмами – аналітичним та імітаційним. Останнє на сучасному етапі розвивається зі швидкою позитивною динамікою завдяки застосуванню гнучких підходів, значним можливостям параметричного налаштування, численним типам імітаційних експериментів, що можуть бути проведені на моделях, а також завдяки бурхливому розвитку потужних програмних платформ реалізації методологічних напрямків підходу.

Як з точки зору аналітичного моделювання, так і з позицій імітаційних технологій загальне коло логістичних задач, зокрема задач, пов'язаних з дослідженням логістичних ланцюгів, може бути поділено на групи згідно ступеню деталізації.

Так, за ознакою рівня агрегування логістичні ланцюги можуть бути представлені наступним чином:

- за найвищим рівнем агрегування: досліджується розташування окремих ланок логістичного ланцюга; потоки, пов'язані з ланцюгом; залежності між конкретними ланками ланцюгів та вплив на функціонування ланцюгів комплексів параметрів та збурюючих факторів;
- за усередненим рівнем агрегування: вивчення ресурсного забезпечення логістичного ланцюга, динаміки функціонування його окремих ланок;
- за низьким рівнем агрегування: дослідження функціонування конкретних ланок логістичних ланцюгів – їх специфіки, динаміки розгортання

процесів у часі, ресурсного забезпечення із визначенням відповідних «вузьких місць».

Найбільш інформаційно насиченим є нижній рівень агрегування саме тому, що він розглядає найбільшу кількість деталей функціонування окремих складових логістичних ланцюгів. З прогнозу точки зору складним є дослідження верхнього рівня агрегування. Це пояснюється необхідністю забезпечення релевантності даних та напряму залежить від наявності достовірної передисторії процесів, що вивчаються.

Середній рівень також має власні складності реалізації. Задачами цього рівня часто виступають дослідження, пов'язані з управлінням запасів; забезпеченням ритмічного постачання сировини/матеріалів/напівфабрикатів та готової продукції кінцевим споживачам. Актуальними на даному рівні є також проблеми оптимізації роботи транспортного парку; забезпечення пропускну здатності кожної ланки логістичного ланцюга тощо.

Аналіз останніх публікацій по проблемі

Сучасні тенденції в моделюванні логістичних ланцюгів представлені в роботах [1-10]. Серед фундаментальних зарубіжних робіт в означеній галузі можна відокремити роботи [11, 12] та ін.

До головних напрямків, досліджуваних у наведених працях, належать наступні:

- взаємозв'язок задач управління логістичними ланцюгами зі специфікою конкретних галузей функціонування ланцюгів, розглянутий з позицій системного підходу;
- відтворення стохастичності процесів розгортання логістичних ланцюгів з врахуванням численних впливів випадкових/збурюючих факторів з боку внутрішнього й зовнішнього середовищ функціонування;
- оптимізація процесів роботи ланцюгів із залученням математичних методів управління запасами, дослідження операцій, теорії графів, мережевого планування;
- дослідження в статичному варіанті задач виробничого планування та транспортної задачі із залученням класичних методів лінійного програмування;
- дослідження можливостей спільної оптимізації бізнес-планів багатонаменклатурного виробництва та різноманітних можливостей постачання готової продукції кінцевим споживачем – без врахування та з врахуванням факторних впливів та параметричних налаштувань;
- дослідження в динамічному варіанті процесів планування закупівлі сировини/матеріалів/напівфабрикатів та виготовлення готової продукції підприємствами: використані алгоритми нелінійного програмування та класична модель Вагнера Уайтіна;
- розвиток дослідження в динаміці процесів планування закупок сировини та випуску готової продукції за рахунок додаткового залучення в моделі процесів доставок готової продукції: використана узагальнена модель

Вагнера Уайтіна з врахуванням фактору зміни часу;

- розробка динамічних моделей управління запасами із доставками продукції до кінцевих користувачів: класична модель Вагнера Уайтіна;
- дослідження підходів до оптимізації процесів управління логістичними ланцюгами з врахуванням процесів кооперації та конкуренції різних ланцюгів: залучаються методи класичної теорії фірми та підходи до відтворення конкурентного середовища функціонування логістичних ланцюгів;

Не зважаючи на отримані позитивні результати наведених досліджень, існує певне коло неохоплених аспектів, притаманних реальним процесам.

Так, у більшості моделей не відтворюються умови невизначеності, що виникають на кожному кроці/в кожному часовому періоді. Також не визначаються конкурентні аспекти логістичного ринку з точки зору взаємодії окремих логістичних ланцюгів.

Відносно конкуренції ряд експертів наголошує на тому, що слід вважати її потенціалом розвитку підприємств (це не вступає в протиріччя з класичною теорією конкуренції) і з цієї точки зору досліджувати конкурентні переваги підприємств-учасників логістичного ланцюга. Відображення інноваційної політики щодо розвитку відповідних логістичних ланцюгів в ході моделювання зможе суттєво підвищити ефективність використання моделей, заснованих на використанні класичної теорії фірми.

Відтворення в моделях стохастичного коливання попиту на товарних ринках, за думкою фахівців, буде сприяти поглибленню сумісних досліджень в сфері інноваційної та логістичної концепцій. Комплексне вивчення умов виробництва-постачання продукції з паралельним урахуванням невизначеності оточення й виникаючих ризиків суттєво поглибить інформативність отриманих результатів для прийняття рішень.

Узагальнюючи коло математичних методів та моделей, що на сьогодні існує в сфері логістики/дослідження логістичних ланцюгів, фахівці визначають переважне використання таких аналітичних методів, як оптимізація, методи динамічного моделювання, а також економетричні моделі.

Загалом, оптимізація передбачає застосування методів лінійного та цілочисельного програмування. Тобто, застосуванню підлягають здебільшого алгоритми, побудовані з використанням систем лінійних рівнянь.

Водночас, використання аналітичних математичних методів є не завжди доцільним за умов складності логістичних ланцюгів: тобто рівень складності ланцюга напругу відбивається на суттєвому підвищенні складності відповідної аналітичної моделі. До того ж, не завжди алгоритми аналітичних моделей підлягають

розв'язанню (якщо рішення не може бути отримано, не має сенсу використовувати і модель).

Стосовно моделювання об'єктів дослідження в динаміці, на сучасному етапі мова йде не стільки про застосування аналітичних методів динамічного програмування, скільки про розширення сфери залучення різних парадигм імітаційного моделювання. Останнє є сучасним трендом моделювання логістичних задач, на чому слід зупинитися окремо.

Імітаційне моделювання в останні роки широко використовується в дослідженні логістичних процесів, що знайшло відображення в значній кількості прикладних додатків й публікацій [13-19]. За наявними статистичними даними й висновками експертів підвищення ефективності логістичних рішень з використанням імітаційних моделей сягає майже до 30-35% [14].

Існує достатня кількість успішних прикладних додатків в означеній галузі.

Так, в роботі [20] досліджується «ефект батогу», що може виникнути в логістичному ланцюзі внаслідок поступового спотворення попиту по всім ланкам ланцюга. Кінцевим результатом посилення даного ефекту є створення значного розриву між пропозицією і попитом, що, в свою чергу, сприятиме появі хаосу, безладу та посиленню ризиків для всіх учасників логістичного процесу.

Створена в ході дослідження імітаційна модель була спрямована на відтворення з наступним програмуванням засобів зменшення ефекту батогу. У зв'язку з багатофакторним характером процесів, що вивчалися, для побудови моделі була обрана агентна парадигма. Агенти, як сутності, що рухаються, дозволили відтворити процеси обміну інформацією та ризиками, як прийомами для зменшення «ефекту батога». Розробниками був змодельований трьохрівневий ланцюг поставок (виробник, оптовик, два роздрібних продавця), для якого оцінювалися чотири сценарії стратегій обміну інформацією:

- централізований обмін інформацією;
- децентралізований обмін інформацією;
- врахування політики об'єднання ризиків;
- нехтування політикою об'єднання ризиків.

Метою розробників було визначення ефективності стратегій обміну інформацією при їх сумісному та автономному використанні. Результати імітаційних експериментів довели, що при використанні обох стратегій в ланцюзі спостерігається зменшення кількості замовлень в розрізі всіх ланок.

Розвиток наведених досліджень йшов в напрямку ускладнення конфігурацій моделі для ситуацій задоволення запитів клієнтів напругу оптовими продавцями та/або виробниками. Інтерес можуть викликати також процеси виникнення збоїв в ланцюгах, розподіл замовлень між виробниками і продавцями та ін.

Наведені дослідження на базі використання імітаційного підходу добре ілюструють його переваги перед застосуванням суто аналітичних/

обчислювальних методів, на базі яких традиційно вивчався «ефект батога». Вадою даних методів була неможливість встановити вплив кожного з комплексу факторів, що впливали на процеси по всій довжині логістичного ланцюга. Неможливо також було інтегрувати загальний ефект цих впливів для всього ланцюга цілком.

Проблемі дослідження збоїв, виникаючих в логістичних ланцюгах, присвячена робота [21]. Досліджувалися ланцюги постачання в напівпроводникової галузі. Для побудови моделі використана системна динаміка. Вивчалася, як зовнішні збої впливають на мережу розподілення. Експериментатори використовували модель для тестування різних операційних стратегій управління збоями в ланцюзі для оцінки можливих наслідків та поліпшення результатів.

Комплекс проведених модельних експериментів носив ситуаційний характер. Результати довели можливі негативні наслідки в ланцюзі поставок в разі виникнення різноманітних форс-мажорних обставин. Експерименти продемонстрували можливість виникнення ефекту доміно в загальному логістичному ланцюзі.

Проблемам безпеки та стабільності роботи логістичних ланцюгів присвячені дослідження в різних галузях економіки. Ще одним прикладом застосування для цього імітаційного моделювання слугуватиме робота [22].

В роботі представлені результати імітаційного дослідження заходів по забезпеченню стабільності поставок генеричного препарату в Норвегії. Для побудови моделі застосована гібридна парадигма. На базі модельних експериментів вивчалася ефективність альтернативних заходів щодо запобігання дефіциту в ланцюзі постачання в умовах виникнення різноманітних збоїв внаслідок форс-мажорних обставин.

Результати експериментів використовувалися в системі підтримки прийняття національних рішень відносно планування готовності та реагування на надзвичайні ситуації. Цикл проведених експериментів підтвердив гіпотезу доцільності використання апарату імітаційного моделювання в системі підтримки прийняття ефективних управлінських рішень на різних рівнях управління, зокрема, на макрорівні.

Безпека та стабільність функціонування логістичних ланцюгів може бути досліджена за допомогою імітаційного моделювання з різних ракурсів, про що свідчить низка робіт, наприклад [23].

Дослідники перевіряють гіпотезу впливу ефективності управління доходами підприємств-виробників не тільки на їх виручку, але і на забезпечення потреб/очікувань клієнтів-учасників логістичного ланцюга. Особливо йдеться про галузі з коротким життєвим циклом продукції, тривалими строками поставок та висококонкурентним середовищем функціонування. Таким галузям притаманні значні перепади у динаміці попиту на кінцеву продукцію, що

безпосередньо має негативний вплив на ланцюги поставок, створюючи їх нестабільність.

Моделювання здійснювалося для підприємств напівпроводникової галузі. При побудові моделі використана дискретно-подієва парадигма. Досліджувалися різні стратегії ціноутворення, засновані на тривалості виконання замовлень. Управління доходами підприємства трактувалося, як «контроль та управління запасами заброньованих міст з метою підвищення прибутковості компанії».

Дослідження довело доцільність використання методу та встановило, що глобальні ланцюги постачання, що користуються стратегіями управління доходами, підвищують показники власної виручки приблизно на 10-19%, водночас, сприяючи задоволеності клієнтів та підвищенню гнучкості й ефективності прийняття відповідних бізнес-рішень.

Значна кількість досліджень присвячена в останні роки функціонуванню логістичних мереж, особливо у сфері роздрібної торгівлі. Прикладом використання імітаційних технологій може бути робота [24].

В межах дослідження була побудована імітаційна модель логістичної мережі онлайн-магазинів харчових продуктів. Модельною базою виступила комбінація двох парадигм імітації – дискретно-подієвого та агентного підходів.

Моделювалася логістична мережа з операціями доставки від центрального складу галузевого партнера до численних кінцевих користувачів. Особливостями моделювання були наступні:

- відтворення можливостей аналізу структурних та функціональних аспектів складних мереж;
- відтворення динамічних зв'язків між компонентами логістичної мережі;
- імітація невизначеності середовища функціонування мережі;
- відтворення впливів функціонування логістичної мережі на екологію (вивчення динаміки шкідливих викидів);
- параметричне налаштування моделі впродовж експериментів.

Впровадження моделі в реальну практику функціонування крупної торгівельної організації в Ганновері (Німеччина) довело можливість скорочення загальної відстані поїздок на автотранспорті до 25% (порівняно з оптимальним значенням), а також шкідливих викидів до 50%.

Оптимізації логістичних мереж доставки продуктів з використанням імітаційного моделювання присвячено також дослідження, результати якого представлені в [25]. Розроблена імітаційна модель побудована на агентній парадигмі імітації та використовується для відтворення сценаріїв співробітництва (зокрема, горизонтального) між різними постачальниками та отримувачами – супермаркетами Памплони (Іспанія).

Головною метою дослідників було вивчення можливостей розподілення ризиків та зниження витрат серед учасників логістичної мережі. В межах моделі генерувалася задача маршрутизації

транспортних засобів (використано алгоритм рандомізації зі зрушенням).

В результаті проведення численних імітаційних експериментів було встановлено значне скорочення строків виконання замовлень й підвищення задоволеності клієнтів в сфері онлайн-доставки харчових продуктів. Тобто, результати оптимізації логістичної мережі виявилися позитивними.

Окрему сферу використання алгоритмів імітації становить сфера управління запасами в ланках логістичної мережі. В якості прикладу розглянемо здобутки, наведені у роботі [26].

Моделюються стратегії розподілу у дворівневих системах управління запасами.

Відтворюється попит від різних класів клієнтів (клієнтів залежно від обсягів попиту на конкретні товари розбито за різними класами). Всі клієнти одного класу мають однаковий час виконання замовлень та однакові витрати на пролонговані замовлення. На кожному етапі системи управління запасами використовується стратегія «замовлення – запас». Замовлення на додаткове відвантаження видається за часом його надходження від клієнту. Управління ланцюгами поставок здійснюється за дискретно-подієвою парадигмою імітації.

Можливості детального відтворення роботи окремих учасників логістичного ланцюга, застосування різних стратегій управління запасами з точки зору їх оперативного параметричного налаштування сприяють підвищенню ефективності відповідних управлінських рішень. Експлуатація моделі на реальних об'єктах довела позитивні результати її використання.

В останні роки значного розповсюдження набули комплексні дослідження виробничо-збутових систем підприємств, де поряд з імітацією виробничого циклу досліджується підсистема збуту. В межах останньої відтворюються логістичні ланцюги поставки продукції від виробників до кінцевих споживачів.

Так, в роботі [27] дослідження виробничо-збутової системи показано на прикладі фармацевтичних підприємств. При побудові моделі використані всі основні парадигми імітації – системна динаміка (для відтворення виробничого процесу); дискретно-подієва – для відтворення логістичних ланцюгів; агентна – для імітації динамічних сутностей – користувачів ринку/замовлень, одиниць транспорту тощо.

Досліджені різні архітектури ланцюгів постачання для визначення найбільш ефективних за конкретними обставинами. Доведений прямий взаємозв'язок між стабільністю функціонування логістичних ланцюгів та ритмічністю виробництва. Відтворюється вплив багатьох стохастичних факторів на функціонування ланок логістичної системи внаслідок різноманітних кризових та форс-мажорних обставин.

Модель носить тренажерний характер для відпрацювання управлінських рішень і є достатньо гнучкою в експлуатації. Завдяки типовості рекомендована для різних підприємств галузі з мінімальними налаштуваннями.

Дослідженню різноманітних архітектур логістичних ланцюгів присвячена також робота [13]. Представлені моделі одно- та дворівневих каналів збуту підприємств фармацевтичної галузі.

У зв'язку з необхідністю значної деталізації процесів базою побудови моделі виступила дискретно-подієва парадигма імітації. Імітаційні експерименти носять ситуаційний характер та проводилися за матеріалами фармацевтичної компанії «ФАРМАК».

Наведені моделі дозволили дослідити, як конфігурація логістичного ланцюга впливає на кінцеві показники роботи підприємства, зокрема, на загальні витрати. Простежується і робота складських ланок логістичних ланцюгів.

Моделі в роботах [13], [27] побудовані на платформі багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic [28]. Можливості системи забезпечують проведення на моделях різноманітних імітаційних експериментів та їх гнучке налаштування залежно від специфіки дослідження конкретних логістичних мереж.

Моделі носять відкритий, модульний характер, що дозволяє їх модифікацію за необхідністю. Конкретні модулі можуть реалізовувати різноманітні аспекти досліджень, водночас, маючи горизонтальні й вертикальні зв'язки між собою.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Наведений огляд доводить, що для застосування імітаційного моделювання відкриваються широкі перспективи, зокрема, в галузі розв'язання логістичних задач. Особливо це стосується агентної парадигми імітації та гібридних моделей, що реалізовані на комбінації основних методологічних підходів.

Агентний підхід, як відносно новий порівняно з іншими парадигмами імітаційного моделювання, знаходиться в стадії постійного розвитку. Можливість відтворення динамічних сутностей з притаманними їм властивостями та поведінкою у визначеному просторі робить дану парадигму імітації придатною для реалізації розгалуженої системи задач логістики. Однак, не зважаючи на появу в останні роки значної кількості відповідних додатків, прикладні можливості підходу в сфері логістики ще далеко не вичерпані. Тому реалізація системного підходу в застосуванні агентної та гібридної парадигм імітації в просторі логістичних задач є актуальним трендом.

Ще одним актуальним напрямком є сьогодні сумісне застосування для вивчення логістичних процесів імітаційного моделювання та платформ штучного інтелекту. Зокрема, найбільша кореляція спостерігається у використанні моделей на базі агентної / гібридної парадигм з методами машинного та глибокого машинного навчання.

Так, в останні роки розробниками розповсюджені системи багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic проводяться системні роботи по створенню й розвитку паралельної платформи штучного інтелекту та апробації

технологій її сумісного використання з промисловими імітаційними моделями. Багатьма фахівцями доводиться доцільність паралельного застосування саме наведених апаратів дослідження [28].

Формулювання цілей дослідження (постановка завдання)

Метою статті є представлення агентних імітаційних моделей логістичних ланцюгів підприємства різної архітектури, реалізованих на програмній платформі системи AnyLogic та експериментально апробованих за матеріалами ТОВ «Торговий дім «Одескабель» [29].

Матеріали та методи

В роботі для створення моделі-тренажера постійного використання з метою підтримки прийняття управлінських рішень як оперативного, так і стратегічного характеру застосована агентна парадигма імітації з програмною реалізацією на платформі AnyLogic. Інформаційна база дослідження – матеріали ТОВ «Торговий дім «Одескабель».

Виклад основних результатів та їх обґрунтування

ТОВ «Торговий дім «Одескабель» (ТД «Одескабель») є одним з провідних дилерських підприємств для кабельної промисловості України. Широка номенклатура кабельної продукції виробляється вітчизняними та зарубіжними підприємствами і є предметом постачання/збуту як всередині країни, так і змістом операцій експорту/імпорту. ТД «Одескабель» з одного боку виступає торгівельним представником базового підприємства ПАТ «Одескабель», а з іншого боку працює як дилер для підприємств аналогічного галузевого спрямування.

Розгалужена мережа користувачів готової продукції, широка географія поставок призводять до появи й розвитку логістичних ланцюгів постачання різної архітектури та географічного спрямування. Складні ієрархічні ланцюги передбачають прийняття попередніх заходів по забезпеченню їх оперативної роботи та безпеки всіх учасників логістичного процесу. Відповідно до цього проблеми формування й підтримки у робочому стані логістичної системи постають перед підприємством дуже гостро.

Навіть функціонування ланцюгу відносно простої структури створює низку проблем стосовно забезпечення ритмічного функціонування його ланок; безперебійної роботи транспортних засобів, необхідності відстеження затримок на маршрутах за різноманітними причинами; забезпечення на маршрутах в конкретних ланках розвинутої складської інфраструктури та ін. Зі зростанням складності архітектури ланцюга зростає і кількість відповідних проблем, а також притаманні процесам функціонування ланцюгів ризики. Останні особливо підвищуються в умовах війни внаслідок критичного рівня небезпеки на маршрутах.

Слід підкреслити також необхідність виникаючої за обставинами потреби у модифікації та/або повної зміни маршрутів внаслідок руйнувань шляхів, складської інфраструктури, перебоїв з роботою транспортних засобів та ін. Згідно з цим стає очевидним, що моделювання логістичних ланцюгів є однією з важливих задач, ефективно розв'язання якої відіб'ється на кінцевих показниках роботи ТД «Одескабель».

Представлення й демонстрацію моделі здійснено у спрощеному вигляді на прикладі умовного логістичного ланцюга постачання та його наступної удосконаленої модифікації.

Базова архітектура ланцюга. Розглядається ланцюг постачання, що функціонує на території України і складається з розподільчого центру/дистриб'ютора, розташованого у м. Черкаси; ритейлерів (з якими працює дистриб'ютор) та кінцевого пункту призначення – ТД «Одескабель», який співпрацює безпосередньо з дистриб'ютором. Готова продукція з підприємства «Одескабель» постачається дистриб'ютору у м. Черкаси, після чого починається її безпосереднє просування до ритейлерів. Тобто Черкаси – пункт початку маршруту. Транспорт забезпечує дистриб'ютор (він частково є його власністю, частково береться у оренду).

Таким чином, загальний маршрут логістичного ланцюга складається з наступних ланок: дистриб'ютор (м. Черкаси); ритейлер № 1 (м. Кременчук); ритейлер № 2 (м. Нікополь); ритейлер № 3 (м. Херсон); кінцевий пункт маршруту м. Одеса. Після досягнення кінцевого пункту знову завантажений готовою продукцією підприємства транспорт повертається до дистриб'ютора, після чого цикл логістичного ланцюгу продовжується. Загальний вигляд вікна моделі класу Main наведено на рис. 1.

В моделі використано компонент  GIS Map бібліотеки розмітки простору. Агент Main при цьому відіграє роль зовнішнього середовища, в якому будуть функціонувати створені в моделі агенти, як динамічні сутності.

В моделі використані різні типи агентів:

— Агент-дистриб'ютор (Distributor) розташовується на карті в конкретному місці (м. Черкаси): елемент бібліотеки розмітки простору  GIS Point.

— Популяція агентів-ритейлерів (retales), що розташовуються в містах Кременчук, Нікополь, Херсон, кінцевий пункт Одеса.

Популяція агентів-вантажівок vehicles.

В системі створюються наступні бази даних (БД):

— retailers: містить інформацію стосовно розташування конкретних ритейлерів (фрагмент наведено на рис. 2 а);

— trucs: містить первинні дані стосовно ідентифікаційного номеру (держ. номер) та марки машини, а також дані, які накопичуються впродовж експериментів – кількість їздок, час на маршруті, час затримки (рис. 2 б).

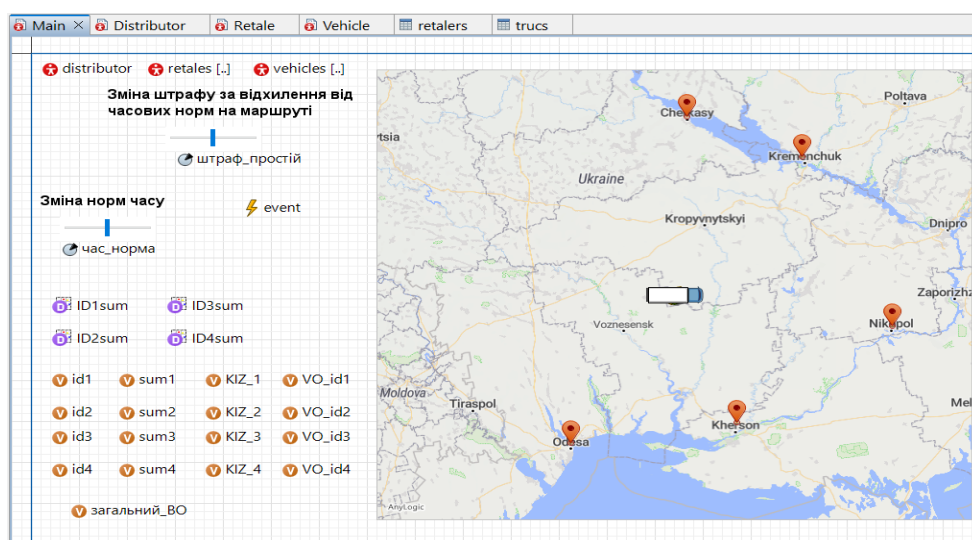


Рисунок 1. Загальний вигляд вікна класу Main моделі логістичного ланцюга

Джерело: власна розробка автора

Retale				trucs					
	city	широта	довгота	truc_id	марка	кількість_їздок	час_на_маршрутах	час_затримки	вантажопідйомність
1	Kremenchuk	49.1	33.42	1	мерседес				16
2	Nikopol	47.57	34.41	2	опель				20
3	Kherson	46.67	32.61	3	рено				22
4	Odessa	46.53	30.77	4	тойота				18

а) БД retalers

б) БД trucs

Рисунок 2. Фрагменти структур баз даних

Джерело: власна розробка автора

Завдяки використанню агентної парадигми імітації можливо відтворювати динамічну поведінку різноманітних агентів. Такі можливості застосовані в моделі для відтворення просування транспорту по ланцюгу постачання. Імітація руху вантажівок по логістичному ланцюгу реалізує можливості забезпечення динамічності процесів та відстеження результатів діяльності ланцюга.

Поведінка агентів задається за допомогою елементу AnyLogic – діаграма станів / бібліотека Statechart. При цьому визначаються стани, в яких може перебувати агент (в даному випадку –

вантажівка/транспортний засіб) впродовж свого руху по логістичному ланцюгу. Стани пов'язані між собою переходами, які здійснюються згідно конкретним ситуаціям/діям, що відбуваються у внутрішньому та/або зовнішньому середовищі функціонування логістичної системи.

Впродовж переходу або в межах знаходження в конкретних станах можуть задаватися різноманітні дії; підраховуватися значення певного кола змінних, які потрібні для відстеження результатів поведінки ланцюга й визначення його «вузьких місць».

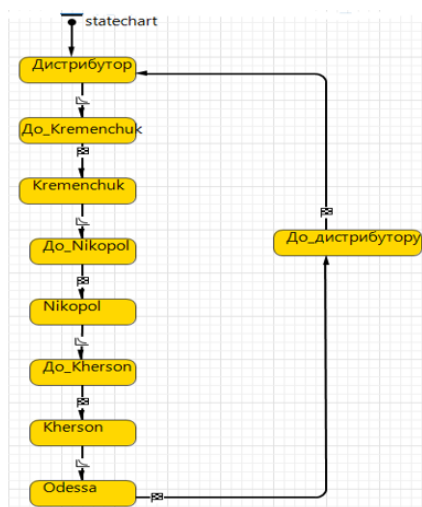


Рисунок 3. Діаграма стану руху транспортних одиниць маршрутом ланцюга постачання

Джерело: власна розробка автора

Внаслідок того, що дія ланцюгу визначається поведінкою агентів класу Vehicle діаграма стану, що визначає поведінку транспортних одиниць (вантажівок) розміщується у цьому класі. Загальний вигляд побудованої діаграми стану логістичного ланцюгу ТД «Одескабель» наведена на рис. 3. Задіяні переходи між станами з заданою інтенсивністю та згідно прибуття агента.

Модифікований логістичний ланцюг. Приймається за основу, що «ТД «Одескабель» відмовляється від дистриб'ютора, розташованого в м. Черкаси і сам починає відігравати цю роль для тих самих ритейлерів – у містах Кременчук, Нікополь, Херсон. Підприємство користується власним транспортним парком або бере якісь транспортні одиниці в оренду за потребою. В даному випадку ланцюг працює за замовленнями ритейлерів. Тобто, коли виникає потреба, конкретний ритейлер надсилає дистриб'ютору замовлення на відвантаження конкретного вантажу/товару. Якщо в наявності вільний транспорт, дистриб'ютор відвантажує продукцію і вона поставляється ритейлеру-замовнику. Після

відвантаження вільний транспорт повертається до м. Одеса – «ТД «Одескабель».

Зміни постановки відбиваються на моделі перенесенням розташування дистриб'ютора та модифікацією бази даних retailers. Додатково створюється новий тип агента ProductOrder, який розміщується у класі Main.

Для агенту наведеного типу визначаються два параметри:

- amount (тип int): зберігається кількість замовленої продукції;
- retailer (тип Retale): зберігається посилання на конкретного ритейлера, який робить замовлення.

У зв'язку з тим, що за наведеною постановкою поведінка агентів змінюється, змінюється і діаграма стану у класі Vehicle – рис. 4. Діаграма містить 3 стани:

- дистрибутор_Одеса: початок маршруту;
- MovingToRetailer: відвантаження товару до конкретного ритейлера;
- MovingToDistributor: повернення вже вільного транспорту до дистриб'ютора.

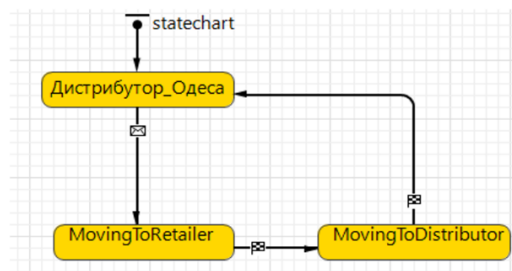


Рисунок 4. Вікно діаграми стану в класі Vehicle
Джерело: власна розробка автора

Перехід від дистриб'ютора до ритейлера здійснюється за замовленням.

Тобто, узагальнюючи наведене, маємо справу з послідовним ланцюгом постачання (базова архітектура) та модифікованою архітектурою, де всі дії відбуваються за конкретними замовленнями. В реальних умовах може бути різна кількість дистриб'юторів до ритейлерів, які працюють за принципами базової або модифікованої архітектури логістичних ланцюгів.

На розробленій імітаційній моделі логістичного ланцюга було проведено серію сценарних імітаційних експериментів з відтворенням конкретних ситуацій, що можуть виникнути впродовж терміну його експлуатації.

Сценарій 1: Базова архітектура ланцюга.

Крок імітації – година; термін імітації – 100 годин.

Визначається загальний стан функціонування логістичного ланцюга при відсутності значних впливів збурюючих факторів на процеси функціонування транспорту на маршруті.

Встановлено нормативний час перебування транспорту на маршруті: мається на увазі загальний час проходження логістичного ланцюга – від дистриб'ютора до кінцевого пункту

призначення. Визначено також штраф відхилення від нормативного часу – грн/годину. В розрізі кожної одиниці автотранспорту / вантажівки конкретної марки впродовж експерименту розраховується кількість їздок, відхилення від нормативного часу на маршруті з нарахуванням штрафу. Всі параметри розраховуються протягом встановленого при налаштуванні експерименту часу. Інформація стосовно марок машин та їх ідентифікаційних номерів завантажується з бази даних і є особистими властивостями, якими володіє кожний динамічний об'єкт – агент / транспортний засіб.

Впродовж експерименту на екрані відображається рух транспортних засобів на GIS-карті, що дає можливість наочного спостереження за процесом функціонування логістичного ланцюга / переміщення вантажів. Інформація по наявним відхиленням виводиться по завершенню часу експерименту на консоль.

Фрагмент консолі та отримані дані наростаючим підсумком представлені на рис. 5 – примітка: ось X – часові періоди (100 годин); ось Y – штрафи (тис. грн.); обсяг вантажопотоку (натуральні одиниці виміру, т.).

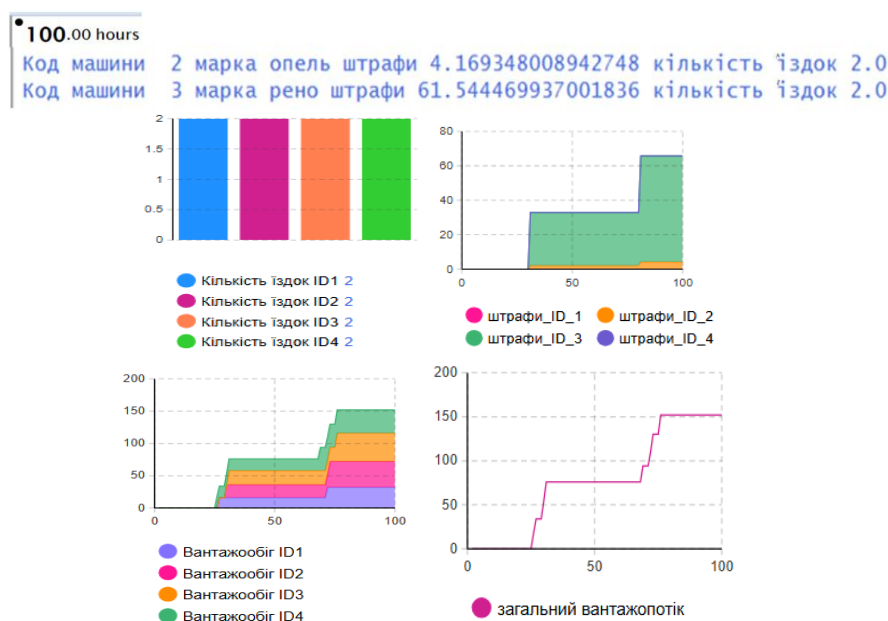


Рисунок 5. Дані наростаючим підсумком впродовж експерименту
Джерело: власна розробка автора

Як видно з наведеного, затримки/відхилення від нормативного часу на маршруті мали два автотransпортних засоби – марки «Опель» (ідентифікаційний код 2) та марки «Рено» (ідентифікаційний код 3). Обидві транспортні одиниці встигли виконати впродовж модельного часу по 2 їздки по маршруту. Водночас, відхилення за часом значно більше у транспорту за ідентифікаційним кодом 3 – штрафи за відхилення становлять близько 61 тис. грн. порівняно з 4 тис. грн у транспортного засобу з ідентифікаційним кодом 2. Інші одиниці транспорту виконували поїздки по маршруту за нормативним часом. Всі досліджувані транспортні одиниці реалізували за час експерименту по 2 їздки.

Подальший аналіз визначив не тільки технічні вади відповідних транспортних одиниць, але і найбільш складну ділянку маршруту – «Херсон» – «Одеса», що цілком пояснюється станом місцевості в умовах воєнного часу та наближеністю до зони бойових дій. Отримання детальної інформації по ділянкам маршруту стало можливим шляхом забезпечення підрахування відповідних показників у станах та на переходах стейтчарту між конкретними пунктами призначення.

При збільшенні модельного часу удвічі (200 годин) отримуємо динаміку показників, представлену на рис. 6 – примітка: ось X – модельний час: 200 годин; по осі Y: а) т.; б) т.; в) тис. грн.; д) шт.

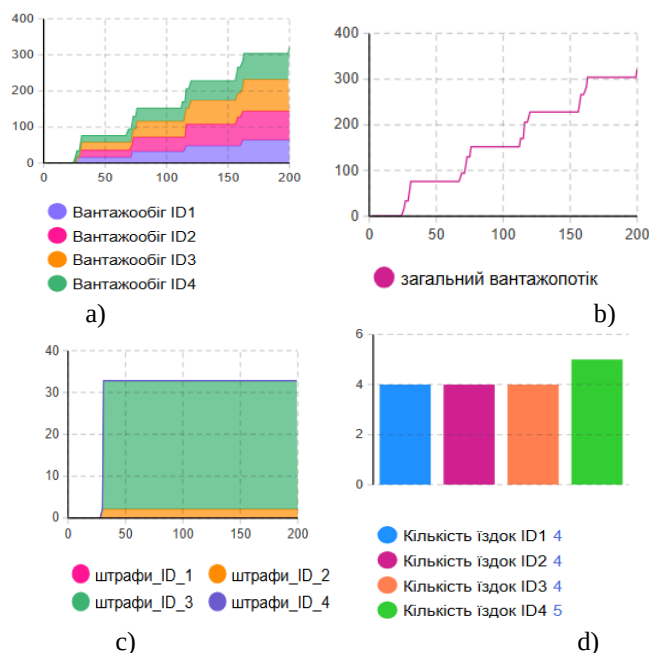


Рисунок 6. Результати функціонування логістичного ланцюга: термін імітації – 200 годин
Джерело: власна розробка автора

Модель відрізняється можливістю її параметричного налаштування. Згідно з цим стосовно визначень відхилень від нормативного часу на маршрутах та нарахування відповідних штрафів можна дослідити, як зміни нормативів за об'єктивних обставин впливають на кінцеві часові та вартісні показники функціонування логістичного ланцюгу. Це є актуальним особливо у сучасних ситуаціях, коли часові параметри змінюються внаслідок воєнного стану та супутніх форс-мажорних обставин. Цінові нормативи також відчують на собі постійні зміни внаслідок інфляції, зміни попиту, інших факторів, притаманних непередбачуваній ринковій динаміці в умовах підвищеної ентропії системи. Проведення експериментів порівняння прогонів довело наступні результати – рис. 7-8.

Отримані результати при варіації нормативом часу на маршруті доводять появу штрафних санкцій стосовно всіх транспортних засобів при суттєвому зниженні нормативу (прискорення

їздки). Однак, штрафи зникають по всіх позиціям при збільшенні нормативу часу. Це має достатнє обґрунтування, зважаючи на сучасні воєнні умови й необхідність передбачення пов'язаних з цим ситуацій.

Загалом можна констатувати достатню ритмічність функціонування даного логістичного ланцюгу. Особливо, якщо дистриб'ютор має власний транспортний парк або оренда не є зовсім витратною, такий круговий ланцюг може бути вигідним для підприємства. Також маєтеся на увазі що вантаж, який відправляє за маршрутом дистриб'ютор, є достатнім (задовольняє) всіх ритейлерів.

Водночас, такі припущення не завжди спрацюють. Тобто доцільно розглянути інші варіанти архітектури логістичного ланцюгу, щоб в конкретних обставинах логісти підприємства змогли обрати найбільш ефективний варіант.

Як свідчать наведені результати, штрафні відхилення від нормативів постійно зберігаються по транспортним одиницям ID2 та ID3.

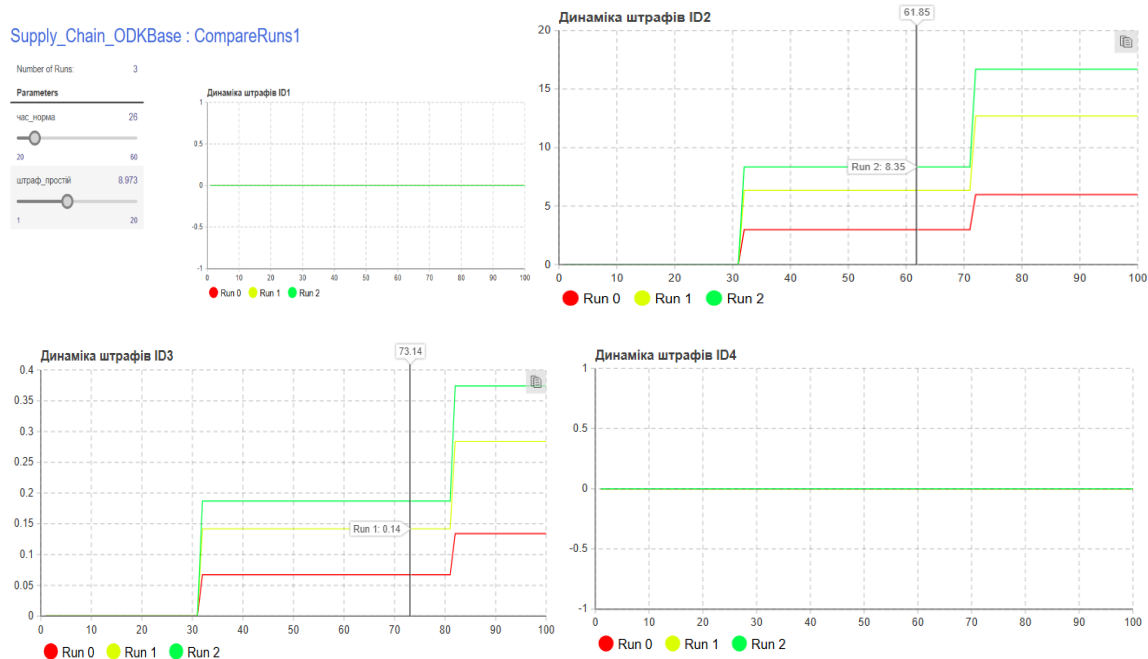


Рисунок 7. Порівняння прогонів моделі при варіації штрафних тарифів та сталій нормі часу перебування на маршруті

Джерело: власна розробка автора

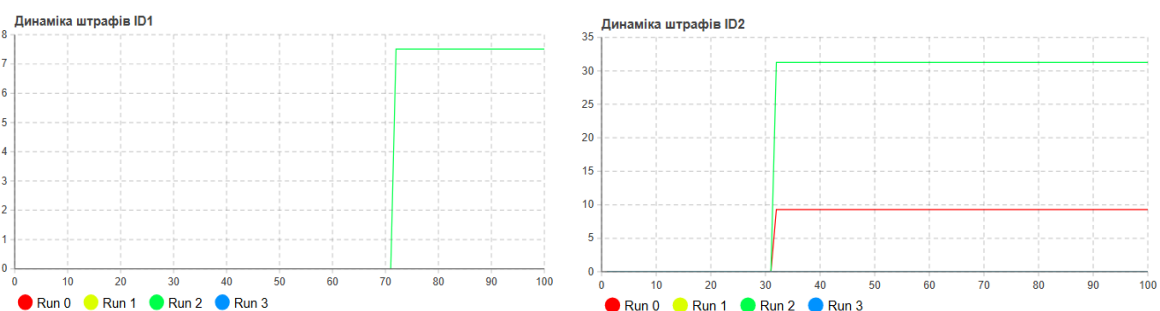


Рисунок 8. Порівняння прогонів моделі при зміні нормативів часу на маршруті

Джерело: власна розробка автора

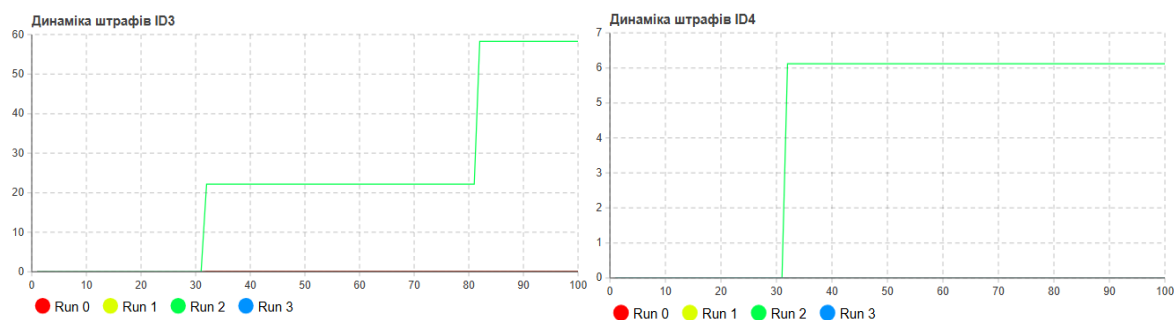


Рисунок 8. Продовження
Джерело: власна розробка автора

Сценарій 2: Модифікована архітектура ланцюга. Крок імітації – година; термін імітації –

100 годин. Результати експерименту представлені на рис. 9.

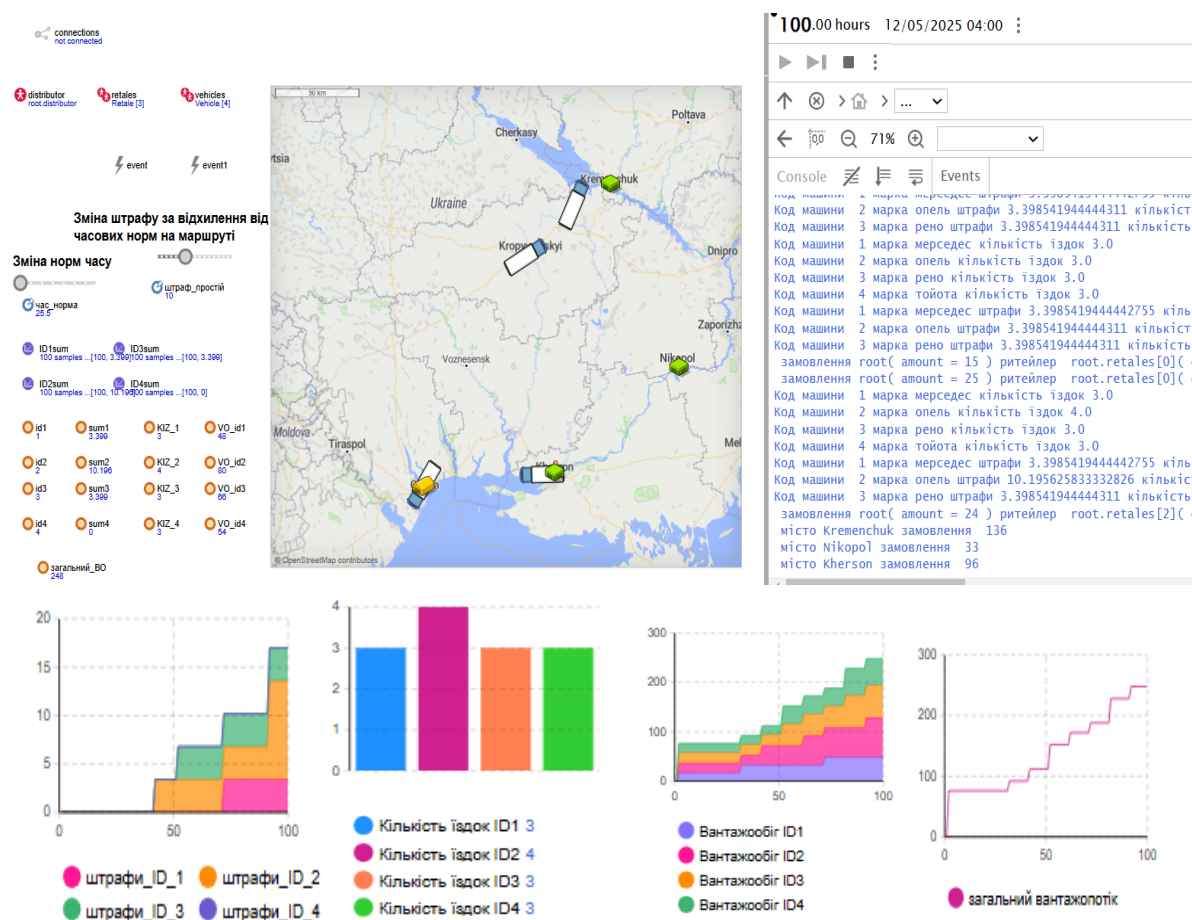


Рисунок 9. Результати імітаційного експерименту на моделі модифікованого логістичного ланцюга:
термін імітації – 100 годин

Джерело: власна розробка автора

Кількість їздок за конкретними видами транспорту очікувано збільшилася; збільшився як вантажопотік за конкретними видами транспорту, так і загальний вантажопотік.

Що стосується ритейлерів, спостерігається нерівномірна тенденція замовлень. Так, ритейлер з міста Кременчук зробив замовлення на 136 одиниць продукції (тони); з міста Херсон замовлення становили 96 одиниць продукції (тони); Нікополь – найменша кількість замовлень: 33 одиниці продукції.

Водночас, інформація стосовно фактичних вантажів, перевезених задіяними транспортними одиницями становить, відповідно, за держномерами:

- Id1 48 одиниць продукції;
- Id2 80 одиниць продукції;
- Id3 66 одиниць продукції;
- Id4 54 одиниці продукції;

Згідно даним експерименту фактично перевезено 248 одиниць продукції при загальному

замовленні, зробленому ритейлерами, в 265 одиниць. Тобто, фактично потужності транспорту були використані достатньо повно.

Норми часу на маршрутах були змінені. Однак, штрафні санкції все ж таки спостерігаються по трьом видам транспортних одиниць (Id1, Id2, Id3). Найбільш ритмічно працює транспортна одиниця Id4 – при рівному з іншими числу їздок за термін імітації (Id1, Id3) штрафні санкції дорівнюють 0. Найбільші штрафні санкції у Id2 (при числі їздок 4).

Водночас, зважаючи на існуючі воєнні обставини та складні маршрути, можна вважати роботу логістичного ланцюгу позитивною.

Інформація, виведена на консоль, дозволяє детально дослідити розвиток процесів функціонування логістичного ланцюга протягом терміну експериментів, що надає додаткові можливості менеджерам-логістам «ТД «Одескабель» в ході прийняття відповідних управлінських рішень.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Наведені моделі логістичних ланцюгів носять тренажерний характер, що дає змогу програвати на них різноманітні ситуації, які можуть виникнути в реальній практиці. Позитивним є відтворення на базових моделях різних модифікацій зі зміною архітектури ланцюгів. Широкий спектр типів імітаційних експериментів надає значні можли-

вості параметричних налаштувань, оцінки впливу різноманітних факторів на кінцеві результати функціонування ланцюгів. Бізнес-аналітика, отримана в результаті імітаційних експериментів, свідчить про можливість застосування запропонованого інструментарію в процесах прийняття ефективних логістичних рішень.

Використання нотацій агентної парадигми моделювання додає значної гнучкості моделям завдяки привласненню динамічним сутностям практично необмеженої кількості властивостей, що використовуються в процесах відтворення динамічної поведінки агентів.

Відкритий та модульний характер моделей дозволяє поступово ускладнювати процеси, що моделюються, для більш ґрунтовного прийняття наступних управлінських рішень, відповідних конкретним сценаріям розвитку подій.

Наприклад, в наведеній базовій моделі та її модифікації окремо не приділялася увага аналізу тривалості операцій розвантаження транспорту при доставці вантажів ритейлерам. Однак, це також може значно впливати на часові характеристики функціонування наведених архітектур ланцюгів. В ході подальшого доопрацювання моделі цей аспект планується врахувати.

Прикладне значення агентних імітаційних моделей ланцюгів постачання полягає у можливості їх використання в практиці роботи логістичних підсистем підприємств різного спрямування.

Abstract

Logistics plays an important role in ensuring the operation of production and sales systems of enterprises, which is one of the important factors determining their competitiveness. Within the general logistics system, supply chains occupy a special place as an intermediary subsystem between manufacturers and end consumers of products. Logistics chains are not stationary substances and can have flexible structures, which is especially characteristic of the processes of their functioning in crisis conditions, when various force majeure circumstances arise. Complex and flexible architectures of logistics chains involve the use of modern approaches in the processes of their formation, diagnostics, and making appropriate management decisions regarding improvement and modification. Practical experience proves the relevance of improving the processes of diagnostics of logistics chains on the basis of the use of economic and mathematical modeling, information and digital technologies.

The need is being formed to involve flexible mathematical and technological tools of constant use with the possibility of parametric adjustment to numerous disturbing factors of a stochastic nature. A review of many literary sources proves the existence of certain achievements in the field of analytical and simulation modeling of logistics solutions. The current trend of recent years is the development of model applications using the agent paradigm and a hybrid approach based on a combination of the main methodological approaches to simulation. The agent paradigm, due to the ability to reproduce dynamic entities with their inherent properties and behavior in a certain space, is particularly suitable for implementing an extensive system of logistics problems. Agent simulation models of logistics chains of an enterprise of various architectures are proposed, implemented on the software platform of the multi-approach simulation modeling system AnyLogic.

The possibilities of conducting diagnostics in the process of chain operation are illustrated by fragments of scenario simulation experiments based on materials from LLC "Trading House "Odeskabel". The results obtained prove the reproduction of various logistics situations that may arise in the real activities of the enterprise on the model. Experimental business analytics indicates the possibility of using the proposed tools in the processes of making effective logistics decisions.

References:

1. Deynega O.V. (2017). Modern models of integration of information flows of enterprises in supply chains. Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Economics and Management. Issue 24(1). pp.111-115. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_eim_2017_24%281%29__26
2. Klepikova O. A. (2020). The influence of marketing policy on the optimization of the planning of the work of a supplier company in the supply chain. Bulletin of the Khmelnytsky National University. Economic Sciences. No. 6(288). pp. 130-133. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2020-288-6-20>
3. Kuchmееv O.O. (2018). Peculiarities of logistics risk management in supply chains of trading enterprises. Black Sea Economic Studies. Issue 35(2). pp. 52-56. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2018_30\(1\)__23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2018_30(1)__23)
4. Sysoev V. V. (2015). Concept of Modeling Logistic Management of Supply of Forces of the Security and Defense Sector of the State. Problems of Economy. No. 3. pp. 342-351. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/37705>
5. Morozova I.V., Postan M.Ya., Dashkovskiy S.N. (2013) Dynamic optimization model for planning of integrated logistical system functioning. In: Proc. of 3d Intl. Conf. "Dynamics in Logistics" LDIC'2012. Berlin: Springer. pp. 291-300.
6. Krykavsky E.V., Yakimyshyn L.Ya. (2018). Complementarity of marketing and logistics strategies in the supply chain of everyday goods. Marketing and digital technologies. Vol. 2, No. 1. pp. 21-32. <https://doi.org/10.15276/mdt.2.1.2018.2>
7. Falovich V.A. (2017). Restructuring the supply chain in the context of the development of its emergent properties. Business Inform. No. 2. pp. 196-202.
8. Yakimyshyn L.Ya. (2017). Formation of a supply chain based on the identification of consumer needs. // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Logistics. No. 863. pp. 245-258
9. Kryveshchenko V.V., Khmurkovsky G.V., Lyadenko T.V. (2024). Optimization of logistics supply chains in conditions of global crises. Economy and Society. Issue. 63. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-110>
10. Postan M.Ya., Kurudzhi Y.V. (2021). Supply chain modeling taking into account the innovative and marketing activity of manufacturing enterprises. Economic Bulletin of NTUU "Kyiv Polytechnic Institute". No. 20. pp. 89-94. <https://doi.org/10.20535/2307-5651.20.2021.252852>
11. Brandimarte P., Zotteri G. (2007). Introduction to Distribution Logistics. NY: J. Wiley&Sons. Inc. 579p.
12. Bramel J., Simchi-Levi D. (1997). The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management. Berlin: Springer. 355 p.
13. Sokolovska Z.M. (2024). Simulation models of pharmaceutical logistics. Economics: realities of time. Scientific journal. No. 4 (74). P. 99-110. <https://economics.net.ua/files/archive/2024/No4/99.pdf>. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13851959>
14. Borshchev A., Grigoryev, I. (2024) The Big Book of Simulation Modeling. <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling/> (accessed 4th March 2026)
15. 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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221718308786>
16. 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, pp. 118-133. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2011.09.002>
17. Grigoryev, I. (2024) AnyLogic in Three Days: Modeling and Simulation. Textbook. <https://www.anylogic.com/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/>
18. 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, pp.1153-1166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221724000468>
19. Masoud Fakhimi, Navonil Mustafee. Editors (2024). Hybrid Modeling and Simulation Conceptualizations, Methods and Applications. Springer Cham. 352 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-59999-6>
20. Md. Zahidul Islam, Nettie Roozeboom, Payton Gunderson, Xueping Li, Andrew Junfang Yu. (2022). An agent-based simulation model to mitigate the bullwhip effect via information sharing and risk pooling. Proceedings of the Winter Simulation Conference. pp.1636-1647. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/bae/o7x4two3tgb8d1d1v1znwhjtjr1c7750q.pdf>
21. Anna Hartwick, Abdelgafar Ismail, Beatriz Kalil Valladão Novais, Mohammed Zeeshan, Hans Ehm. (2023). System dynamic simulation of external supply chain disruptions on a simplified semiconductor supply chain. Proceedings of the Winter Simulation Conference. pp.863-874. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/c21/1o246p3hu6jcoos7x9ec81ktfkupld7a.pdf>
22. Joe Viana, Kim van Oorschot, Christine Årdal (2021) Assessing resilience of medicine supply chain networks to disruptions:a proposed hybrid simulation modeling framework. Proceedings of the Winter

- Simulation Conference. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/818/6dardcykf1ns5r2cskrmv8lqz5h2tqza.pdf>
23. Tobias Leander Welling, Ludmila Quintao Noel, Abdelgafar Ismail (2021). Identifying potentials and impacts of lead-time based pricing in semiconductor supply chains with discrete-event simulation. Proceedings of the Winter Simulation Conference. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/070/ywu3tqfe2b3mby37nt1k1nw2k145na.pdf>
24. Maik Trott, Christoph von Viebahn, Marvin Auf der Landwehr (2020). Towards a more sustainable future? Simulating the environmental impact of online and offline grocery supply chains. Proceedings of the Winter Simulation Conference. pp. 1218-1229. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/1ad/1ad99c34081af1dfd72800c5f58dd5fd.pdf>
25. Adrian Serrano-Hernandez Javier Faulin, Rocio de la Torre (2020). Agent-based simulation improves E-grocery deliveries using horizontal cooperation. Proceedings of the Winter Simulation Conference. pp.1242-1253. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/9e8/9e89733a9164fbae136e157f7d853af3.pdf>
26. Bhoomica M. Nataraja, Zumbul Atan (2019). Simulation of allocation policies for a serial inventory system under advance demand information. Proceedings of the Winter Simulation Conference. pp.1871-1882. <https://www.anylogic.com/upload/iblock/0b7/0b793e832c6ec168ed7ebb5c6dbf6189.pdf>
27. Sokolovska Z.M. (2025). Hybrid simulation models in processes of support of making managerial decisions. Economics: realities of time. 2025. No. 3 (79). P. 120-131. <https://economics.net.ua/files/archive/2025/No3/120.pdf>. <https://doi.org/10.15276/ETR.03.2025.12>. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15750464>.
28. Website The AnyLogic company. <http://www.anylogic.com>
29. Official website of LLC "Trading House "Odeskabel". <https://td-odeskabel.com.ua>

Посилання на статтю:

Соколовська З.М. Агентні моделі економічної діагностики логістичних ланцюгів підприємств / З.М. Соколовська // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2026. – № 4 (86). – С. 5-18. – Режим доступу: <https://etr.economics.net.ua/files/archive/2026/No4/5.pdf>. <https://doi.org/10.15276/ETR.04.2026.1>. <https://zenodo.org/records/22725220>.

Reference a Journal Article:

Sokolovska Z.M. Agent Models of Economic Diagnostics of Logistics Chains of Enterprises / Z.M. Sokolovska // Economics: time realities. Scientific journal. – 2026. – № 4 (86). – P. 5-18. – Retrieved from: <https://etr.economics.net.ua/files/archive/2026/No4/5.pdf>. <https://doi.org/10.15276/ETR.04.2026.1>. <https://zenodo.org/records/22725220>.



This is an open access journal and all published articles are licensed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0)