

DOI: 10.15276/EJ.04.2025.12  
DOI: 10.5281/zenodo.18068716  
UDC: 658.012.2  
JEL: C63, R41, D81, M21

## АГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ЛОГІСТИЧНОЇ КОМПАНІЇ

### AGENT-BASED MODELING IN THE MANAGEMENT DECISION SUPPORT SYSTEM OF A LOGISTICS COMPANY

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

Received 28.09.2025

*Соколовська З.М. Агентне моделювання в системі підтримки управлінських рішень логістичної компанії. Науково-методична стаття.*

Стаття представляє агентне моделювання, як один з важливих інструментів в системі підтримки прийняття управлінських рішень логістичної компанії. Досліджуються процеси взаємодії логістичних компаній з транспортною біржою. Здійснено огляд існуючих розробок щодо удосконалення бізнес-моделей бірж, застосування сучасних технологій та агентного моделювання. Представлена імітаційна модель співпраці типової компанії з біржою, побудована з використанням агентної парадигми з додатковим залученням дискретно-подієвого підходу. Реалізація моделі та експериментальної частини здійснені на програмній платформі багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic. Можливості прийняття управлінських рішень на базі розробленої моделі-тренажера ілюструються результатами імітаційних експериментів, проведених з використанням матеріалів логістичної компанії Grant Logistic Group.

*Ключові слова:* логістична компанія, транспортно-експедиторське обслуговування, моніторинг транспортних бірж, система підтримки управлінських рішень, імітаційна модель, агентний підхід, імітаційні експерименти

*Sokolovska Z.M. Agent-Based Modeling in the Management Decision Support System of a Logistics Company. Scientific and methodical article.*

The article presents agent-based modeling as one of the important tools in the management decision support system of a logistics company. The processes of interaction of logistics companies with the transport exchange are studied. A review of existing developments on improving business models of exchanges, the use of modern technologies and agent modeling is carried out. A simulation model of cooperation between a typical company and an exchange is presented, built using an agent paradigm with the additional involvement of a discrete-event approach. The implementation of the model and the experimental part was carried out on the software platform of multi-approach simulation modeling AnyLogic. The possibilities of making managerial decisions on the basis of the developed simulator model are illustrated by the results of simulation experiments conducted using the materials of the logistics company Grant Logistic Group.

*Keywords:* logistics company, freight forwarding services, monitoring of transport exchanges, management decision support system, simulation model, agent-based approach, simulation experiments

Логістична галузь є однією з вагомих інфраструктурних складових економіки України. Важливим сучасним трендом її розвитку є впровадження цифровізації та автоматизації бізнес-процесів функціонування, пов'язаних з управлінням транспортом, складами, ланцюгами поставок тощо. Згідно [1] у 2025-2026 роках прогнозується суттєва активізація діджиталізації бізнес-процесів, спрямована на спрощення управління логістичними потоками, зменшення витрат та підвищення оперативності доставки вантажів до пунктів призначення; підвищення ефективності міжнародних, інтермодальних перевезень (управління митними даними; забезпечення вимог безпеки, зниження ризиків, дотримання міжнародних стандартів, вимог торгівлі т. і.) тощо.

В останні роки логістичними компаніями активно впроваджуються інноваційні технології, зокрема, спеціальні платформи відстеження руху вантажів в режимі реального часу; функціонування транспортних бірж; ведення баз даних щодо замовлень клієнтів із оперативним моніторингом ситуації на ринку логістичних послуг; застосування в процесах аналізу великих даних/ Big Data; технологій штучного інтелекту.

На думку експертів, з 2025 року процеси автоматизації і діджиталізації переходять на суттєво новий рівень – від впровадження автономних новацій в різних логістичних сферах до розробки й впровадження інтегрованих рішень [2]. Просувається застосування інструментів генеративного штучного інтелекту (genAI), машинного навчання, нейронних мереж (Deep learning) та численних хмарних платформ.

На тлі розвитку цифровізації постає проблема активізації заходів кібербезпеки. За даними [3] до кінця 2025 року витрати за наведеним напрямком зростуть приблизно на 25%. Це має призвести до забезпечення стабільності роботи логістичних мереж та уникнення значних витрат в разі кібератак на логістичну інфраструктуру.

У світі сучасної логістики важливі швидкість, прозорість пропозицій, надійний та легкий доступ до відповідних функціонерів ринку логістичних послуг. Згідно з цим підвищується роль систем підтримки прийняття управлінських рішень логістичними компаніями, ефективність яких безпосередньо залежить від інструментального підґрунтя їх побудови.

Незважаючи на динамічні процеси цифровізації, що супроводжують розвиток ринку логістичних послуг, та залучення широкого спектру математичних методів та моделей логістичних процесів й систем, виникає велика кількість управлінських задач, розв'язання яких потребує використання нестандартних гнучких підходів. До останніх, зокрема, належать імітаційні моделі-тренажери для оперативного відпрацювання рішень на різноманітну часову перспективу. Прикладні застосунки даного математичного апарату в останні роки дуже урізноманітнилися: логістична галузь не є винятком.

Створенню промислових імітаційних моделей, поряд з розвитком загальної методології методу, сприяє поява потужних програмних платформ реалізації модельних експериментів: наприклад, систем ARENA та AnyLogic [4].

Одним з сучасних напрямків імітаційного моделювання є використання агентної парадигми.

Базовим поняттям агентного моделювання є агент – деяка сутність, що рухається; має власну поведінку, тобто діє за визначеними правилами, взаємодіє з іншими агентами та/або з їх оточенням.

Визначаються наступні переваги використання агентного моделювання:

- Завдяки власній специфіці (поведінковій сутності) агентні моделі достовірно відтворюють еволюцію реальних систем.
- Завдяки взаємодії між собою та з середовищем функціонування агентні моделі можуть відтворювати різний тип поведінки та управління нею. Зокрема, йдеться про можливість роботи з великою кількістю агентів, що демонструють нелінійну поведінку та нелінійні правила управління.
- Агентна парадигма імітації забезпечує високий рівень гнучкості в процесі розробки моделей; сприяє визначенню різних рівнів поведінкової складності для відповідних типів агентів, задіяних в них.

Наведені ознаки агентного моделювання дозволяють зробити висновок щодо їх відповідності сутності динамічних рішень, що відбуваються в системі управління логістичними бізнес-процесами.

Коло управлінських рішень типової логістичної компанії дуже значне. Особливо це стосується найбільш розповсюдженої в Україні групи компаній Third Party Logistics (3PL). За міжнародною класифікацією логістичні компанії 3PL, окрім виконання традиційних функцій, надають також додаткові послуги: розробка систем, перевантаження, обробка вантажів, використання послуг субпідрядників. Тобто компанії, окрім здійснення суто перевезення різноманітних вантажів, надають повний спектр послуг з організації перевезень.

Пошук нових клієнтів та вантажоперевізників є для логістичних компаній перманентним процесом, у зв'язку з чим вони тісно співпрацюють з транспортними біржами, тендерами, інтернет-аукціонами.

Наприклад, у поточний час функціонує майже 30 найбільш відомих автомобільних транспортних бірж. Транспортні біржі є достатньо дієвим інструментом у зв'язку з виконанням основних бізнес-операцій, пов'язаних з логістикою, в онлайн-режимі.

Транспортні біржі є одним з простих і достатньо традиційних напрямків поєднання потенційних замовників (вантажовласників) з вантажоперевізниками.

Задачі, що постають в ході співпраці логістичних компаній з транспортними біржами, мають багатоаспектний характер, що привертає увагу багатьох дослідників та потребує залучення різноманітного інструментарію й інформаційних технологій.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Використання та значення транспортних бірж постійно зростають. Адже це – інструменти, що дозволяють отримувати інформацію стосовно вантажів та транспортних послуг, яка, в свою чергу, використовується в ході планування транспортних процесів логістичних компаній. Ефективній організації бізнес-процесів бірж присвячена низка робіт, серед яких [5-9].

Робота [5] присвячена проблемам удосконалення бізнес-моделей бірж вантажоперевезень. Надано огляд найбільш розповсюджених платформ, спрямованих на забезпечення обміну вантажними перевезеннями. Паралельно приділена увага їх конкретним функціональним можливостям та використаним бізнес-моделям. Розгорнутий ретроспективний аналіз проведено за матеріалами транспортних бірж Болгарії. Позитивним моментом є проведене узагальнення життєздатних функціонуючих бізнес-моделей та конкретні пропозиції щодо їх подальшого удосконалення. В ході дослідження використані ефективні методології економічного аналізу; в якості математичного інструментарію застосовані технології імітаційного моделювання.

В [6] розкриваються проблемні питання, притаманні функціонуванню транспортних бірж ЄС. В якості «вузького місця» підкреслюється орієнтованість бірж на окремі види транспорту, що дуже гальмує створення ефективної системи співставлення попиту й пропозиції на мультимодальні послуги. В роботі пропонується модель зростання зрілості для прискорення впровадження мультимодальних онлайн-обмінів. Позитивним елементом дослідження є проведення порівняльного аналізу онлайн-бірж, узагальнених за новою таксономією. Це сприяє ґрунтовному співставленню реальних практик їх роботи, зокрема, в галузі мультимодальних послуг. Інформаційною базою стали дані окремих тематичних

досліджень, веб-сайтів бірж та полуструктуровані ітерв'ю. Водночас, зістається значне коло питань, пов'язаних з реальною спроможністю бірж ефективно забезпечувати мультимодальні обміни, особливо, інтегрувати залізничні та автомобільні вантажні перевезення. Згідно з цим, запропонована модель потребує значного тестування на практиці.

Роль біржі вантажоперевезень, як джерела знань для логістичних компаній, висвітлюється в [7]. Авторами здійснено дослідження широкого кола малих та середніх транспортних компаній, що функціонують як суто в межах Польщі, так і здійснюють міжнародні перевезення. Проведено порівняльний аналіз планування транспортних процесів з використанням та без використання транспортної біржі. Згідно з цим визначено алгоритм прийняття рішень в області підготовки транспортного процесу, інформаційною базою якого є структурування та систематизація відповідних знань. В роботі підкреслено значення управління знаннями на тлі цифровізації. Здійснений в роботі комплексний аналіз може розглядатися, на наш погляд, як етап формування бази знань з наступним використанням в межах оболонок експертних систем (чітких або нечітких). Розробка й застосування таких систем були б доцільні на рівні логістичної галузі та/або окремих логістичних компаній.

Робота [8] присвячена проблемі забезпечення рівноваги вантажоперевезень через транспортну біржу. На відміну від існуючих моделей дослідники зосереджуються на взаємодії між окремими операторами транспортних засобів, які є конкурентами за грузи, що представлені на онлайн-біржі перевезень. Запропонована модель та алгоритм прийняття рішень перевірялися на значному фактичному матеріалі: емпіричні дані для експериментів були зібрані в Китаї. Розробники доводять, що отримані результати значно перевищили рішення, що приймалися за традиційним підходом.

Викликає інтерес порівняльний аналіз електронних бірж вантажних перевезень в США та Європі, здійснений з використанням багатокритеріального методу прийняття рішень «Promethee» [9]. Запропонований авторами оригінальний інструмент, спрямований на визначення сильних та слабких сторін в процесі надання відповідних послуг, може бути використаний в ході прийняття стратегічних рішень щодо розвитку бірж. Прикладне значення представленої роботи полягає також у конкретизації фундаментальної різниці між європейськими та американськими електронними біржами.

Застосуванню агентного моделювання в різних ланках логістичної галузі присвячене певне коло досліджень [10, 11].

Розгорнутий огляд напрямків використання агентних моделей наведено в [10]. Результати проведеного аналізу існуючих розробок надали можливість визначити переваги та недоліки, що існують в застосуванні даного інструментарію. Прикладне застосування агентного підходу в транспортних системах розглядається в межах різних часових діапазонів. Окремо визначаються проблеми оптимізації функціонування транспортних систем з використанням агентних моделей. Позитивним моментом є приділення авторами значної уваги процедурам калібровки та валідації, оцінки адекватності моделей до реальних об'єктів/процесів. Дослідниками також наводяться ґрунтовні рекомендації стосовно застосування сучасних технологій – Big Data та цифрових двійників, як перспективних напрямків подальшого удосконалення логістичних процесів.

На наш погляд, головним внеском даного огляду можна вважати наступне:

- Проаналізовано методологію агентного моделювання з точки зору її пристосування до задач логістичної сфери: наведена базова структура агентних моделей та найбільш розповсюджені інструменти й програмні платформи їх реалізації.
- Представлено основні сучасні модельні додатки, існуючі в логістичній сфері, згруповані за часовим діапазоном, за яким діють агенти. Визначені «вузькі місця» досліджень з точки зору «проробленості» кожного з діапазонів. Акцентовано на доцільності розробки гібридних моделей з метою підвищення ефективності моделювання та оперативності розробок.
- Представлені перспективні напрямки подальшого дослідження агентних моделей.

В ході останніх десяти-п'ятнадцяти років агентне моделювання знайшло прикладне втілення в ході розв'язку багатьох логістичних проблем.

Так, робота [11] присвячена питанням ефективного забезпечення вантажопотоків з точки зору взаємодії між виробничими та споживчими фірмами. Пропонується висхідний підхід до моделювання процесів товарообміну між даними видами фірм. Модель заснована на процесах переговорів та оцінці пропозицій між трьома видами фірм – виробничих, споживчих та транспортних. В основу покладені реальні рішення фірм. Агентне моделювання використовується в ході дослідження поведінкових аспектів різних агентів (фірм) в моделі. Результати не є вичерпними, але, на наш погляд, дуже корисні на подальших етапах моделювання транспорту.

Моделюванню діяльності транспортно-експедиторських підприємств присвячені роботи колективу авторів [12-14].

В [12] представлена імітаційна модель організації роботи транспортно-експедиторського підприємства в ході здійснення мультимодальних перевезень вантажів. Модель реалізована на програмній платформі GPSS World. В моделі враховані тривалість виконання бізнес-процесів при організації даного виду перевезень, а також можливість виникнення помилок та затримок обслуговування. Позитивним результатом прикладної експлуатації моделі є відпрацювання альтернативних варіантів маршрутів, що відповідають потребам конкретних замовників.

В [13] наведена імітаційна модель транспортно-експедиторського підприємства по організації міжнародних автомобільних вантажоперевезень. Побудована в середовищі системи GPSS World, модель спрямована на оптимізацію організаційних та управлінських процесів в ході співпраці з замовниками відповідних послуг. Результати модельних експериментів дозволяють визначити головні кінцеві показники функціонування підприємства та характеристики рівня обслуговування різних категорій замовників.

Розв'язання задач автомобільних вантажоперевезень продовжено дослідниками в роботі [14], де постають питання підбору перевізників згідно вимогам конкретних клієнтів щодо експорту товарів. Побудована імітаційна модель дозволяє поглибити результати досліджень, представлених в [13]. Кінцеві показники ефективності надання транспортно-експедиторських послуг роблять вибір контрагентів доцільним та ґрунтовним.

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

В ході співпраці логістичних компаній з транспортними біржами замовники висувають власні вимоги стосовно обсягів вантажів, тривалості перевезення як за кілометражем (пункт призначення, маршрут доставки), так і за часом (строки доставки); особливі вимоги, пов'язані з операціями транспортування і зберігання вантажів та ін. Менеджери біржи пропонують варіанти задоволення вимог потенційних клієнтів.

Наведені операції забезпечення співпраці учасників логістичного процесу пов'язані з часовими обмеженнями. Тобто, оперативність процесу встановлення співпраці потенційних клієнтів та перевізників відіграє при цьому майже вирішальну роль.

Це потребує швидкого прийняття управлінських рішень, а в даному контексті – забезпечення використання дійових інструментів підтримки прийняття відповідних рішень.

Для пошуку перевізників для клієнтів використовуються також тендери, як електронні торговельні платформи. На конкурсній основі (згідно з конкретними вимогами клієнтів) обираються організації-перевізники. Співпраця вантажовласників (замовників) може бути організована на постійній основі (на тривалий час; на перевезення значних обсягів вантажів) або мати одноразовий характер. Оголошення стосовно тендерів виставляються на офіційних сайтах компаній-замовників або на спеціалізованих платформах. Доречі, державні торги здійснюються за допомогою системи ProZorro.

Клієнтами можуть бути також застосовані різноманітні комерційні пропозиції.

Згідно з наведеним та особливостями застосування апарату імітаційного моделювання здається доречним побудова моделі-тренажера для відпрацювання управлінських рішень, пов'язаних з моніторингом логістичною компанією транспортних бірж.

*Метою статті є представлення імітаційної моделі процесів співпраці логістичної компанії з транспортною біржою на задану експериментатором перспективу.*

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Постановка визначеної задачі в узагальненому вигляді може бути представлена наступним чином.

Логістична компанія отримує ряд замовлень. Кожний замовник висуває конкретні вимоги, як правило, пов'язані з обсягами вантажу, відстанями (кілометражем) та терміном доставки, прийнятними тарифами. Замовник може також висувати спеціальні, притаманні саме йому, вимоги.

Клієнти стають у чергу на оброблення замовлень логістичною компанією. Якщо компанія має потенційно велике коло клієнтів та енергійно працює на ринку, може виникнути значна черга. Внаслідок цього передбачена ситуація, коли замовники не можуть дочекатися обробки та залишають логістичну компанію, звертаючись до конкурентів. Звісно, при цьому компанія втрачає клієнтів і відповідний дохід.

В результаті обробки замовлень всі отримані компанією замовлення розбиваються за наступними ознаками:

- Обсяги вантажів: значний та незначний вантаж. Межа (стосовно незначного або значного обсягу) встановлюється параметрично за конкретними ситуаціями (згідно конкретній логістичній компанії та замовників).
  - Відстані перевезень: тривалі та короткі маршрути. Відстань також може встановлюватися в моделі параметрично.
- Таким чином, за наведеними ознаками формуються чотири групи замовлень наступного типу:
- Значний вантаж на тривалу відстань (група 1).
  - Значний вантаж на коротку відстань (група 2).
  - Незначний вантаж на тривалу відстань (група 3).
  - Незначний вантаж на коротку відстань (група 4).

Кадровий ресурс логістичної компанії задається як параметр.

Процеси розгляду та оформлення замовлень відтворюються в моделі на деталізованому рівні, з використанням подієво-дискретної парадигми імітації (клас Main).

В межах відповідних процесів просуваються замовники/замовлення, як елементи, що рухаються та мають специфічні властивості. Замовники/замовлення інтерпретуються як агенти класу Замовник. Параметри класу наведені на рис. 1. Загальний вигляд моделі наведено на рис. 2.

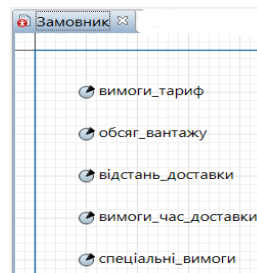


Рисунок 1. Параметри агентів класу Замовник  
Джерело: власна розробка автора

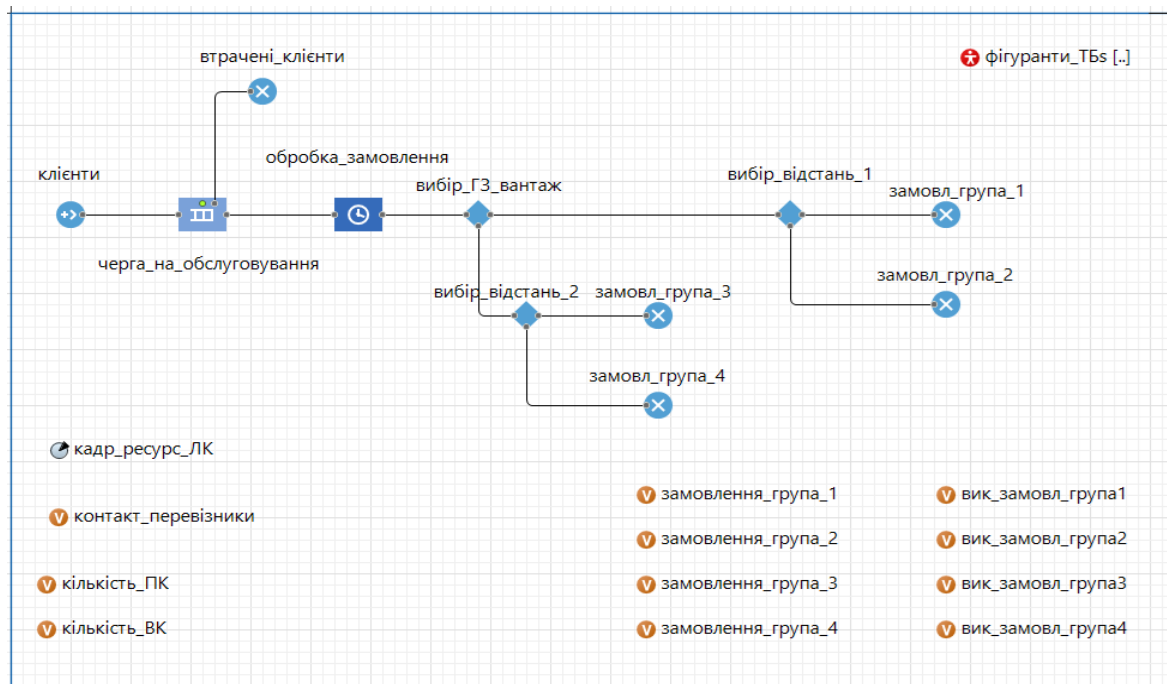


Рисунок 2. Загальний вигляд моделі: клас Main  
Джерело: власна розробка автора

Логістична компанія в результаті оброблення замовлень (отримання фактичних клієнтів) здійснює постійний моніторинг наявності на транспортній біржі перевізників, які відповідають вимогам, наданим клієнтами. На біржі діють перевізники, які в свою чергу, представляють перелік параметрів, що характеризують їх можливості.

Перевізники в нотаціях моделі також є елементами, що рухаються, мають власну поведінку та характеризуються конкретними параметрами. Згідно з наведеними ознаками вони теж інтерпретуються, як агенти.

В моделі створена популяція агентів **фігуранти\_ТБs [...]**, що означає фігурантів транспортної біржі (ТБ). Розмір популяції встановлюється залежно від «ємності» біржі, тобто згідно з максимальною чисельністю перевізників, які на ній працюють. Ємність легко налаштовується згідно конкретним умовам існування біржі.

Процеси встановлення відношень співпраці клієнтів (замовників) та перевізників в результаті моніторингу транспортної біржі реалізовані за допомогою агентної парадигми в межах класу «фігуранти\_ТБ». Загальний вигляд відповідного модельного блоку наведений на рис. 3.

Взаємодія логістичної компанії з перевізниками (фігурантами транспортної біржі) реалізована у вигляді стейтчарта. Поведінка агентів відображена за допомогою низки станів, в яких знаходяться агенти, та переходів між ними, що визначені за конкретними алгоритмами. Як видно з рис. 3, агенти знаходяться у наступних станах:

- Потенційні фігуранти транспортної біржі (потенційні\_фігуранти\_ТБ): кількість перевізників, які функціонують на ринку логістичних послуг та зареєстровані на біржі (ємність популяції агентів). Мається на увазі потенційна кількість перевізників.
- Контакт з логістичною компанією (контакт\_ЛК). До цього стану агенти-перевізники переходять зі стану потенційних фігурантів транспортної біржі за конкретним алгоритмом згідно встановленим в

моделі ситуаціям (можуть змінюватися за визначенням експериментатора). До цього ж стану агенти можуть потрапляти і в інший спосіб: узагальнено, при невиконанні умов, що перевіряються нижче. Зміст знаходження у наведеному стані – спілкування логістичної компанії з перевізниками, які вільні на даний час та пропонують власні послуги клієнтам. Число контактів фіксується у змінній «контакт\_перевізники» з класу Main (рис. 25).

- Стани «перевізнак\_група1», «перевізнак\_група2», «перевізнак\_група3», «перевізнак\_група4» відображають перевізників, знайдених для перевезення вантажів за всіма чотирма групами замовлень. Перехід у ці стани здійснюється в результаті перевірки ступеня відповідності пропозицій вимогам, що висуваються клієнтами логістичної компанії.

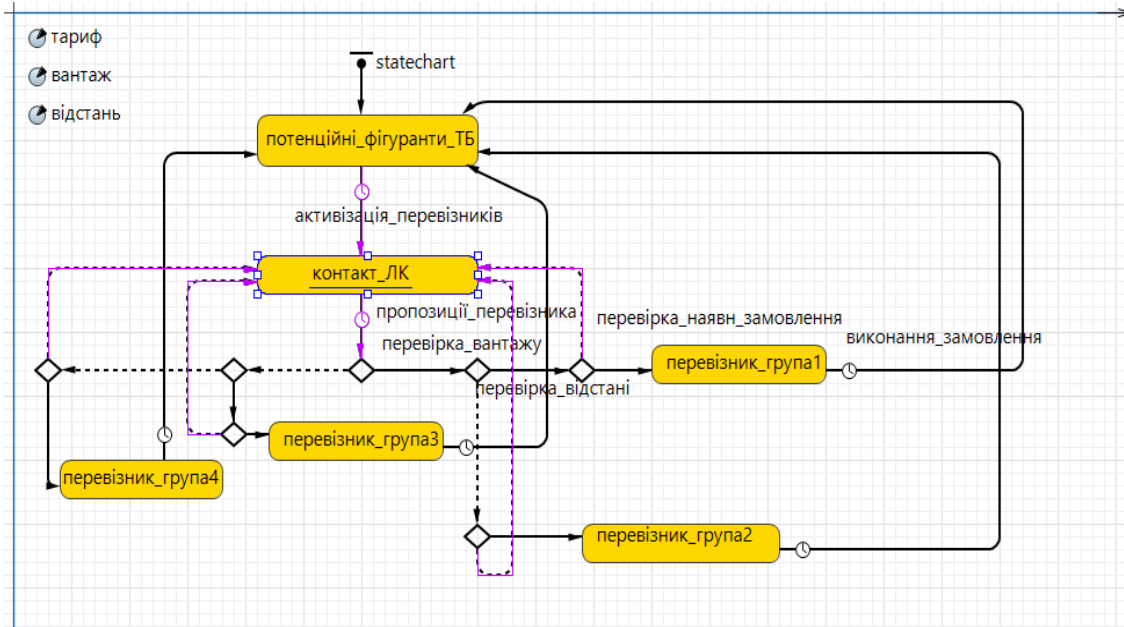


Рисунок 3. Загальний вигляд модельного блоку «фігуранти\_ТБ»: фігуранти транспортної біржі  
Джерело: власна розробка автора

На переході «пропозиції\_перевізника» генеруються основні пропозиції перевізника, які він пропонує на транспортній біржі. Після генерації пропозицій перевізників здійснюється серія перевірок, щоб встановити, яким групам замовлень вони відповідають. Якщо замовлення конкретних груп наявні, забезпечується ангажування перевізника для їх виконання.

Виконання замовлення триває деякий час, тому відтворюється часова затримка, впродовж якої перевізник доставить вантажі до пункту призначення. Після цього перевізник стає вільним і знов стає потенційним перевізником, готовим до роботи. В діаграмі стану це забезпечується переходом до стану «потенційні\_фігуранти\_ТБ».

Якщо перевірка параметрів перевізника проходить відповідні стадії та дозволяє віднести його до однієї з груп замовлень, але на поточний час у логістичної компанії не має активних клієнтів даної групи, перевізник вважається вільним і одразу ж переходить до стану «контакт\_ЛК». Тобто, у поточний час цей перевізник не може співпрацювати з даною логістичною компанією. Однак, переходячи до активної групи він може бути потенційно необхідним або іншій компанії, або наступної миті стати необхідним для даної компанії, встановивши з нею відношення співпраці.

Таким чином, процес встановлення співпраці досліджуваної логістичної компанії з транспортною біржою показано як циклічний. Дійсно, модельний час в ході імітації рухається практично безперервно, а моніторинг ринку логістичних послуг також повинен бути перманентним за своєю природою. Тому фактично приходимо до майже циклічного процесу пошуку перевізників, прийнятних для наявних клієнтів.

Можливості паралельної реалізації в одній моделі різних процесів як раз і призводить до відтворення функціонування досліджуваних об'єктів/процесів/явищ максимально наближено до реальності.

Паралельне застосування в моделі роботи логістичної компанії (з приводу прийняття клієнтів, оброблення й класифікації замовлень) та транспортної біржі стає можливим завдяки використанню поряд з агентною дискретно-подієвою парадигмою імітації. Завдяки наявності різних класів агентів та їх просування у часі і стає можливим відтворення роботи транспортної біржі в динаміці.

В даному випадку транспортна біржа розглянута з точки зору пошуку перевізників для потенційних клієнтів логістичної компанії. Надходження самих клієнтів до компанії генерується як стохастичний потік у часі. Але можливий і інший підхід к використанню транспортної біржі, де за допомогою суто агентної нотації можливо відтворення процесу знаходження клієнтів логістичною компанією.

Можливим є і третій варіант з використанням агентного підходу. Пошук як замовників, так і перевізників логістичною компанією з наступним поєднанням їх для реалізації логістичних процесів.

Імітаційні експерименти на представленій моделі проводилися за матеріалами конгломерату логістичних компаній Grant Logistic Group, що належить до Third Party Logistics та надає комплексні 3PL послуги [15]. Ситуаційні експерименти, результати яких наведені нижче, є складовою загальних досліджень з економічної діагностики діяльності логістичних компаній, зокрема Grant Logistic Group [16, 17].

На моделі процесів співпраці логістичної компанії з транспортною біржою доведемо можливості моніторингу біржі з боку компанії з метою знаходження перевізників, відповідних вимогам клієнтів-замовників.

Відповідно до цього розглянемо різноманітні комбінації пропозицій перевізників та вимог клієнтів. Пропозиції та замовлення генеруються в моделі як стохастичні величини (в даному прикладі обрано рівномірний закон розподілу uniform()). Змінюючи діапазон генерації, розглянемо кінцеві результати експериментів. Значення діапазонів, що генеруються, зведені у таблицю 1 та згруповані за номерами експериментів / ситуацій. Нижче наводяться отримані результати з відповідними коментарями.

Таблиця 1. Параметри експериментів: умовні дані

№ Експ	Пропозиції перевізника			Пропозиції замовника		
	Тариф грн. на 1 тонно/ км.	Вантаж (т.)	Відстань (км.)	Тариф грн. на 1 тонно/ км.	Вантаж (т.)	Відстань (км.)
1	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,2500)	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,1500)
2	uniform(4,8)	uniform(500,2000)	uniform(100,2500)	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,1500)
3	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,1200)	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,1500)
4	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,500)	uniform(4,8)	uniform(500,3000)	uniform(100,1500)

Джерело: власна розробка автора

Ситуація 1.

Діапазони генерації параметрів як пропозицій перевізників та пропозицій замовників практично співпадають. Крок імітації – день; терміни імітації – місяць та квартал (90 днів).

Результати експериментів наведені на рис. 4-5. По осі X представлено час – 30/90 днів; ось Y – кількість замовлень.

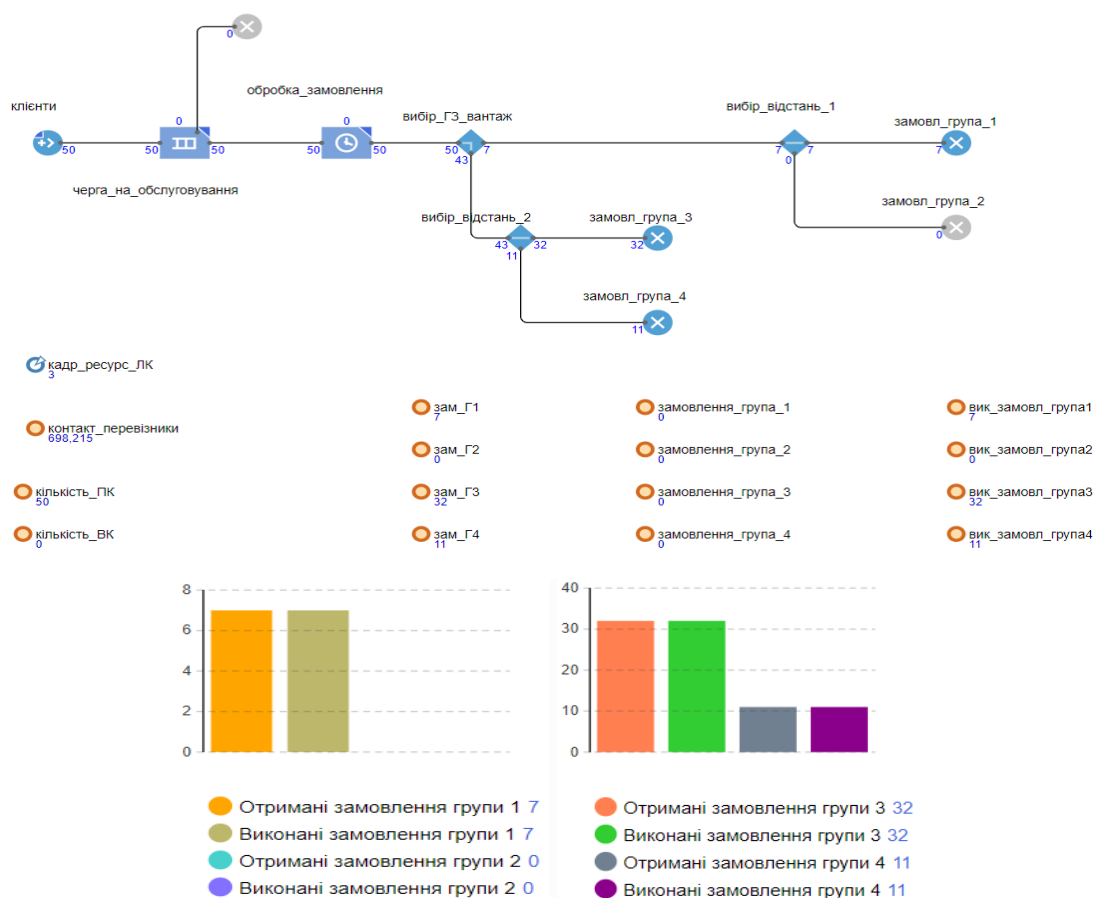


Рисунок 4. Ситуація № 1 : Крок імітації – день, термін – місяць

Джерело: власна розробка автора

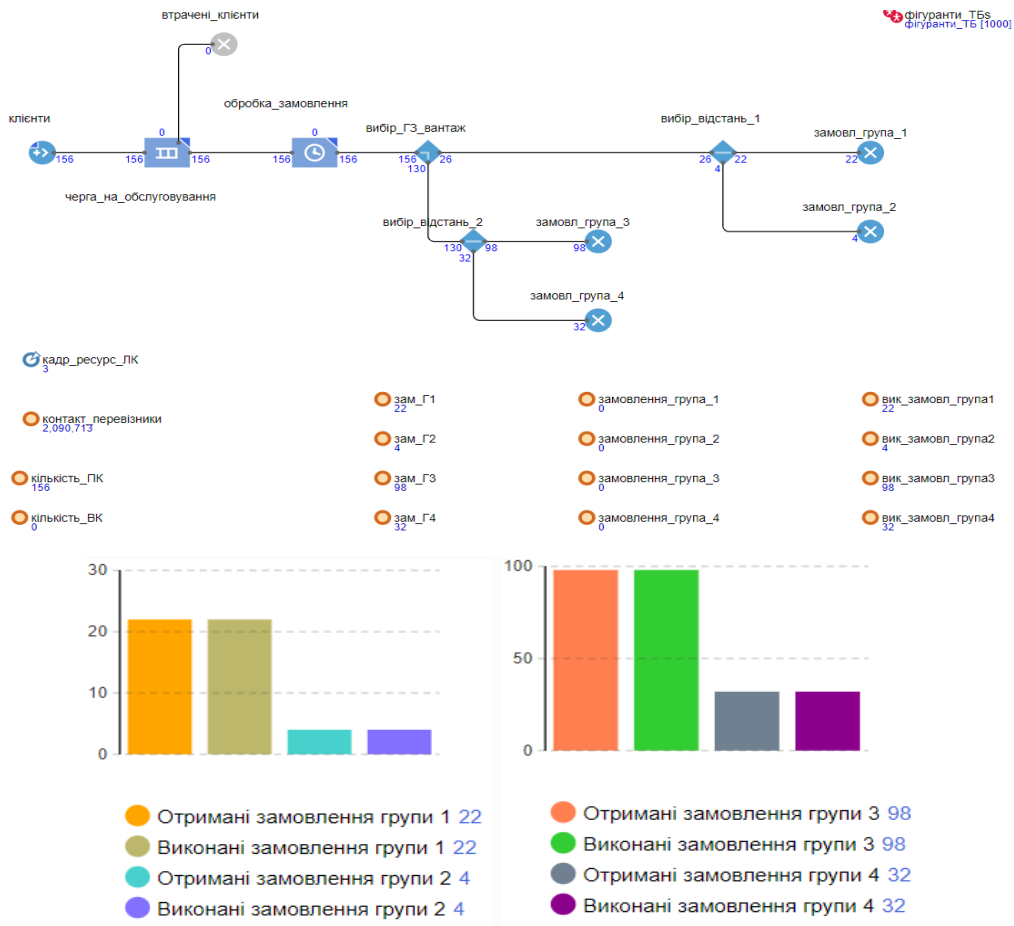


Рисунок 5. Ситуація № 1: Крок імітації – день, термін – квартал (90 днів)  
Джерело: власна розробка автора

Як видно з отриманих результатів, всі замовлення, що надійшли до логістичної компанії, були задоволені. При цьому, фактично нульовим (за місячний період) є напрямок за групою 2: значний вантаж, коротка відстань. Впродовж кварталу він демонструє теж незначну кількість замовлень – всього 4.

Найбільшою популярністю користуються маршрути за групою 3 та групою 4. Тобто клієнти здебільшого звертаються стосовно перевезень вантажів менше 2500 т. на тривалі (група 3) та короткі (група 4) маршрути.

Число контактів менеджерів-логістів компанії з фігурантами транспортної біржі є значним як впродовж місячного періоду (698), так і впродовж кварталу (2090), що свідчить про трудомісткість операцій моніторингу пропозицій на ринку логістичних послуг (в даному випадку – пропозицій перевізників).

Ситуація 2.

Змінено/знижено верхню межу генерації обсягів вантажів з боку перевізників. Тобто, потенційно перевізники пропонують перевезення менших вантажів, що можуть запросити замовники. Інші параметри зістаються без змін. Основні результати представлені на рис. 6. По осі X представлено час – 90 днів; ось Y – кількість замовлень.



Рисунок 6. Ситуація № 2 : Крок імітації – день, термін – квартал (90 днів)  
Джерело: власна розробка автора

Як видно з наведених даних, картина суттєво змінюється стосовно перевозок за групами 1 та 2. Ні одне з цих замовлень не виконано, тобто перевізника протягом часу імітації не знайдено. При продовженні терміну прогону до 120 днів ситуація зберігається: навіть суттєве збільшення контактів компанії з фігурантами транспортної біржі (2810) не сприяє знаходженню необхідних перевізників.

Таким чином, компанія може визначитися з вантажами та маршрутами, на які треба виводити власний транспорт, щоб не втрачати клієнтів.

Ситуація 3.

При збереженні первинних пропозицій перевізника щодо вантажу але при зменшенні відстані (скороченні маршрутів) на 300 км всі замовлення знов задовольняються – рис. 7. По осі X представлено час – 90 днів; ось Y – кількість замовлень.



Рисунок 7. Ситуація № 3 : Крок імітації – день, термін – квартал (90 днів)

*Джерело: власна розробка автора*

Число контактів компанії з фігурантами транспортної біржі при цьому зменшується, тобто знайти перевізника стає значно легше.

Ситуація 4.

Найгірша з наведених раніше ситуацій спостерігається за умов експерименту 4, коли перевізники зменшують верхню межу відстані, на яку здійснюють перевезення, до 500 км. При переважній чисельності на транспортній біржі саме такого типу фігурантів маємо наступні результати – рис. 8. По осі X представлено час – 90 днів; ось Y – кількість замовлень.

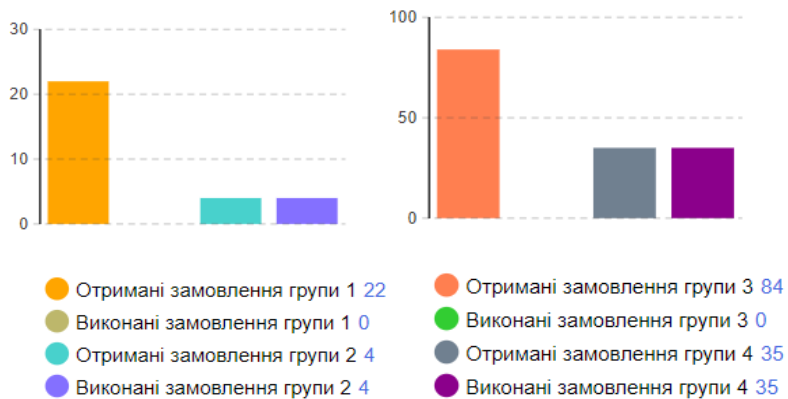


Рисунок 8. Ситуація № 4 : Крок імітації – день, термін – квартал (90 днів)

*Джерело: власна розробка автора*

Як видно з рисунку, найзначніші втрати спостерігаються за групою 3 (найбільш пріоритетна група клієнтів компанії) та групою 1. Остання, хоча і значно менша за чисельністю клієнтів, представляє собою значимий сектор перевезень для компанії – промислові підприємства, великі фірми зі значними вантажами на значні відстані.

Тобто, зрушення пропозицій перевізників у бік скорочення маршрутів перевезень має більш суттєвий вплив, ніж зниження пропозицій стосовно обсягів вантажів.

В наведених експериментах варіації підлягали пропозиції перевізників на транспортній біржі. Водночас, можливо проведення широкого спектру експериментів з паралельною варіацією замовлень клієнтів логістичної компанії. Завдяки цьому, залежно від конкретних умов функціонування можна визначитися зі спектром пріоритетних замовників та нішею роботи компанії на ринку логістичних послуг.

## Висновки

Модель моніторингу транспортної біржі представлена в процесі реалізації співпраці логістичної компанії з перевізниками з приводу перевезення та експедирування конкретних обсягів вантажів.

Модель побудована на базі агентної парадигми імітації з додатковим залученням дискретно-подієвого підходу та реалізована на базі програмної платформи системи багатопідходного моделювання AnyLogic. Отримані експериментальні результати доводять можливості моделі, як тренажера для прийняття управлінських рішень на різноманітну часову перспективу, встановлену користувачем.

В системі не існує обмежень на кількість експериментів; є можливість налаштування (за необхідністю) різних типів експериментів. Завдяки наведеному стає можливим відпрацювання на модельному тренажері різних бізнес-ситуацій, що можуть скластися в процесі функціонування логістичної компанії.

Модульність та відкритість моделі, а також притаманні агентній парадигмі гнучкість в налаштуванні поведінки агентів та модифікації їх взаємозв'язків свідчать про можливості пристосування модельного тренажера до реалій конкретних логістичних компаній. Наведене доводить достатню типовість запропонованого тренажера згідно специфіці функціонування логістичної галузі.

## Abstract

The logistics industry is one of the significant infrastructural components of the Ukrainian economy. An important modern trend in its development is the introduction of digitalization and automation of business processes related to transport management, warehouses, supply chains, etc. The introduction of innovative technologies and the use of Big Data in analysis processes is relevant for logistics companies. The use of generative artificial intelligence (genAI), machine learning, neural networks (Deep learning) and numerous cloud platforms is being promoted. The increase in the role of management decision support systems is due to the need to ensure speed, transparency of offers, reliable and easy access to the functionaries of the logistics services market. A review of numerous professional sources indicates an expansion of the range of problems that require the use of non-standard approaches, flexible mathematical tools. The expediency of developing simulation models-simulators for the operational development of various managerial decisions for a given time perspective is proved. The creation of industrial simulation models-simulators, along with the development of the general methodology of the method, is facilitated by the emergence of powerful software platforms for the implementation of model experiments, such as the AnyLogic and ARENA systems. The use of the simulation modeling apparatus in the management decision support system by logistics companies is shown on the example of the processes of monitoring transport exchanges. A model of cooperation between a logistics company and a transport exchange for the perspective set by the experimenter is presented.

The possibilities of monitoring the exchange by the company in order to find carriers that meet the requirements of customers are proved. The model is implemented in agent-based modeling notations with additional involvement of the discrete-event simulation paradigm. The analysis of the features of agent-based modeling allows us to conclude that they correspond to the essence of dynamic decisions occurring in the control system of the processes under study. The developed model is implemented on the software platform of multi-approach simulation modeling AnyLogic. The functioning of the model is illustrated by fragments of simulation experiments based on the materials of the logistics company Grant Logistic Group. Modularity, openness of the model, as well as the flexibility inherent in the agent paradigm in adjusting the behavior of agents and modifying their relationships allow us to reproduce various business situations. The model simulator can be adapted to the realities of specific logistics companies.

## Список літератури:

1. Аналіз ринку логістики в Україні у 2024 році. //Матеріали Impulse Consulting. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.impulse-consulting.com.ua/analiz-rynku-logistyky-v-ukrayini-u-2024-roci>.
2. Компанія Хаскі: тренди логістики в 2025 році. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://haski.ua/blog/trendy-logistyky-v-2025-rocz>.
3. Тренди логістики в 2025 році: чого очікувати бізнесу в Україні? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mintrans.news/logistics/trendi-v-log%D1%96sticz%D1%96-na-2025-r%D1%96k-cho-go-och%D1%96kuvati-b%D1%96znesu-v-ukra%D1%97n%D1%96>.
4. Website The AnyLogic company. Retrieved from: <http://www.anylogic.com>.
5. Nikolova C. (2023). Improving freight exchange business models – considerations and recommendations. Yearbook of UNWE. volume 61. Issue 1. 2023. Retrieved from: <https://ssrn.com/abstract=5189370>.
6. Anuradha Jain, Rob van der Heijden, Vincent Marchau, Dirk Bruckmann (2020). Towards Rail-Road Online Exchange Platforms in EU-Freight Transportation Markets: An Analysis of Matching Supply and

- Demand in Multimodal Services // Special Issue Innovation and Technology Management and Sustainability. 2020, 12(24), 10321. DOI: 10.3390/su122410321.
7. Sałek Robert, Wiśniewska-Sałek Anna (2024). The Role of the Freight Exchange in Knowledge Management of the Logistics Company // Proceedings of the 25th European Conference on Knowledge Management, ECKM 2024, pp. 710-718. DOI: 10.34190/eckm.25.1.2517.
  8. John Miller, Yu (Marco) Nie (2020) Dynamic trucking equilibrium through a freight exchange // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Volume 113, April 2020, Pages 193-212. DOI: 10.1016/j.trc.2019.05.026.
  9. Witkowski Jarosław, Marcinkowski Jakub, Kiba-Janiak Maja (2020). A Comparative Analysis of Electronic Freight Exchanges in the United States and Europe with the Use of the Multiple Criteria Decision-Making Method "Promethee". // European Research Studies Journal Volume XXIII, Special Issue 1, 2020. Pp. 476-487. Retrieved from: <https://ersj.eu/journal/1916>.
  10. Jiangyan Huang, Youkai Cui, Lele Zhang, Weiping Tong, Yunyang Shi, Zhiyuan Liu (2022). An Overview of Agent-Based Models for Transport Simulation and Analysis. // Journal of Advanced Transportation. Volume 2022, Article ID 1252534, 17 pages. DOI: 10.1155/2022/1252534.
  11. Abeda O., Bellemansa T., Janssensb Gerrit K., Davy Janssens D., Yasara Ansar-Ul-Haque, Wetsa G. (2015). An Agent Based Simulated Goods Exchange Market; A Prerequisite For Freight Transport Modeling. // The 6th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2015). Procedia Computer Science 52 (2015) 622-629 pp. DOI: 10.1016/j.procs.2015.05.054.
  12. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Mykhailenko, I., Yelnikova, L., & Tihov, O. (2024). Construction of a simulation model of the work of a transport and forwarding enterprise in organizing multimodal cargo transportation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(3 (132)), 6-16. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316568.
  13. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Medvediev, I. et al. (2023). Development of a simulation model of the activities of a transport and forwarding enterprise in the organization of international road cargo transportation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (3 (126)), 6-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291039.
  14. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Halona, I., Kovtsur, K. et al. (2024). Selecting a transport and forwarding company for meeting a customer's needs when organizing international road cargo transportation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (3 (129)), 55-66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305238.
  15. Офіційний сайт Grant Logistic Group. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://trade.master.ua/company/grand-logistic/page/o\\_kompanii/0](https://trade.master.ua/company/grand-logistic/page/o_kompanii/0).
  16. Соколовська З.М. (2024) Імітаційні моделі фармацевтичної логістики. // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. 2024. № 4 (74). С. 99-110. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11 DOI: 10.5281/zenodo.13851959.
  17. Соколовська З.М. (2025) Гібридні імітаційні моделі в процесах підтримки прийняття управлінських рішень. // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. 2025. № 3 (79). С. 120-131. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/files/archive/2025/No3/120.pdf> DOI: 10.15276/ETR.03.2025.12 DOI: 10.5281/zenodo.15750464.

## References:

1. Adamovych, K.S. (2024). Analysis of the logistics market in Ukraine in 2024. Impulse Consulting. Retrieved from: <https://www.impulse-consulting.com.ua/analiz-rynku-logistyky-v-ukrayini-u-2024-roci> [in Ukrainian].
2. Husky Company. (2025). Logistics trends in 2025. Retrieved from: <https://haski.ua/blog/trendy-logistyky-v-2025-roczu> [in Ukrainian].
3. Logistics trends in 2025: What should businesses in Ukraine expect? (2025). Retrieved from: <https://min.trans.news/logistics/trendi-v-log%D1%96sticz%D1%96-na-2025-r%D1%96k-chogo-och%D1%96kuva-ti-b%D1%96znesu-v-ukra%D1%97n%D1%96> [in Ukrainian].
4. The AnyLogic Company. (n.d.). Official website. Retrieved from: <http://www.anylogic.com> [in English].
5. Nikolova, C. (2023). Improving freight exchange business models: Considerations and recommendations. Yearbook of UNWE, 61(1). Retrieved from: <https://ssrn.com/abstract=5189370> [in English].
6. Jain, A., van der Heijden, R., Marchau, V., & Bruckmann, D. (2020). Towards rail-road online exchange platforms in EU-freight transportation markets: An analysis of matching supply and demand in multimodal services. Sustainability, 12(24), 10321. DOI: 10.3390/su122410321 [in English].
7. Sałek, R., & Wiśniewska-Sałek, A. (2024). The role of the freight exchange in knowledge management of the logistics company. In Proceedings of the 25th European Conference on Knowledge Management (ECKM 2024) (pp. 710-718). DOI: 10.34190/eckm.25.1.2517 [in English].

8. Miller, J., & Nie, Y. (M.). (2020). Dynamic trucking equilibrium through a freight exchange. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 113, 193-212. DOI: 10.1016/j.trc.2019.05.026 [in English].
9. Witkowski, J., Marcinkowski, J., & Kiba-Janiak, M. (2020). A comparative analysis of electronic freight exchanges in the United States and Europe with the use of the multiple criteria decision-making method "Promethee". *European Research Studies Journal*, 23(Special Issue 1), 476-487. Retrieved from: <https://ersj.eu/journal/1916> [in English].
10. Huang, J., Cui, Y., Zhang, L., Tong, W., Shi, Y., & Liu, Z. (2022). An overview of agent-based models for transport simulation and analysis. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, Article 1252534. DOI: 10.1155/2022/1252534 [in English].
11. Abeda, O., Bellemans, T., Janssens, G. K., Janssens, D., Ansar-Ul-Haque, Y., & Wets, G. (2015). An agent-based simulated goods exchange market: A prerequisite for freight transport modeling. In *The 6th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2015)* (pp. 622–629). *Procedia Computer Science*, 52. DOI: 10.1016/j.procs.2015.05.054 [in English].
12. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Mykhailenko, I., Yelnikova, L., & Tihov, O. (2024). Construction of a simulation model of the work of a transport and forwarding enterprise in organizing multimodal cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(132)), 6-16. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316568 [in English].
13. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Medvediev, I., et al. (2023). Development of a simulation model of the activities of a transport and forwarding enterprise in the organization of international road cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(126)), 6-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291039 [in English].
14. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Halona, I., Kovtsur, K., et al. (2024). Selecting a transport and forwarding company for meeting a customer's needs when organizing international road cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3(129)), 55-66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305238 [in English].
15. Grant Logistic Group. (n.d.). Official website. Retrieved from: [https://trademaster.ua/company/grand-logistic/page/o\\_kompanii/0](https://trademaster.ua/company/grand-logistic/page/o_kompanii/0) [in Ukrainian].
16. Sokolovska, Z. M. (2024). Simulation models of pharmaceutical logistics. *Economics: Time Realities*, 4(74), 99-110. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11. DOI: 10.5281/zenodo.13851959 [in Ukrainian].
17. Sokolovska, Z. M. (2025). Hybrid simulation models in managerial decision support processes. *Economics: Time Realities*, 3(79), 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 [in Ukrainian].

**Посилання на статтю:**

Соколовська З.М. Агентне моделювання в системі підтримки управлінських рішень логістичної компанії / З.М. Соколовська // *Економічний журнал Одеського політехнічного університету*. – 2025. – № 4 (34). – С. 111-122. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/ejopu/2025/No4/111.pdf>. DOI: 10.15276/EJ.04.2025.12. DOI: 10.5281/zenodo.18068716.

**Reference a Journal Article:**

Sokolovska Z.M. Agent-Based Modeling in the Management Decision Support System of a Logistics Company / Z.M. Sokolovska // *Economic journal Odesa polytechnic university*. – 2025. – № 4 (34). – P. 111-122. – Retrieved from: <https://economics.net.ua/ejopu/2025/No4/111.pdf>. DOI: 10.15276/EJ.04.2025.12. DOI: 10.5281/zenodo.18068716.

