

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-91-42>

УДК 656.073:004.942

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ КРАУДЛОГІСТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДОСТАВКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ» В УМОВАХ ЕКОНОМІКИ СПІЛЬНОГО СПОЖИВАННЯ

SIMULATION MODELING OF A DIGITAL CROWD-LOGISTICS «LAST-MILE» DELIVERY PLATFORM IN THE SHARING ECONOMY

Якуб Євген Соломонович

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій,
Одеський національний економічний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1103-1393>

Фомічов Дмитро Михайлович

аспірант,
Одеський національний економічний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9943-8232>

Yakub Eugene, Fomichov Dmytro

Odesa National Economic University

У статті досліджено напрями трансформації цифрових платформ з метою оптимізації логістичної діяльності в умовах економіки спільного споживання на прикладі краудшипінгу – доставки «останньої милі» силами приватних виконавців. Розроблено агентну імітаційну модель гібридної платформи міської кур'єрської доставки у середовищі AnyLogic 8 PLE з використанням діаграм станів агентів та ГІС-карти міста. Проведено імітаційні експерименти для трьох сценаріїв організації доставки. Встановлено, що підключення крауд-виконавців скорочує середній час доставки на 27,5 %, підвищує частку вчасних доставок з 78,4 % до 94,1 % та зменшує питомі витрати на одну доставку на 18,9 %, проте ефект критично залежить від досягнення «критичної маси» активних виконавців. Обґрунтовано придатність агентного моделювання як інструменту підтримки рішень під час трансформації логістичних платформ.

Ключові слова: економіка спільного споживання, шерингова економіка, краудлогістика, краудшипінг, цифрова платформа, логістика «останньої милі», агентне моделювання, імітаційне моделювання, AnyLogic.

The article investigates the directions of digital platform transformation aimed at optimising logistics activity under the conditions of the sharing economy. The relevance of the study is determined by the rapid growth of e-commerce and the increasing share of last-mile delivery in total logistics costs, which, according to recent estimates, has risen from 41 % to 53 % of total shipping costs, as well as by the expansion of crowdshipping as a logistics manifestation of the sharing economy, in which private individuals deliver parcels through a digital platform using their own vehicles and incidental routes. The purpose of the article is to develop an agent-based simulation model of a hybrid urban courier delivery system, in which a digital platform combines dedicated couriers of a delivery service and private crowd carriers, and to quantify the effects of such a transformation. The model was built in the AnyLogic 8 Personal Learning Edition multimethod simulation environment using the agent-based approach, agent statecharts and a GIS map of the city. The behaviour of a crowd carrier is described by a statechart with the states of waiting, decision-making, moving to the pickup point and moving to the customer, while the probability of accepting an offered order is set as a model parameter. A series of simulation experiments was carried out for three delivery scenarios: a traditional one relying solely on dedicated couriers, a hybrid one with a high willingness of crowd carriers to accept orders, and a hybrid one with a low willingness. The simulation results showed that connecting crowd carriers through a digital platform reduces the average delivery time by 27.5 %, increases the share of on-time deliveries from 78.4 % to 94.1 % during peak periods and decreases the unit cost per delivery by 18.9 %, mainly due to the

flexible absorption of peak loads and the replacement of fixed labour costs with variable per-delivery payments. At the same time, the experiments quantitatively confirmed the critical dependence of platform efficiency on reaching a critical mass of active carriers: with a low acceptance probability, the advantages of the hybrid model are almost eliminated. The practical value of the results lies in the possibility of using the model as a decision support tool for determining the rational ratio of dedicated and crowd carriers, testing community motivation mechanisms and assessing the consequences of demand changes without risky field experiments.

Keywords: sharing economy, collaborative consumption, crowd logistics, crowdshipping, digital platform, last-mile logistics, agent-based modelling, simulation, AnyLogic.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток електронної комерції докорінно змінив вимоги до міської логістики. Найдорожчим і найскладнішим етапом ланцюга постачання сьогодні є доставка «останньої милі» – переміщення замовлення від останнього логістичного вузла безпосередньо до споживача. За даними Capgemini Research Institute, на «останню милі» припадає близько 41 % сукупних витрат ланцюга постачання, а неоптимальні моделі доставки можуть знижувати прибутковість рітейлерів до 26 % [1]. Дослідження Statista свідчить, що впродовж 2018–2023 років частка «останньої милі» у загальних витратах на транспортування зросла з 41 % до 53 % [2]. Додатковий тиск створюють невдалі спроби доставки: середні прямі втрати від однієї недоставленої посилки оцінюються у 17,78 дол. США, а сукупні втрати роздрібної торгівлі США від збоїв доставки сягають близько 216 млрд дол. на рік [3].

Паралельно з цим у світовій економіці утвердилася модель економіки спільного споживання (sharing economy), в основі якої лежить надання доступу до недовикористовуваних активів через цифрові платформи замість володіння ними. За прогнозом PwC, обсяг п'яти ключових секторів шерингової економіки мав зрости з 15 млрд дол. США у 2013–2014 роках до 335 млрд дол. у 2025 році, тобто більш ніж у 20 разів [4]. Фактична динаміка загалом підтвердила цей прогноз: за актуальними оцінками, глобальний обсяг шерингової економіки у 2025 році становить близько 245 млрд дол. США із щорічним зростанням на рівні 26 % [5].

Перетином цих двох тенденцій стала краудлогістика (crowd logistics) та її різновид – краудшипінг (crowdshipping), за якого приватні особи через цифрову платформу доставляють відправлення інших осіб або компаній, використовуючи власний транспорт і попутні маршрути. Логістична галузь розглядається як одна з найперспективніших для застосування шерингових моделей: за оцінками, наведеними у звіті DHL «Sharing Economy Logistics», приблизно кожна четверта вантажівка на

дорогах США та ЄС рухається порожньою або завантаженою лише наполовину, а цифрові платформи дають змогу миттєво отримувати доступ до цих вільних потужностей [6].

Водночас упровадження краудлогістичних платформ пов'язане зі значною невизначеністю: заздалегідь невідомо, скільки крауд-виконавців буде активними у конкретний момент, яку частку замовлень вони погодяться прийняти та як це вплине на швидкість, надійність і вартість доставки. Проведення натурних експериментів на реальному ринку є дорогим і ризикованим, тому ключовим інструментом обґрунтування рішень щодо трансформації логістичних платформ стає імітаційне моделювання, зокрема агентний підхід, який дає змогу відтворити автономну поведінку окремих учасників системи. Цим зумовлена актуальність теми дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні засади краудлогістики закладено у праці В. Карбон, А. Руке та К. Русса, які визначили краудлогістику як новий спосіб спільного створення логістичної цінності, за якого логістичні операції виконуються «натовпом» приватних осіб, координованим цифровою платформою [7]. Бібліометричний аналіз, виконаний С. Сороошян, показав, що наукові публікації з краудшипінгу з'явилися у 2017 році, різко зросли під час пандемії COVID-19, а з 2020 року у цій царині активно застосовується агентне моделювання, причому фокус досліджень змістився від суто алгоритмічних завдань до системного аналізу та вивчення поведінки учасників [8].

Низка досліджень безпосередньо присвячена імітаційному моделюванню краудлогістичних систем. П. Чен і С. Чанков одними з перших запропонували агентну модель краудсорсингової доставки для розподілу «останньої милі» [9]. У праці Й. Деттерля, Р. Брунса, Й. Дункеля, С. Осовського розроблено агентний симулятор краудшипінгу, у якому крауд-виконавці змодельовані як агенти, що автономно вирішують, чи приймати завдання на доставку, на основі власних планів переміщень [10]. П. Кулкарні та К. Крейчі за допо-

могою агентного моделювання дослідили двосторонню краудлогістичну платформу і показали, що її життєздатність критично залежить від досягнення «критичної маси» учасників з обох сторін – відправників і перевізників, а гетерогенність правил ухвалення рішень агентами суттєво впливає на рівень сервісу та зростання мережі [11]. В іншій роботі Й. Деттерля, Р. Брунса, Й. Дункеля, С. Осовського для підвищення реалістичності агентних симуляторів краудшипінгу використовуються реальні GPS-дані міської мобільності [12]. Імітаційні дослідження Дж. Харамільо також підтверджує, що для реалізації переваг краудсорсингової доставки необхідна її інтеграція з традиційними мережами доставки у гібридну систему міської логістики [13].

Разом з тим у вітчизняній науковій літературі бракує прикладних досліджень, які поєднували б проблематику трансформації цифрових логістичних платформ на засадах економіки спільного споживання з практичним інструментарієм агентного імітаційного моделювання, доступним для широкого кола дослідників і компаній (зокрема, у безкоштовній версії AnyLogic Personal Learning Edition). Саме цю прогалину покликана заповнити пропонована стаття.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний обсяг закордонних публікацій, присвячених краудлогістиці та краудшипінгу, більшість наявних досліджень зосереджені або на теоретичному осмисленні феномену спільного створення логістичної цінності, або на розробленні складних оптимізаційних алгоритмів, що потребують спеціалізованого програмного забезпечення та значних масивів вихідних даних. Малодослідженим залишається питання кількісного обґрунтування управлінських рішень щодо трансформації логістичної діяльності компанії від закритої моделі доставки власним штатом кур'єрів до відкритої платформної моделі із залученням краудвиконавців: заздалегідь невідомо, за якого співвідношення штатних і приватних виконавців та якого рівня їхньої готовності приймати замовлення така трансформація дає вигоду у швидкості, надійності та вартості доставки. У вітчизняній науковій літературі, крім того, бракує прикладних робіт, які поєднували б проблематику цифрових платформ економіки спільного споживання з доступним інструментарієм агентного імітаційного моделювання, придатним для відтворення автономної поведінки учасників двосторонньої платформи та

оцінювання ефекту «критичної маси» виконавців. Це зумовлює потребу в розробленні спрощеної, але адекватної імітаційної моделі гібридної краудлогістичної платформи, яка може бути відкалібрована за даними реальних сервісів доставки.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є розроблення агентної імітаційної моделі гібридної цифрової платформи міської кур'єрської доставки, що поєднує штатних кур'єрів і приватних краудвиконавців на засадах економіки спільного споживання, та кількісне оцінювання за допомогою цієї моделі впливу краудшипінгу на ключові показники ефективності логістики «останньої милі»: середній час доставки, частку вчасних доставок, завантаженість кур'єрів і питомі витрати на одну доставку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Концептуальна схема досліджуваної системи. Об'єктом моделювання є цифрова краудлогістична платформа міської експрес-доставки (за типом сервісів доставки з дарк-сторів та ресторанів), що функціонує в межах умовного міста. У системі взаємодіють чотири типи учасників. По-перше, це відправники (інтернет-магазини, заклади харчування, відділення служби доставки), які генерують потік замовлень. По-друге, це сама цифрова платформа, яка виконує функції диспетчера: приймає замовлення, знаходить найближчого доступного виконавця і призначає йому завдання. По-третє, це штатні кур'єри служби доставки, які працюють за фіксовану оплату зміни і завжди зобов'язані виконувати призначені замовлення. По-четверте, це краудвиконавці – приватні особи, які реєструються на платформі, епізодично виходять «на лінію» у вільний час і самостійно вирішують, приймати чи відхиляти запропоноване замовлення; їхня винагорода нараховується за кожну виконану доставку. Така архітектура відповідає базовій логіці двосторонніх шерингових платформ, описаній у літературі [7; 11].

Трансформація логістичної діяльності у цій схемі полягає у переході від закритої моделі (доставка виключно власним штатом кур'єрів) до відкритої платформної моделі, у якій пікові навантаження «розвантажуються» за рахунок гнучкої спільноти краудвиконавців. Ключове управлінське питання, на яке має відповісти модель: за яких умов (кількість краудвиконавців, їхня готовність приймати замовлення) така трансформація дає вигоду у швидкості та вартості доставки, а за яких – лише ускладнює систему.

Інструментарій та структура імітаційної моделі. Для побудови моделі обрано середовище багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic 8 у безкоштовній редакції Personal Learning Edition (PLE), яка підтримує агентне моделювання, діаграми станів (statecharts), ГІС-карти та вбудовані засоби збирання статистики і є доступною для навчальних та дослідницьких цілей [14]. Використано агентний підхід, оскільки саме він дає змогу природно відтворити автономні рішення крауд-виконавців – центральний елемент краудшипінгу [8; 10].

Модель містить три користувацькі типи агентів. Агент Order (замовлення) характеризується координатами точки забору і точки доставки, часом створення та нормативним часом виконання. Агент Courier (штатний кур'єр) має параметри швидкості руху і фіксованої вартості зміни. Агент CrowdCourier (крауд-виконавець) додатково має параметри ймовірності прийняття запропонованого замовлення (acceptProbability) та відрядної ставки за доставку. Потік замовлень генерується у кореневому агенті Main динамічною подією з експоненційно розподіленими інтервалами; інтенсивність потоку задається параметром orderRate і змінюється за добовим профілем, що імітує обідній та вечірній піки попиту. Просторове середовище реалізовано на ГІС-карті реального міста, на якій розміщено точку базування (склад/дарк-стор) і випадкові адреси клієнтів у радіусі обслуговування.

Поведінка кур'єра описана діаграмою станів, що складається з таких станів: Idle (очікування замовлення), MovingToPickup (рух

до точки забору), MovingToCustomer (рух до клієнта) з подальшим поверненням у стан очікування. Для крауд-виконавця діаграму доповнено станами Offline (виконавець поза лінією) і Deciding (ухвалення рішення про прийняття замовлення): перехід зі стану Deciding відбувається з імовірністю acceptProbability у стан виконання замовлення, інакше – назад у стан Idle, а замовлення повертається диспетчеру для перепризначення. Структуру діаграми станів агента-кур'єра у редакторі AnyLogic показано на рис. 1.

Алгоритм диспетчеризації, закладений у платформу, працює так. Після появи нового замовлення платформа формує список доступних виконавців у стані Idle, упорядкований за відстанню до точки забору. Спершу замовлення пропонується найближчому крауд-виконавцю; якщо той відхиляє пропозицію (що визначається розіграшем випадкової величини проти параметра acceptProbability) або жодного вільного крауд-виконавця немає, замовлення призначається найближчому вільному штатному кур'єру. Якщо всі виконавці зайняті, замовлення стає у чергу FIFO. Час доставки замовлення обчислюється як інтервал від моменту його створення до моменту передавання клієнту; замовлення вважається вчасним, якщо цей інтервал не перевищує нормативу 60 хвилин.

Вихідні параметри моделі та їхні базові значення наведено у табл. 1. Значення параметрів підбрано так, щоб відтворити типові умови роботи міського сервісу експрес-доставки середнього масштабу; за потреби всі параметри можуть бути відкалібровані за фактичними даними конкретної компанії.

Таблиця 1

Основні параметри імітаційної моделі

Параметр	Позначення	Базове значення
Середня інтенсивність надходження замовлень	orderRate	12–30 замовл./год (добовий профіль з піками)
Кількість штатних кур'єрів	numCouriers	5–8 осіб
Кількість зареєстрованих крауд-виконавців	numCrowd	0–25 осіб
Імовірність прийняття замовлення крауд-виконавцем	acceptProbability	0,3–0,6
Середня швидкість руху кур'єра	speed	20–25 км/год
Норматив часу доставки	SLA	60 хв
Фіксована вартість зміни штатного кур'єра	shiftCost	1 200 грн/зміна
Відрядна ставка крауд-виконавця	dropFee	45 грн/доставка
Тривалість імітаційного прогону	T	5 діб модельного часу

Джерело: сформовано авторами

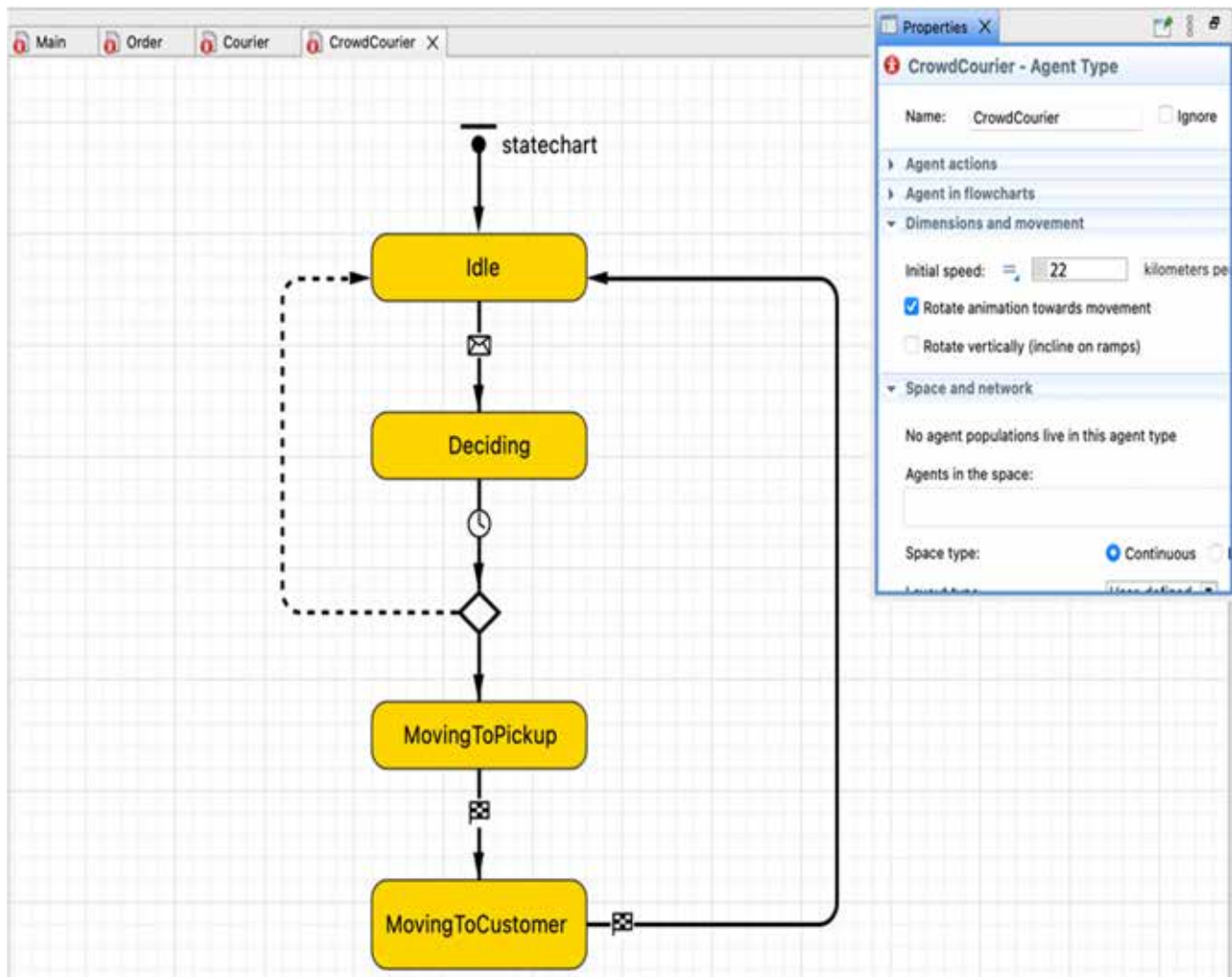


Рис. 1. Діаграма станів агента CrowdCourier у редакторі AnyLogic 8 PLE

Джерело: сформовано авторами

Дизайн імітаційних експериментів та результати. Для оцінювання ефектів платформної трансформації проведено три серії експериментів. Сценарій А (базовий) відтворює традиційну модель: 8 штатних кур'єрів, крауд-виконавці відсутні. Сценарій Б (гібридний, активна спільнота) передбачає скорочення штату до 5 кур'єрів і підключення 25 крауд-виконавців з імовірністю прийняття замовлення 0,6. Сценарій В (гібридний, пасивна спільнота) відрізняється від сценарію Б лише низькою готовністю виконавців приймати замовлення (0,3), що імітує ранню стадію розвитку платформи, коли «критичну масу» ще не досягнуто. Кожен сценарій проганявся упродовж 5 діб модельного часу; для згладжування стохастичності результати усереднено за серією прогонів з різними значеннями зерна генератора випадкових чисел. Зведені результати експериментів подано у

табл. 2, а типовий вигляд вікна результатів моделі з графіками динаміки показників – на рис. 2.

Аналіз результатів дає підстави для кількох висновків. Порівняння сценаріїв А і Б показує, що платформна трансформація з підключенням активної спільноти крауд-виконавців скорочує середній час доставки на 27,5 % (з 46,2 до 33,5 хв) і підвищує частку вчасних доставок з 78,4 % до 94,1 %, попри скорочення штату постійних кур'єрів. Головний механізм цього ефекту – «зрізання» пікових навантажень: у години пік, коли штатний персонал у базовому сценарії працює на межі пропускної здатності (завантаження понад 91 %) і черга замовлень зростає до 14 одиниць, гібридна модель перерозподіляє майже половину замовлень на крауд-виконавців, утримуючи чергу в межах кількох одиниць. Це узгоджується з висновками закордонних

Таблиця 2

Результати імітаційних експериментів за сценаріями

Показник	Сценарій А (без крауду)	Сценарій Б (крауд, $\rho = 0,6$)	Сценарій В (крауд, $\rho = 0,3$)
Середній час доставки, хв	46,2	33,5	41,8
Частка вчасних доставок (SLA 60 хв), %	78,4	94,1	84,7
Середнє завантаження штатних кур'єрів, %	91,3	73,6	82,9
Частка замовлень, виконаних крауд-виконавцями, %	0	47,2	24,8
Питомі витрати на одну доставку, грн	67,9	55,1	61,4
Максимальна довжина черги замовлень у пік, од.	14	4	9

Джерело: сформовано та розраховано авторами за результатами імітаційних експериментів у AyLogic 8 PLE

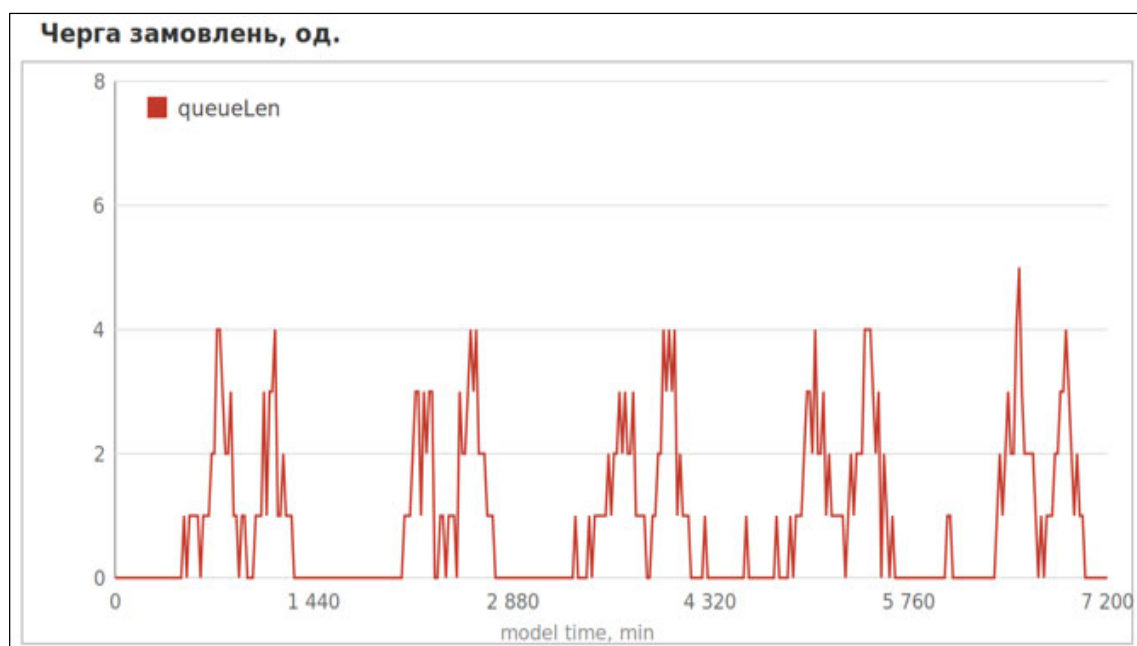
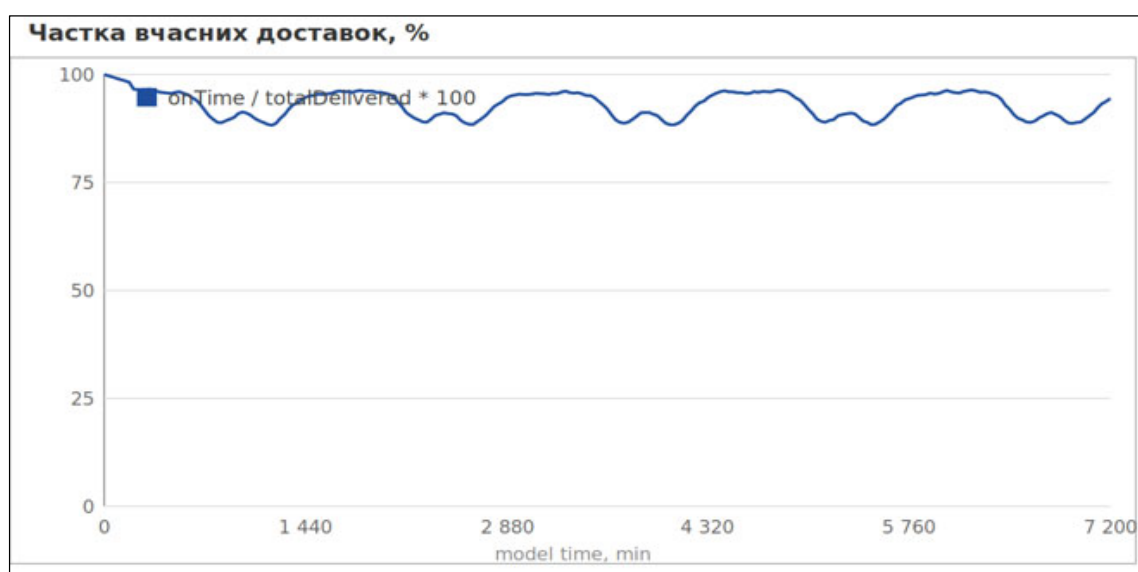


Рис. 2. Вікна результатів моделі

Джерело: сформовано авторами

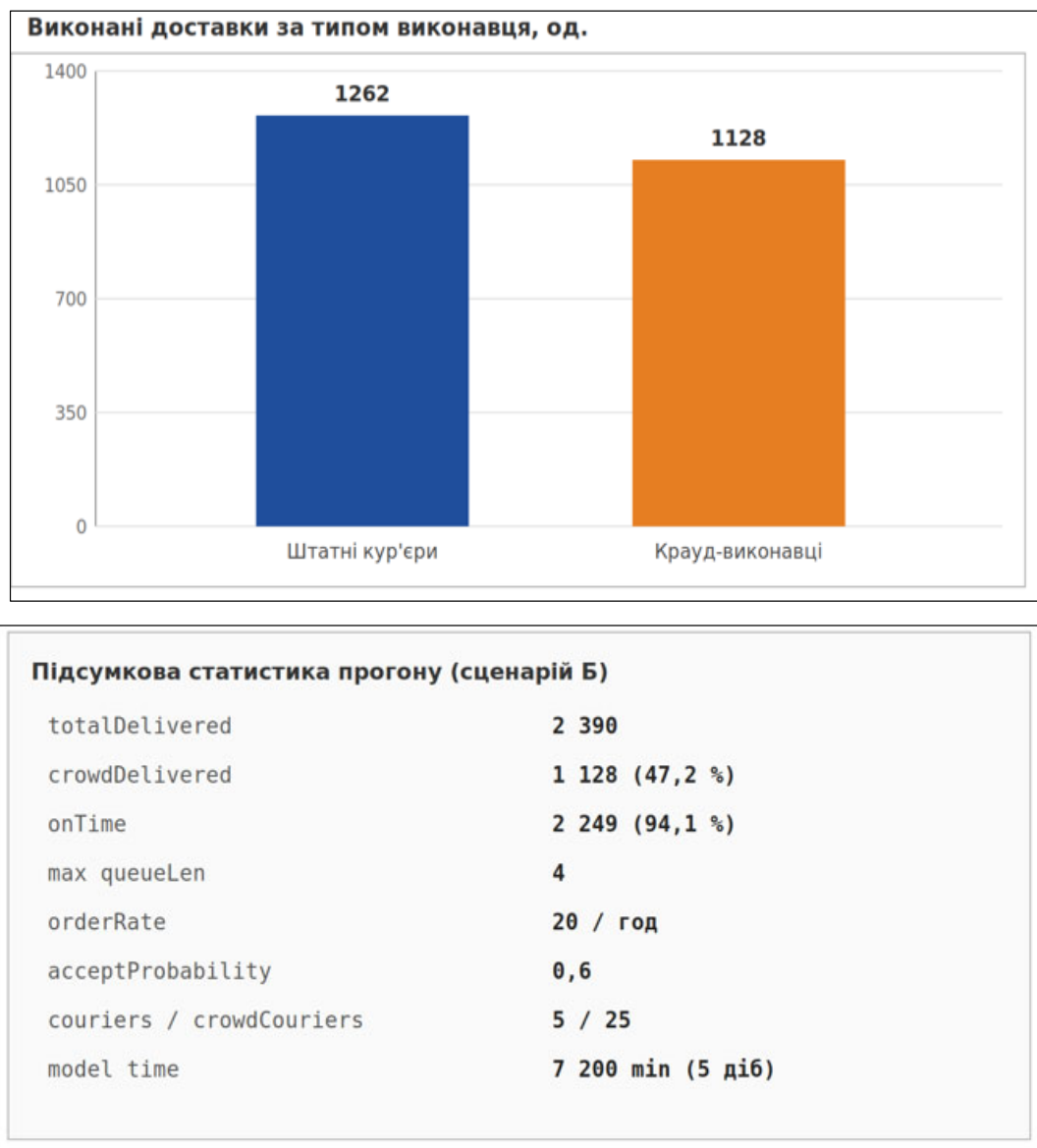


Рис. 2. Вікна результатів моделі (закінчення)

Джерело: сформовано авторами

імітаційних досліджень про те, що найбільшу цінність краудсорсингова доставка створює саме як гнучкий буфер пікових потужностей у складі гібридної системи [10; 13].

Економічний ефект пояснюється зміною структури витрат: фіксовані витрати на зміни штатних кур'єрів частково заміщуються змінними відрядними виплатами, які виникають лише за фактично виконані доставки. У сценарії Б питомі витрати на одну доставку знижуються на 18,9 % порівняно з базовим сценарієм. Водночас сценарій В демонструє принципове обмеження моделі: за низької готовності виконавців приймати замовлення ($p = 0,3$) більшість пропозицій відхиляється, замовлення повертаються штатним кур'єрам

із затримкою на цикл ухвалення рішення, і виграш у часі та вартості стає незначним. Таким чином, модель кількісно підтверджує феномен «критичної маси» двосторонньої платформи, описаний П. Кулкарні та К. Крейчі [11]: до досягнення певного порогу активності спільноти платформна трансформація майже не покращує показники системи, після його подолання – дає стрибкоподібний приріст ефективності. З управлінського погляду це означає, що на ранньому етапі розвитку платформи інвестиції доцільно спрямовувати не лише у залучення виконавців, а й у механізми підвищення частки прийнятих пропозицій: динамічне ціноутворення у пікові періоди, бонуси за серії доставок, покращення відпо-

відності пропонованих замовлень попутним маршрутам виконавців.

Обмеження моделі та напрями подальшого розвитку. Розроблена модель має низку спрощень: рух виконавців відбувається за прямими маршрутами на ГІС-карті без урахування дорожньої мережі та заторів; рішення крауд-виконавця описане єдиною ймовірністю прийняття, тоді як у реальності воно залежить від відстані, винагороди і попутності маршруту; не змодельовано відтік і приплив виконавців у довгостроковому періоді. Зазначені спрощення принципово усуваються в межах того самого середовища: AnyLogic підтримує маршрутизацію дорожньою мережею, а функцію рішення агента можна замінити багатофакторною (наприклад, логістичною регресією за даними реальної платформи, як це робиться у сучасних симуляторах краудшипінгу з використанням GPS-даних [12]). Перспективним напрямом є також доповнення моделі блоком оцінювання екологічних ефектів, оскільки використання попутних поїздок потенційно скорочує викиди CO₂ на посылку – показник, який стає дедалі важливішим для міської логістики [3].

Висновки. Проведене дослідження показало, що трансформація цифрових логістичних платформ на засадах економіки спільного споживання є дієвим напрямом оптимізації доставки «останньої милі», а агентне імітаційне моделювання – доступним і адекватним інструментом обґрунтування такої трансформації. Розроблена у середовищі AnyLogic 8 PLE агентна модель гібридної краудлогістичної платформи, що поєднує штат-

них кур'єрів і приватних крауд-виконавців, дала змогу кількісно оцінити ефекти платформної моделі організації доставки.

За результатами імітаційних експериментів встановлено, що за умови активної спільноти виконавців (імовірність прийняття замовлення 0,6) гібридна модель скорочує середній час доставки на 27,5 %, підвищує частку вчасних доставок з 78,4 % до 94,1 % і знижує питомі витрати на одну доставку на 18,9 % порівняно з традиційною моделлю, побудованою виключно на штатному персоналі. Основним джерелом ефекту є гнучке поглинання пікових навантажень крауд-виконавцями, оплата яких має змінний характер. Водночас модель підтвердила критичну залежність ефективності платформи від досягнення «критичної маси» активних виконавців: за низької готовності приймати замовлення переваги гібридної моделі майже нівелюються.

Практична цінність результатів полягає у тому, що запропонована модель може використовуватися логістичними операторами та платформними сервісами як інструмент підтримки рішень: для визначення раціонального співвідношення штатних і крауд-виконавців, тестування механізмів мотивації спільноти та оцінювання наслідків змін інтенсивності попиту без ризикованих натурних експериментів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на калібрування моделі за фактичними даними українських сервісів доставки, урахування маршрутизації дорожньою мережею та багатофакторних моделей поведінки виконавців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Capgemini P. Navigating the complex web of last-mile deliveries. Capgemini. 2025. URL: <https://www.capgemini.com/insights/expert-perspectives/navigating-the-complex-web-of-last-mile-deliveries/> (дата звернення: 05.07.2026).
2. Last mile costs as share of total shipping costs worldwide from 2018 to 2023. Statista. 2026. URL: <https://www.statista.com/statistics/1434298/last-mile-share-of-total-shipping-costs/> (дата звернення: 05.07.2026).
3. Last-Mile Delivery Statistics and Industry Insights. SmartRoutes. 2026. URL: <https://smartroutes.io/blogs/last-mile-delivery-statistics-the-complete-data-resource/> (дата звернення: 05.07.2026).
4. The Sharing Economy. Consumer Intelligence Series. PwC. 2015. URL: <https://www.pwc.com/us/en/technology/publications/assets/pwc-consumer-intelligence-series-the-sharing-economy.pdf> (дата звернення: 05.07.2026).
5. Collins P. The sharing economy: definition, examples and environmental impact. Selectra Climate. 2026. URL: <https://climate.selectra.com/en/environment/sharing-economy> (дата звернення: 05.07.2026).
6. Wadlow T. The sharing economy will be worth \$335 billion by 2025. Supply Chain Digital. 2020. URL: <https://supplychaindigital.com/logistics/sharing-economy-will-be-worth-dollar335-billion-2025> (дата звернення: 05.07.2026).
7. Carbone V., Rouquet A., Roussat C. The Rise of Crowd Logistics: A New Way to Co-Create Logistics Value. *Journal of Business Logistics*. 2017. № 38 (4). P. 238–252. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbl.12164>.

8. Sorooshian S. Crowdshipping for last-mile delivery in the sharing economy and crowdsourced quick commerce. *The TQM Journal*. 2026. № 38 (11). P. 17-35. DOI: <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2025-0411>.
9. Chen P., Chankov S. M. Crowdsourced delivery for last-mile distribution: An agent-based modelling and simulation approach. *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. 2017. P. 1271–1275.
10. Dötterl, J., Bruns, R., Dunkel, J., Ossowski, S. Evaluating Crowdshipping Systems with Agent-Based Simulation. *Multi-Agent Systems and Agreement Technologies (MATES 2020)*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham. 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66412-1_25.
11. Kulkarni P., Krejci C. Evaluating a Crowd Logistics Network Using Agent-Based Modeling. *Proceedings of the 2022 Conference of The Computational Social Science Society of the Americas (CSSSA 2022)*. Springer, Cham, 2023. P. 21–34. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37553-8_2.
12. Bruns, R., Dötterl, J., Dunkel, J., Ossowski, S. Evaluating Collaborative and Autonomous Agents in Data-Stream-Supported Coordination of Mobile Crowdsourcing. *Sensors*. 2023. № 23 (614). DOI: <https://doi.org/10.3390/s23020614>.
13. Jaramillo J. On integrating crowdsourced delivery in last-mile logistics: A simulation study to quantify its feasibility. *Journal of Cleaner Production*. 2019. № 241. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118365>.
14. AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions. The AnyLogic Company. URL: <https://www.anylogic.com/> (дата звернення: 05.07.2026).

REFERENCES:

1. Chaudhary P. (2025) Navigating the complex web of last-mile deliveries. Capgemini. Available at: <https://www.capgemini.com/insights/expert-perspectives/navigating-the-complex-web-of-last-mile-deliveries/> (accessed July 5, 2026)
2. Statista (2026) Last mile costs as share of total shipping costs worldwide from 2018 to 2023. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1434298/last-mile-share-of-total-shipping-costs/> (accessed July 5, 2026)
3. SmartRoutes (2026) Last-Mile Delivery Statistics and Industry Insights. Available at: <https://smartroutes.io/blogs/last-mile-delivery-statistics-the-complete-data-resource/> (accessed July 5, 2026)
4. PwC (2015) The Sharing Economy. Consumer Intelligence Series. Available at: <https://www.pwc.com/us/en/technology/publications/assets/pwc-consumer-intelligence-series-the-sharing-economy.pdf> (accessed July 5, 2026)
5. Collins C. (2026) The sharing economy: definition, examples and environmental impact. Selectra Climate. Available at: <https://climate.selectra.com/en/environment/sharing-economy> (accessed July 5, 2026)
6. Wadlow T. (2020) The sharing economy will be worth \$335 billion by 2025. Supply Chain Digital. Available at: <https://supplychaindigital.com/logistics/sharing-economy-will-be-worth-dollar335-billion-2025> (accessed July 5, 2026)
7. Carbone V., Rouquet A., Roussat C. (2017) The Rise of Crowd Logistics: A New Way to Co-Create Logistics Value. *Journal of Business Logistics*, vol. 38, no. 4, pp. 238–252. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbl.12164>.
8. Sorooshian S. (2026) Crowdshipping for last-mile delivery in the sharing economy and crowdsourced quick commerce. *The TQM Journal*, vol. 38, no. 11, pp. 17-35. DOI: <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2025-0411>.
9. Chen P., Chankov S. M. (2017) Crowdsourced delivery for last-mile distribution: An agent-based modelling and simulation approach. *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, pp. 1271–1275.
10. Dötterl, J., Bruns, R., Dunkel, J., Ossowski, S. (2020) Evaluating Crowdshipping Systems with Agent-Based Simulation. *Multi-Agent Systems and Agreement Technologies (MATES 2020)*. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer. pp. 396–411. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66412-1_25.
11. Kulkarni P., Krejci C. (2023) Evaluating a Crowd Logistics Network Using Agent-Based Modeling. *Proceedings of the 2022 Conference of The Computational Social Science Society of the Americas (CSSSA 2022)*. Cham: Springer. pp. 21–34. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37553-8_2.
12. Bruns, R., Dötterl, J., Dunkel, J., Ossowski, S. (2023) Evaluating Collaborative and Autonomous Agents in Data-Stream-Supported Coordination of Mobile Crowdsourcing. *Sensors*, vol. 23, no. 614. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23020614>.
13. Jaramillo, J. (2019). On integrating crowdsourced delivery in last-mile logistics: A simulation study to quantify its feasibility. *Journal of Cleaner Production*. vol. 241. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118365>.
14. The AnyLogic Company (2026) AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions. Available at: <https://www.anylogic.com/> (accessed July 5, 2026)

Дата надходження статті: 21.07.2026

Дата прийняття статті до публікації: 25.09.2026

Дата публікації статті: 23.10.2026