

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-53>

УДК 656.073.4:004.8:629.735.7

ЛЕЩЕНКО Юлія

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0003-1563-5949>

e-mail: [leshchenko@vntu.edu.ua](mailto:leshchenko@vntu.edu.ua)

МОРОЗ Ігор

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0004-9241-5859>

e-mail: [Igor3003moroz@gmail.com](mailto:Igor3003moroz@gmail.com)

ЮХИМЧУК Марія

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8131-9739>

e-mail: [umc1987@vntu.edu.ua](mailto:umc1987@vntu.edu.ua)

## ВИКОРИСТАННЯ UAV (ДРОНІВ) ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ОСТАННЬОЇ МИЛІ

Стаття присвячена аналізу використання дронів у логістичних системах, зокрема для оптимізації доставки "останньої милі" — ключового етапу в ланцюгу постачання, який значно впливає на ефективність та швидкість виконання замовлень. Огляд охоплює основні переваги застосування безпілотних літальних апаратів (UAV), серед яких зменшення часу доставки, оптимізація транспортних витрат, скорочення викидів CO<sub>2</sub> та підвищення екологічної стійкості. У дослідженні представлено перспективи дронів у контексті зростання попиту на швидкі та гнучкі логістичні рішення через популяризацію електронної комерції та зростання очікувань споживачів щодо оперативної доставки. Водночас стаття висвітлює низку викликів, які супроводжують інтеграцію дронів у традиційні логістичні системи. Зокрема, акцентовано увагу на технічних обмеженнях, таких як дальність польоту та обмежена вантажопідйомність, а також на регуляторних бар'єрах, що стосуються безпеки польотів у міських районах та необхідності оновлення законодавчої бази. Важливим є питання підготовки кадрів для роботи з новими технологіями та розробки інфраструктури, яка дозволить ефективно інтегрувати дрони в існуючі ланцюги постачання. Практичні кейси, такі як впровадження дронів Amazon Prime Air, Zipline і Wing, демонструють, як дрони вже трансформують доставку в різних регіонах, забезпечуючи економію часу та зниження витрат у віддалених або важкодоступних районах. Зокрема, вони використовуються для доставки медикаментів, продуктів харчування та малогабаритних товарів, допомагаючи вирішувати проблеми заторів і підвищувати ефективність міських логістичних систем. Стаття також розглядає сучасні технології, які підтримують застосування дронів, включаючи штучний інтелект, алгоритми оптимізації маршрутів, інтеграцію з наземним транспортом і розвиток дронових "вуликів" як базових станцій для підзарядки та обслуговування. Автори наголошують на важливості міждисциплінарного підходу до розробки та впровадження дронів у логістику, що дозволить подолати наявні бар'єри та максимізувати переваги цієї технології. У підсумку визначено основні напрями майбутніх досліджень: вдосконалення батарейних технологій, розробка стандартів для регулювання повітряного руху дронів, впровадження нових моделей співпраці між компаніями та державою, а також підвищення соціального прийняття дронів серед населення. Ці висновки мають потенціал для революції у сфері логістики, роблячи її більш гнучкою, сталою та адаптованою до сучасних викликів.

*Ключові слова:* дрони, логістика, доставка "останньої милі", екологічна стійкість, безпілотні літальні апарати, технології автоматизації, оптимізація маршрутів, інтеграція логістичних систем.

LESHCHENKO Yuliya, MOROZ Ihor, YUKHYMCHUK Mariya  
Vinnytsia National Technical University

## USE OF UAVS (DRONES) FOR OPTIMIZING LAST-MILE DELIVERY

*This article is dedicated to the analysis of drone usage in logistics systems, particularly for optimizing "last-mile" delivery — a critical stage in the supply chain that significantly impacts the efficiency and speed of order fulfillment. The review covers the main advantages of utilizing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), including reduced delivery time, optimized transportation costs, reduced CO<sub>2</sub> emissions, and increased environmental sustainability. The study presents the prospects of drones in the context of the growing demand for fast and flexible logistics solutions due to the rise of e-commerce and increasing consumer expectations for timely delivery.*

*At the same time, the article highlights a number of challenges that accompany the integration of drones into traditional logistics systems. Specific attention is given to technical limitations such as flight range and limited payload capacity, as well as regulatory barriers related to flight safety in urban areas and the need for legislative updates. Another important aspect is the training of personnel for working with new technologies and the development of infrastructure that will allow drones to be effectively integrated into existing supply chains.*

*Practical cases such as the implementation of Amazon Prime Air, Zipline, and Wing drones demonstrate how drones are already transforming delivery in various regions, ensuring time savings and cost reductions in remote or hard-to-reach areas. Specifically, drones are used for delivering medical supplies, food, and small-sized goods, helping to solve congestion issues and enhance the efficiency of urban logistics systems.*

*The article also examines modern technologies supporting drone use, including artificial intelligence, route optimization algorithms, integration with ground transportation, and the development of drone "hives" as charging and service stations. The authors emphasize the importance of an interdisciplinary approach to the development and implementation of drones in logistics, which will overcome existing barriers and maximize the benefits of this technology.*

*In conclusion, the main directions for future research are outlined: improvement of battery technologies, development of standards for regulating drone air traffic, implementation of new models of cooperation between companies and the state, and increasing the social acceptance of drones among the public. These conclusions have the potential to revolutionize the logistics sector, making it more flexible, sustainable, and adapted to modern challenges.*

*Keywords: drones, logistics, last-mile delivery, environmental sustainability, unmanned aerial vehicles, automation technologies, route optimization, logistics system integration.*

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Доставка "останньої милі" є одним із найскладніших і найдорожчих етапів логістичного ланцюга. Саме цей процес визначає, наскільки швидко і якісно товар потрапить до кінцевого споживача. Зростання популярності електронної комерції та маркетплейсів, таких як Amazon, Alibaba та eBay, створило значний тиск на логістичні компанії. За даними досліджень, понад 70% клієнтів очікують отримати свої замовлення в межах одного дня, що вимагає від логістичних систем високої гнучкості та ефективності. У свою чергу, витрати на доставку "останньої милі" можуть складати до 53% загальних транспортних витрат, що робить цей етап критичним для операційної ефективності компаній [1].

Із моменту появи безпілотних літальних апаратів (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) вони почали активно інтегруватися в логістичну сферу. Перші дослідження застосування дронів у доставці були проведені ще на початку 2010-х років, коли такі компанії, як Amazon і Google, впровадили пілотні проекти. Сьогодні дрони вже використовуються в різних галузях: від гуманітарної логістики до експрес-доставки посилок у міських умовах. Застосування дронів допомагає скоротити час доставки, підвищити екологічність транспортних операцій та зменшити витрати на персонал. Наприклад, використання дронів дозволяє уникати заторів у містах, доставляючи посилки безпосередньо до кінцевого споживача [1].

Використання дронів у логістиці "останньої милі" може мати значний вплив на екологію, економіку та якість послуг. По-перше, дрони здатні зменшити викиди CO<sub>2</sub> завдяки використанню електричних двигунів. По-друге, впровадження цих технологій підвищує конкурентоспроможність логістичних компаній, що надають послуги швидкої доставки. І, нарешті, дрони сприяють задоволенню високих очікувань клієнтів, які все частіше обирають компанії, здатні забезпечити швидкість і надійність обслуговування.

Однак розвиток і впровадження дронів у логістичні системи стикається з низкою викликів, включаючи обмежену дальність польотів, необхідність розробки нормативних актів і складність інтеграції з традиційними транспортними системами. Ці виклики стимулюють розвиток нових технологій і моделей управління, які потребують подальших досліджень. У цьому контексті дана стаття розглядає потенціал дронів у доставці "останньої милі", їх переваги та виклики, а також перспективи інтеграції в сучасні логістичні системи.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Транспорт є одним з фундаментальних стовпів нашого суспільства. Він безпосередньо пов'язаний з економічним зростанням, добробутом громадян, сталим розвитком міст тощо. Транспортні системи завжди були складними за своєю суттю системами, що охоплюють велику кількість фізичних та організаційних елементів, які можуть впливати один на одного прямо чи опосередковано, лінійно чи нелінійно, потенційно з циклами зворотного зв'язку [2]. Протягом останнього десятиліття ця складність ще більше зросла завдяки широкому розповсюдженню додатків штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (ІР). Вони призвели до появи різних розумних технологій, таких як автономні транспортні засоби, інтелектуальні транспортні системи та дрони, які вносять глибокі зміни в різні аспекти міського життя [3]. Зокрема, повітряні дрони (також відомі як безпілотні літальні апарати - БПЛА) можуть змінити правила гри для широкого спектру застосувань «розумного міста», допомагаючи досягти багатьох сталих цілей щодо поліпшення якості життя громадян [4]. Такі технології додають нові рівні взаємодії з користувачами та суспільством і можуть допомогти вирішити або ще більше загострити давні транспортні проблеми у сфері мобільності людей та вантажних перевезень. Щоб уникнути того, що нові транспортні інновації приносять нові виклики, а не рішення, кілька авторів вказують на необхідність забезпечення належного управління ними та залучення громадян до їх спільної розробки [5], [6].

З цієї точки зору, доставка «останньої милі» (мається на увазі переміщення товарів від транспортного вузла до кінцевого пункту призначення) стала фундаментальною для цієї галузі. Ця тенденція спричинила дві додаткові проблеми. По-перше, поширеним рішенням для доставки «останньої милі» сьогодні є використання дорожніх транспортних засобів, що має серйозні негативні наслідки, такі як збільшення заторів на дорогах, забруднення та шум [7]. По-друге (особливо в густонаселених міських районах), це призвело до широкого розповсюдження послуг доставки, заснованих на використанні велосипедистів, і появи гіг-економіки, з усіма етичними проблемами, пов'язаними з відсутністю належних прав у цього нового типу працівників [8].

Нещодавно компанія Amazon Technology Inc. [9] на фулфілмент-центр (рис. 1), призначений для забезпечення посадки і зльоту безпілотних літальних апаратів у густонаселених районах (далі - дрони-вулики), схоже, підтверджує, що галузь приділяє більше уваги цій альтернативі доставки.

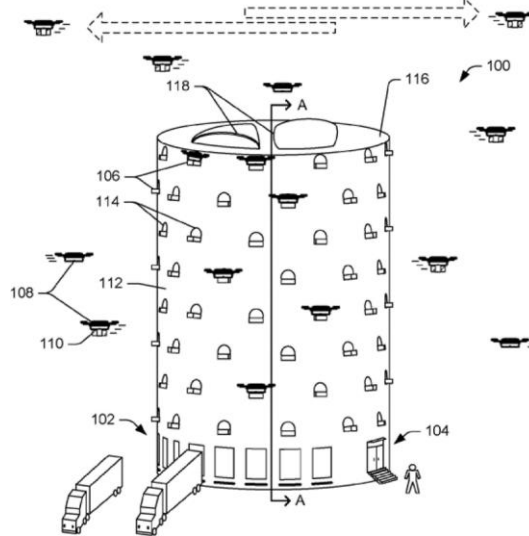


Рис. 1. Концепція вулика для безпілотників від Amazon

З огляду на високий попит на доставку посилок і складні виклики, пов'язані з доставкою товарів у містах, у рамках концепції «розумних міст» впроваджується дедалі більше інноваційних рішень для підвищення ефективності доставки «останньої милі» [10]. Серед запропонованих рішень - автоматизовані (повітряні) дрони та дроїди, які можуть призвести до більш сталої доставки «останньої милі» [11]. Доставка дронами разом з іншими новітніми технологіями, такими як доставка дроїдами [12], широко досліджувалася під час пандемії COVID-19 як спосіб пом'якшення її негативних наслідків [13]. Окрім скорочення витрат і часу доставки [14], ці технології також дозволяють зменшити кількість «контактів» з іншими людьми.

Зосередившись на дронах, багато транспортних компаній і компаній з доставки сьогодні тестують їхню придатність для доставки їжі, продуктів і невеликих посилок у міських районах, що може призвести до значного переходу від доставки товарів фургонами до доставки дронами [15]. Використання дронів для доставки «останньої милі» може знизити витрати на доставку, оскільки не потребує витрат на водія чи пасажирів, а також усунути транспортні екстерналії, спричинені дорожнім рухом [16]. Дрони також можуть зменшити кількість пропущених доставок через дуже коротку затримку між відправленням і доставкою. У дослідженні [17] розглядалися три репрезентативні столичні райони і міста США з різною щільністю населення і транспортними проблемами, щоб оцінити потенційний вплив доставки дронами, включаючи умови (демографічні, географічні, технічні та політичні), необхідні для реалізації переваг. Вигоди виявляються в економії часу (або вартості часу) для споживачів, а також у створенні нових продажів для місцевого бізнесу, скороченні трафіку і викидів CO<sub>2</sub>. У звіті робиться висновок, що для досягнення описаних переваг урядом на всіх рівнях необхідно ретельно розробляти політичні заходи для захисту суспільних інтересів, одночасно дозволяючи промисловості пропонувати життєздатні послуги, і в той же час, промисловість і уряд повинні працювати разом для досягнення суспільного визнання. Нещодавно Фабіо Борретті та ін. [18] оцінили життєздатність доставки «останньої милі» з використанням дронів за допомогою аналізу заявлених переваг, який оцінив схильність користувачів до використання дронів, і аналізу фінансової доцільності, який оцінив витрати і доходи логістичних операторів. Результати реального дослідження в місті Мілан, Італія, показали, що кінцеві користувачі, ймовірно, будуть використовувати дрони для доставки товарів і що ця послуга принесе прибуток логістичним операторам після декількох років експлуатації. До цього слід додати, що проблеми доставки «останньої милі» в європейських містах є більшими через більш щільну міську забудову в цілому та суворіші обмеження на використання великих вантажівок порівняно, наприклад, зі Сполученими Штатами [19].

Припущення для моделювання. Проведений аналіз базується на наступних припущеннях щодо дронів доставки:

Дрони, що використовуються для доставки, подібні до моделей Manna [20], Flytex [21], Flirtey [22] та Wing [23], потребують поверхні «відкритого простору» (наприклад, сад або особиста під'їзна дорога), на яку можна скидати пакунки за допомогою мотузки, не приземляючись на землю (рис. 1). Для оцінки наявності переважно приміських житлових районів, де такий відкритий простір може бути доступним, було використано поріг щільності населення у 115 осіб/га. Обидва дрони доставляють пакунки, опускаючи їх на землю за допомогою троса, і їм не потрібно приземлятися.



Рис. 2. Дрони Manna [25] та Wing [23]

- Дронам дозволено літати по прямій лінії над житловими районами та містами, що означає відсутність законодавчих обмежень. Це відповідає невизначеності щодо майбутнього законодавства і можливих поправок, які можуть бути спрямовані на створення мереж безпілотників. Жодні заборонені зони, такі як навколо аеропортів або військових об'єктів, не бралися до уваги.

- Доставка відбуватиметься безпосередньо з місця зльоту безпілотника до замовника, тобто не передбачається багаторазових поставок. Це припущення відповідає моделі доставки «Манна», але відрізняється від моделі «Крило», яка може включати в себе як забір від постачальників, так і доставку клієнтам. Час і витрати, пов'язані з транспортуванням товарів від постачальника (супермаркету, ресторану, припускається, що вони знаходяться в безпосередній близькості) до місця зльоту дрона, не були включені в наш підхід.

- Дрони можуть подорожувати на максимальну відстань 20 км (10 км в один бік). Ця відстань відповідає технічним специфікаціям компаній Wind [23] та Manna, але перевищує початкову відстань доставки в радіусі 2 км, яку компанія Manna використовувала на своєму випробувальному майданчику [26].

Щодо специфікації місць зльоту безпілотників (гнізд), то ми робимо наступні припущення:

- Тільки пікселі класів землекористування, що відповідають комерційним/промисловим та покинутим комерційним/промисловим об'єктам, придатні для розміщення потенційних майданчиків для дронів, щоб не конкурувати з житловим ринком і отримати вигоду від більшої доступності (комерційні/промислові об'єкти часто розташовані поблизу основних доріг).

- На будівництво гнізд для дронів надається необхідний дозвіл на будівництво (незалежно від сусідніх землекористувань або зон забудови).

- Піксель площею в один гектар буде достатньо великим, щоб розмістити місце зльоту дронів (немає потреби в декількох сусідніх пікселях).

На рисунку 3 показано підхід до моделювання, який підсумовує максимальний потенційний прибуток для кожного пікселя промислового землекористування за умови, що він може доставити посилки всім людям у межах визначеної відстані доставки дронів.

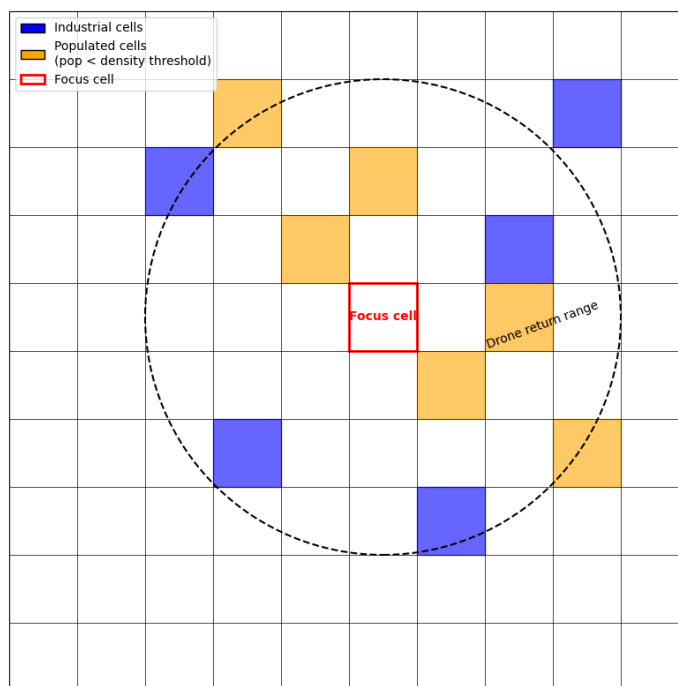


Рис. 3. Визначення оптимального розміщення вуликів та оновлення карти вхідної популяції

Розподіл вуликів відбувається за «егоїстичним» підходом, коли кожен окремих вулик максимізує свою власну вигоду (а не вигоду системи). Така поведінка, яка вважається найбільш реалістичною, моделюється за допомогою карти прибутковості, створеної на Кроці 1, за допомогою наступних кроків:

- Визначення точки найвищої віддачі в кожній функціональній міській зоні (ФМЗ) [27] (по черзі). Передбачається, що вулики з найвищою економічною віддачею «заселяються» першими і вилучають населення в радіусі своєї доставки з доступного пулу клієнтів для інших потенційних вуликів. У випадку, якщо буфер перекривається (невелика ЗПС), тільки вулик з найвищою прибутковістю (в межах цієї конкретної ЗПС) залишається і використовується для другого раунду оптимізації.

- Створення кругового буфера радіусом, що дорівнює відстані доставки дроном, і видалення (з карти популяції, використаної на кроці 1) заселених пікселів в межах буфера.

Кроки 1 і 2 виконуються послідовно для декількох ітерацій, поки не буде виявлено жодного нового вулика, що перевищує певний поріг економічної життєздатності

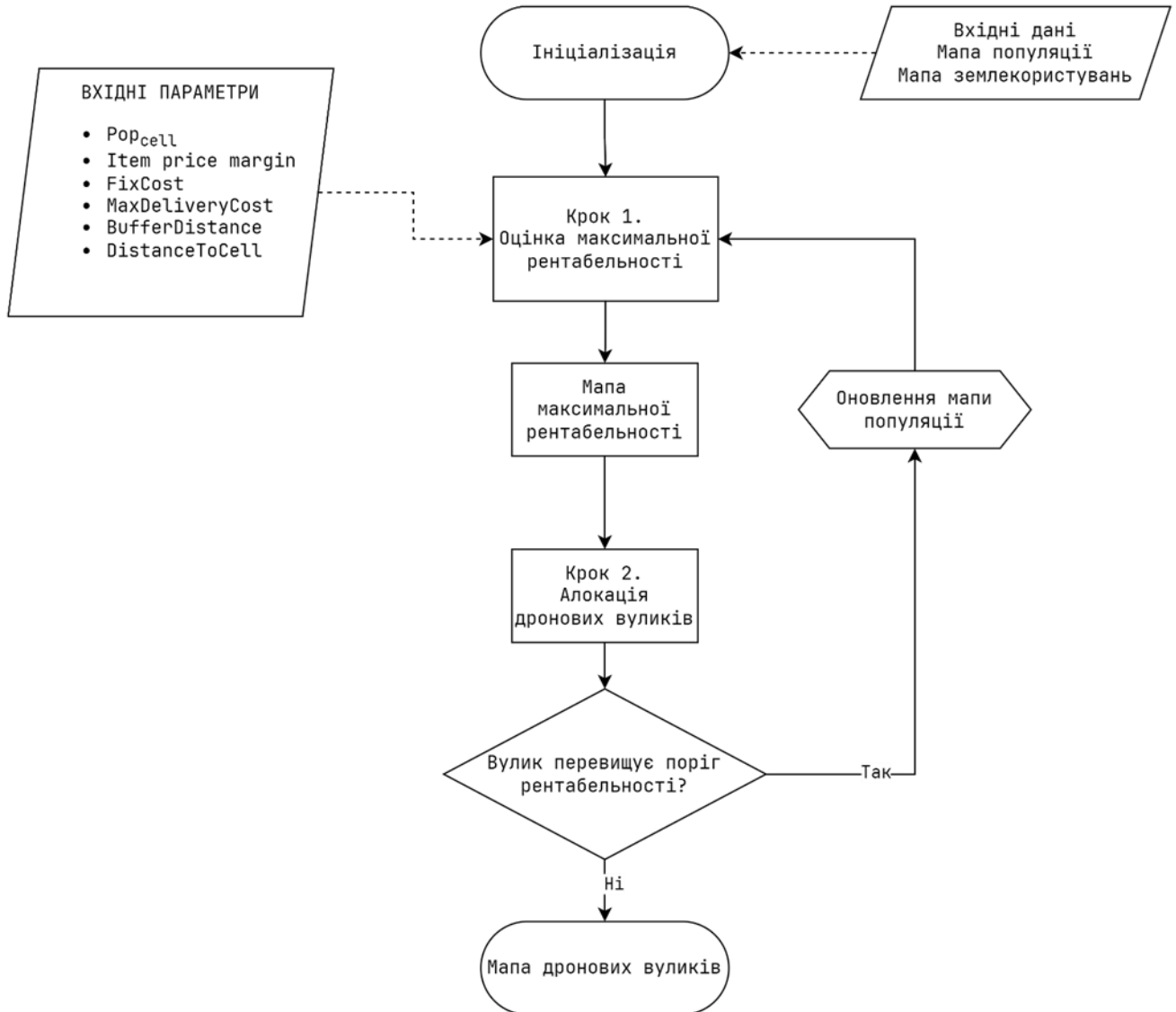


Рис. 4. Блок-схема процесу розміщення вуликів

#### Дослідження сценаріїв

В аналізі розглядаються чотири можливі сценарії:

- **Сценарій 1:** відстань польоту 12 км і поріг посадки 115/га населення. Це найбільш реалістичні сценарії за існуючих технічних обмежень.

- **Сценарій 2:** відстань польоту 12 км і поріг приземлення 130/га населення. Це можливий сценарій, якого можна досягти за рахунок поліпшення посадкової здатності дронів (вдосконалення програмного забезпечення для посадки в менших садах).

- **Сценарій 3:** відстань польоту 12 км і відсутність порогу приземлення. Цей сценарій, наразі нереалістичний, відповідає найкращому, чого можна досягти, інвестуючи в програмне забезпечення (без покращення дальності польоту дронів). За цим сценарієм посилки можуть бути доставлені будь-кому, незалежно від необхідності приземлятися в певному місці.

- **Сценарій 4:** відстань польоту 24 км і поріг приземлення 115/га населення. Цей сценарій, також наразі нереалістичний, відповідає інвестиціям в апаратне забезпечення, що дозволяє подвоїти поточну дальність польоту дронів без жодних удосконалень програмного забезпечення.

Для кожного сценарію досліджується зв'язок між кількістю людей, потенційно в межах досяжності дронів (з вибраних дронів-вуликів), пов'язаний з порогом їх економічної життєздатності (мінімальна економічна віддача, вище якої діяльність з доставки дронів вважається життєздатною) на рис. 5.

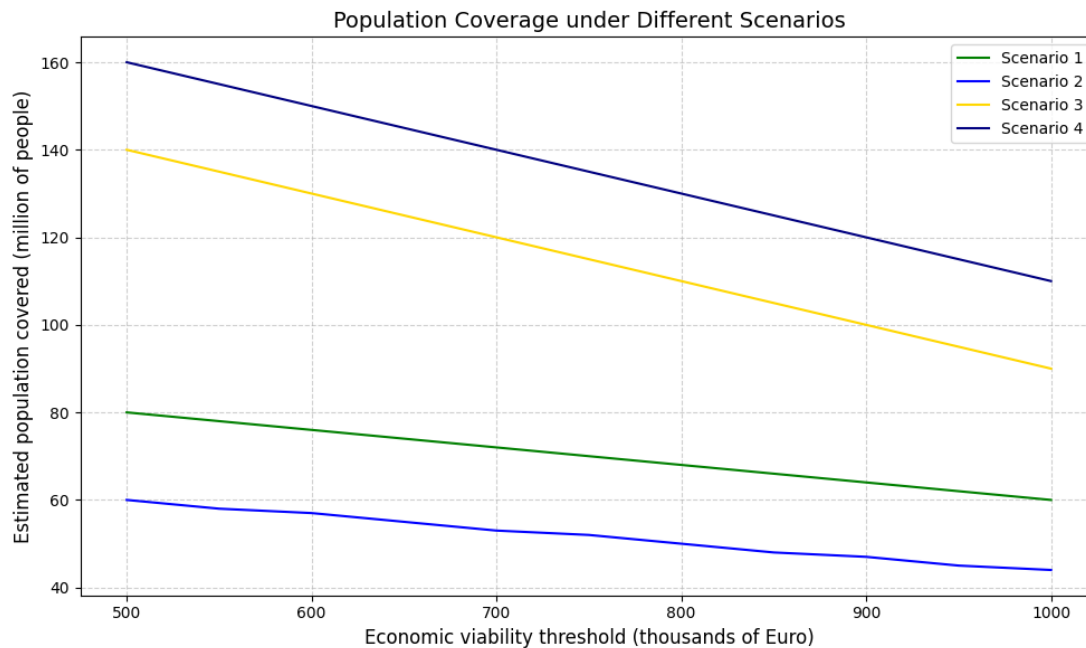


Рис. 5. Якісна перевірка моделі

Зважаючи на те, що доставка дронами як послуга перебуває на стадії становлення і лише кілька компаній наразі пропонують таку послугу на пробних комерційних етапах, формальна перевірка підходу та параметрів цього дослідження на основі наявних даних є неможливою.

Однак, використовуючи загальнодоступну інформацію про поточне місцезнаходження діючих пунктів доставки дронами з веб-сайтів компаній і повідомлень у соціальних мережах, можна було порівняти прогнозовані за допомогою моделі місця з розташуванням пунктів доставки Manna в містах Оранмор і Балбріггам (Ірландія). Обидва пункти працюють з автостоянок, розташованих поруч із супермаркетами Tesco, і здійснюють доставку в радіусі 2 км.

Використовуючи відстань польоту 2 км (проти 10 км, використаних у цьому дослідженні), модель визначила можливі місця доставки дронами на відстані менше 250 м для Оранмора і менше 100 м для Балбріггама (на рис. 3 показані прогнози моделі і фактичні місця зльоту дронів в обох місцях) з населенням в межах 5500 осіб для Оранмора і 19 100 осіб для Балбріггама. Зображення зліва відноситься до Оранмора, а зображення справа - до Балбрігана. На обох зображеннях червоний квадрат вказує на змодельоване місце потенційної доставки дронами (з використанням відстані польоту 2 км), а зелений трикутник - на супермаркет Tesco, звідки працюють дрони Manna. Хоча модель також визначила інші місця в Ірландії як більш вигідні, ніж ці два конкретні об'єкти (можливо, тому, що ця діяльність все ще перебуває на стадії випробувань і що менші за масштабом, більш ізольовані об'єкти є безпечними місцями, де потенційні проблеми можна виявити і вирішити до повного комерційного масштабування), ці результати свідчать про те, що підхід і дані, використані щодо розподілу населення і розташування промислових об'єктів, на основі яких обиралися об'єкти, є обґрунтованими.

### ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Слід підкреслити, що, хоча розробка дронів-вуликів для доставки «останньої милі» вже може бути життєздатною, створення таких розподільних центрів вимагатиме значної участі промисловості та громадськості. Такі консультації були б особливо важливими, враховуючи новизну доставки



безпілотниками, щоб вирішити проблеми та наслідки політики щодо безпеки, шкідливого впливу на навколишнє середовище, міського планування, повітряного руху, міської логістики та зайнятості в галузі доставки.

У попередній роботі, присвяченій вивченню впливу доставки дронами в США (Lyon-Hill et al., 2020), було зроблено припущення, що підвищення зручності та швидкості доставки дронами може підвищити ділову активність, що призведе до збільшення обсягів продажів, а отже, і доходів, а отже, забезпечить додаткові непрямі економічні вигоди. Отже, хоча економічний прибуток, який безпосередньо генерується галуззю доставки дронами, ймовірно, буде вищим у Європі (через більшу кількість пунктів доставки дронами), ніж у США, особливо за вищих значень індексу проникнення на ринок (ІПР), загальний вплив на економічний сектор може бути більш нюансованим.

Висновки цього дослідження актуальні, зокрема, для дослідників, політиків і практиків у сфері планування та експлуатації транспорту і логістики, які можуть краще зрозуміти потенціал доставки «останньої милі» за допомогою безпілотників. Міждисциплінарні вчені, які вивчають послуги доставки дронами з різних точок зору (технологічної, соціальної тощо), можуть використовувати ці висновки як прогнозовану базову лінію для підтримки майбутніх стратегій планування (наприклад, на основі розподілу послуг доставки «останньої милі» за видами транспорту), для адаптації аналізу до конкретних контекстів або для впровадження більш просунутих підходів, зосереджуючись на конкретних питаннях і параметрах. Фактично, майбутні дослідження можуть бути зосереджені на визначенні того, як максимізувати переваги цієї технології, обмежуючи при цьому потенційні негативні наслідки. Наприклад, враховуючи, що більшість операцій з доставки дронами, ймовірно, відбуватиметься над житловими районами, майбутні дослідження повинні включати зусилля, спрямовані на мінімізацію впливу на мешканців з точки зору шуму і траєкторій польоту, які можуть стати перешкодою на шляху до прийняття цієї технології.

У статті досліджено потенціал використання дронів у логістичних системах, зокрема в сегменті доставки "останньої милі". Проведено систематичний огляд літератури, де виявлено ключові переваги дронів: зниження часу доставки, оптимізація витрат і зменшення впливу на довкілля. Розглянуто основні виклики, включаючи обмеження дальності польоту, нормативні бар'єри та інтеграцію з традиційними логістичними ланцюгами. Аналіз також охоплює приклади реальних впроваджень дронів у логістиці, акцентуючи увагу на їх впливі на гнучкість і стійкість логістичних систем. Запропоновано напрями подальших досліджень для вдосконалення технологій доставки.

## References

1. Drones for supply chain management and logistics: a review and research agenda / A. Rejeb et al. *International journal of logistics research and applications*. 2021. P. 1–24. URL: <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1981273>
2. Cascetta E. *Transportation systems engineering: theory and methods*. Boston, MA: Springer US, 2001. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6873-2>
3. Zhang J., He S. Smart technologies and urban life: a behavioral and social perspective. *Sustainable cities and society*. 2020. Vol. 63. P. 102460. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102460>
4. Drone-Edge coalesce for energy-aware and sustainable service delivery for smart city applications / X. Ren et al. *Sustainable cities and society*. 2022. Vol. 77. P. 103505. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103505>
5. Alonso Raposo, M., Ciuffo, B., Ardente, F., Aurambout, J.-P., Baldini, G., Braun, R., Christidis, P., Christodoulou, A., Duboz, A., Felici, S., Ferragut, J., Georgakaki, A., Gkoumas, K., Grosso, M., Iglesias, M., Julea, A., Krause, J., Martens, B., Mathieux, F., Menzel, G., Mondello, S., Navajas Cawood, E., Pekár, F., Raileanu, I.-C., Scholz, H., Tamba, M., Tsakalidis, A., van Balen, M., Vandecasteele, I. (2019). The future of road transport: Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility. EUR 29748 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/920223.
6. Gkoumas, K., Van Balen, M., Tsakalidis, A., Pekar, F. (2020). Connected and Automated Transport Research and Innovation Capacity in Europe. *Transportation Research Procedia*, 48, 1778–1788. doi:10.1016/j.trpro.2020.08.213.
7. Transforming last-mile logistics / O. Bates et al. *The 2018 CHI conference*, Montreal QC, Canada, 21–26 April 2018. New York, New York, USA, 2018. URL: <https://doi.org/10.1145/3173574.3174100>
8. Tassinari, A., & Maccarrone, V. (2020). Riders on the storm: Workplace solidarity among gig economy couriers in Italy and the UK. *Work, Employment and Society*, 34(1), 35–54. <https://doi.org/10.1177/0950017019862954>.
9. Multi-level fulfillment center for unmanned aerial vehicles: patent US9777502B2 United States: US9777502B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US9777502B2/en>
10. Crowdsourced last-mile delivery with parcel lockers / H. Ghaderi et al. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 251. P. 108549. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108549>
11. Kirschstein T. Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services. *Transportation research part D: transport and environment*. 2020. Vol. 78. P. 102209. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102209>
12. Unravelling the last-mile conundrum: a comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied european landscapes / A. Garus et al. *Sustainable cities and society*. 2024. P. 105490. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105490>
13. Shared mobility in post-COVID era: new challenges and opportunities / S. Shokouhyar et al. *Sustainable cities and society*. 2021. Vol. 67. P. 102714. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102714>
14. Federated cooperative detection of anomalous vehicle trajectories at intersections / C. Koetsier et al. *SIGSPATIAL '21: 29th international conference on advances in geographic information systems*, Beijing China. New York, NY, USA, 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3486626.3493439>
15. A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision / L. Ranieri et al. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, no. 3. P. 782. URL: <https://doi.org/10.3390/su10030782>

16. Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery / J. K. Stolaroff et al. *Nature communications*. 2018. Vol. 9, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02411-5>
17. Measuring the effects of drone delivery in the united states / L.-H. Sarah et al. *Virginia tech*. 2020. URL: <http://hdl.handle.net/10919/100104>.
18. The use of drones for last-mile delivery: a numerical case study in milan, italy / F. Borghetti et al. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, no. 3. P. 1766. URL: <https://doi.org/10.3390/su14031766>
19. Synthesis of freight research in urban transportation planning / G. Giuliano et al. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2013. URL: <https://doi.org/10.17226/22573>
20. Manna drone delivery. *Manna Drone Delivery*. URL: <https://www.manna.aero/>
21. Flytrex - drone delivery. *Flytrex - Drone Delivery*. URL: <https://www.flytrex.com/>
22. Xôi Lạc TV – Xem trực tiếp bóng đá full HD, phát sóng 24/7 hoàn toàn miễn phí. *Xoilac TV trực tiếp bóng đá Full HD miễn phí với chất lượng cao*. URL: <https://flirtey.com/>
23. Wing drone delivery. *Wing drone delivery*. URL: <https://wing.com/>
24. Aurambout J.-P., Gkoumas K., Ciuffo B. Last mile delivery by drones: an estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. *European transport research review*. 2019. Vol. 11, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0368-2>
25. Stonor C. Three months on: How is the Manna drone delivery Tesco trial in Oranmore “actually going?”. *The information portal for air taxi and urban drone operations*. URL: <https://www.urbanairmobilitynews.com/express-delivery/three-months-on-how-is-the-manna-drone-delivery-tesco-trial-in-oranmore-actually-going/>
26. Tole L. Changes in the built vs. non-built environment in a rapidly urbanizing region: A case study of the Greater Toronto Area. *Computers, environment and urban systems*. 2008. Vol. 32, no. 5. P. 355–364. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.08.002>
27. Dijkstra, L., H. Poelman and P. Veneri (2019), "The EU-OECD definition of a functional urban area", OECD Regional Development Working Papers, No. 2019/11, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d58cb34d-en>