

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 629.735.4:656.073:504.06

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2026.1-28.09>

### БЕЗПІЛОТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ ГУМАНІТАРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

І.М. Герасименко<sup>1</sup>, С.В. Пронь<sup>2</sup>, О.В. Пронь<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.е.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій і систем  
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-4297-3973

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних технологій і систем  
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-1177-9588

<sup>3</sup>аспірант,  
Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна  
ORCID ID: 0009-0000-5693-2630

#### Анотація

**Вступ.** У сучасних умовах воєнних конфліктів, зокрема на території України, природних катастроф і техногенних аварій ефективність гуманітарних перевезень значною мірою залежить від стійкості логістичної інфраструктури та швидкості реагування. Руйнування транспортних шляхів, обмежений доступ до постраждалих територій і високі ризики для персоналу зумовлюють необхідність пошуку альтернативних логістичних рішень. Одним із перспективних напрямів є використання безпілотних літальних апаратів у системі гуманітарної логістики. **Метою** дослідження є обґрунтування доцільності застосування багаторівневої логістичної системи на основі безпілотних технологій для оптимізації гуманітарних перевезень, а також оцінка її пропускної здатності, економічності ефективності та екологічної безпеки. **Результати.** Запропоновано багаторівневу логістичну систему для перевезення гуманітарних вантажів, що поєднує магистральні безпілотні літальні апарати для міжшахових перевезень, VTOL-БПЛА для регіональної доставки та важкі мультикоптери для забезпечення «останньої милі». Проведено розрахунок добової пропускної здатності та витрат для кожного рівня логістичної системи. Встановлено, що запропонована багаторівнева система дозволяє забезпечити доставку до 2950 кг гуманітарних вантажів на добу при відносно помірних експлуатаційних витратах, забезпечуючи високу гнучкість і адаптивність логістичних процесів, що, в свою чергу, зможе врятувати не одне українське життя. Також визначено, що впровадження БПЛА технологій дозволяє знизити викиди вуглекислого газу до 60 % порівняно з традиційним транспортом, а використання повністю електричних БПЛА на локальному рівні забезпечує нульовий рівень шкідливих викидів, що суттєво підвищує



екологічну безпеку операцій у постраждалих регіонах. **Висновки.** Доведено, що використання багаторівневої логістичної системи БПЛА підвищує оперативність і безпеку гуманітарних перевезень, зменшує залежність від стану наземної інфраструктури та дозволяє мінімізувати ризики для персоналу. Запропонований підхід може бути ефективно застосований у кризових та післякризових умовах, зокрема під час гуманітарних операцій в зонах з обмеженим транспортним сполученням, таких як постраждалі райони України та відповідає принципам «зеленої логістики» і має місце для екологічно стійкого відновлення транспортного сполучення.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, гуманітарні перевезення, багаторівнева логістична система, пропускна здатність, собівартість, екологічна безпека, кризове реагування.

### UNMANNED TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR OPTIMIZING HUMANITARIAN TRANSPORTATION AND ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY

I.M. Herasymenko<sup>1</sup>, S.V. Pron<sup>2</sup>, O.V. Pron<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor  
of the Department of Transport Technologies and Systems,  
State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-4297-3973

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor  
of the Department of Transport Technologies and Systems,  
State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-1177-9588

<sup>3</sup>PhD student,  
State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0009-0000-5693-2630

#### **Summary**

**Introduction.** In the current conditions of military conflicts, in particular on the territory of Ukraine, as well as natural disasters and technogenic accidents, the efficiency of humanitarian transportation largely depends on the resilience of logistics infrastructure and the speed of response. The destruction of transport routes, limited access to affected areas, and high risks to personnel necessitate the search for alternative logistics solutions. One of the promising approaches is the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in humanitarian logistics systems. The purpose of this study is to substantiate the feasibility of applying a multi-level logistics system based on unmanned technologies to optimize humanitarian transportation, as well as to assess its throughput capacity, economic efficiency, and environmental safety. **Results.** A multi-level logistics system for humanitarian cargo transportation is proposed, combining mainline unmanned aerial vehicles for inter-hub transportation, VTOL UAVs for regional distribution, and heavy multicopters to ensure last-mile delivery. The daily throughput capacity and operating costs for each level of the logistics system were calculated. It was found that the proposed multi-level system enables the delivery of up to **2950 kg of humanitarian cargo per day** at relatively moderate operating costs,

while providing high flexibility and adaptability of logistics processes, which, in turn, can save many Ukrainian lives. It was also determined that the implementation of UAV technologies allows for a reduction in carbon dioxide emissions by up to **60 %** compared to traditional transport, while the use of fully electric UAVs at the local level ensures zero harmful emissions, significantly enhancing the environmental safety of operations in affected regions. **Conclusions.** It has been proven that the use of a multi-level UAV-based logistics system increases the responsiveness and safety of humanitarian transportation, reduces dependence on the condition of ground infrastructure, and minimizes risks to personnel. The proposed approach can be effectively applied in crisis and post-crisis conditions, particularly during humanitarian operations in areas with limited transport connectivity, such as the affected regions of Ukraine, and complies with the principles of green logistics, contributing to environmentally sustainable restoration of transport connectivity.

**Key words:** unmanned aerial vehicles, humanitarian transportation, multi-level logistics system, throughput capacity, cost efficiency, environmental safety, crisis response.

**Вступ.** У сучасних умовах зростання кількості збройних конфліктів, природних катастроф та техногенних аварій гуманітарні перевезення набувають особливої важливості, як ключовий елемент системи реагування на надзвичайні ситуації. Оперативна доставка гуманітарної допомоги – продовольства, медикаментів, засобів першої необхідності – безпосередньо впливає на рівень виживання населення та ефективність гуманітарних місій загалом. Водночас традиційні логістичні підходи часто стикаються з низкою обмежень, зокрема пошкодженою транспортною інфраструктурою, високими ризиками для персоналу, обмеженим доступом до віддалених або небезпечних територій.

У зв'язку з цим актуалізується потреба у впровадженні інноваційних технологічних рішень, здатних підвищити швидкість, безпеку та економічну ефективність гуманітарних перевезень. Одним із таких перспективних напрямів є використання безпілотних літальних апаратів, які відкривають нові можливості для оптимізації логістичних процесів. Завдяки автономності, мобільності та здатності працювати в складних умовах безпілотні технології дозволяють мінімізувати часові витрати, зменшити залежність від стану дорожньої мережі та знизити ризики для людських ресурсів.

**Постановка проблеми.** Через повномасштабне вторгнення РФ, Україна потерпає від масованих ракетних та артилерійських обстрілів населених пунктів, що є причиною загибелі багатьох людей, руйнувань житлових будинків, об'єктів інфраструктури, в тому числі критичної, та призводить до паливно-енергетичної кризи, порушення процесів забезпечення населення продуктами харчування, непродовольчими товарами першої необхідності, ліками, загострюючи гуманітарні потреби мільйонів людей. Зважаючи на це, в умовах сьогодення, постає значна проблема гуманітарного забезпечення населення. Таким чином, дослідження потенціалу безпілотних технологій у сфері гуманітарних перевезень є актуальним науково-практичним завданням, що відповідає сучасним викликам та потребам гуманітарної логістики.

Виходячи з вищенаведеного, наукове та практичне значення проблеми полягає в необхідності вирішення наступних завдань:

- проаналізувати стан та виклики сучасної гуманітарної логістики в Україні в умовах воєнного стану та обґрунтувати необхідність впровадження безпілотних технологій;
- розробити концепцію багаторівневої логістичної системи на основі різних типів БПЛА (магістрального, регіонального та локального рівнів);
- розрахувати добову пропускну здатність запропонованої системи для оцінки її операційної ефективності;
- провести порівняльний економічний аналіз собівартості перевезень на різних рівнях логістичного ланцюга;
- оцінити екологічний ефект від впровадження безпілотних технологій у контексті концепції «зеленої логістики».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями, пов'язаними із організацією доставки вантажів гуманітарної допомоги, а також використанням авіаційного компонента в логістичних системах, займалася низка вітчизняних науковців, таких як: Григорак М. Ю., Григоренко О.В., Гринів Н. Т., Кабанова О. О., Колосок Е. В., Лифар В. В., Метенко А.С., Мікуліна М. О., Мироненко В. К., Позднякова Л. О., Равликівська А. А., Репіч Т. А., Рудь Ю. Л., Сапіга Р. І., Смирнова І. Г., Ступницький О. І., Чуприна О. О. [1–3; 9–13]. Але в наведених працях не враховані реалії українського сьогодення: повномасштабне вторгнення РФ на територію України та, як наслідок, безліч надзвичайних ситуацій у великих містах та маленьких містечках; селах та селищах; значна частина населення постраждалих регіонів, це люди, яким потрібна допомога. У цих наукових працях досліджено організацію перевезень гуманітарних вантажів різними видами транспорту. Організація доставки гуманітарних вантажів за допомогою безпілотних літальних апаратів висвітлена недостатньо та потребує вдосконалення.

**Формулювання цілей статті.** Основними цілями статті є дослідження та комплексна оцінка ефективності різних видів безпілотних літальних апаратів як інструменту доставки гуманітарної допомоги в умовах воєнного часу.

**Виклад основного матеріалу.** Сьогодні безпілотні літальні апарати ширше, ніж будь-коли раніше, застосовують як у цивільній, так і у військовій сферах. Так, різні види БПЛА все частіше використовують у логістиці, для контролю технічного стану, безпеки та процесів функціонування різних об'єктів і систем, зокрема у сфері захисту довкілля, аграрному секторі, лісовому господарстві, на залізничному транспорті, при організації морських пошуково-рятувальних операцій, для потреб поліції, у проти-пожежних роботах, для інспекції стану конструкцій, трубопроводів тощо.

У багатьох країнах світу застосовують БПЛА для перевезення гуманітарних вантажів, наприклад: Гана – застосовують БПЛА для регулярної доставки крові та вакцин; Вануату – застосовують БПЛА для доставки вакцин у віддалені селища на островах; США, ЄС – для пілотних програм доставки медикаментів під час стихійних лих; Україна – у волонтерських програмах доставки медикаментів у зони складної логістики.

Використання безпілотних літальних апаратів для перевезення гуманітарних вантажів дедалі активніше застосовується у світі завдяки їхній мобільності,

доступності та здатності працювати там, де традиційний транспорт недоступний або небезпечний.

Основними сферами застосування безпілотних літальних апаратів є:

1. Доставка медикаментів і медичних зразків
  - транспортування донорської крові, вакцин, антибіотиків;
  - доставка лабораторних зразків у важкодоступні регіони;
  - екстрена доставка в зони стихійних лих чи ізоляції.
2. Доставка продуктових наборів та засобів першої необхідності
  - в райони, заблоковані через руйнування доріг;
  - у гірські чи затоплені території;
  - у віддалені населені пункти.
3. Підтримка пошуково-рятувальних робіт
  - доставка води, теплих ковдр та засобів виживання людям, яких не можуть

швидко евакуювати.

Основними перевагами застосування БПЛА при перевезенні гуманітарних вантажів є [4–6]:

1. Швидкість реагування

БПЛА можуть долати маршрути у 2–10 разів швидше за наземний транспорт у складних умовах.

2. Доступ до важкодоступних районів
  - зони повеней;
  - території після землетрусів;
  - місця з відсутньою або пошкодженою інфраструктурою;
  - зони військових дій.
3. Низька вартість та автономність
  - менше пального;
  - автоматизоване планування маршрутів;
  - можливість працювати без великої кількості персоналу.

4. Безпечність для персоналу

Не потрібно ризикувати життям волонтерів або медиків при доставці.

5. Екологічна стійкість

Перехід на безпілотні технології дозволяє суттєво знизити обсяги викидів вуглекислого газу та оксидів азоту порівняно з використанням вантажних автомобілів, особливо на маршрутах зі зруйнованою інфраструктурою, де традиційний транспорт змушений використовувати обхідні шляхи.

Також є деякі недоліки [7, 8] при використанні БПЛА для перевезення гуманітарних вантажів, це стосується технічних обмежень, таких як:

1. Обмежена вантажопідйомність
  - більшість легких БПЛА перевозять 1–5 кг,
  - спеціалізовані вантажні БПЛА перевозять 20–200 кг, але вони дорожчі та масивні.

2. Радіус дії та автономність

Залежить від моделі БПЛА, як правило, 5–100 км. Потребує станцій підзарядки.

3. Погодні умови

Сильний вітер, дощ, мороз можуть знизити можливості БПЛА.

При застосуванні БПЛА також існують проблеми регуляторного характеру, такі як:

1. Необхідність дозволів

У більшості країн польоти БПЛА потребують:

- дозвіл авіаційних органів;
- реєстрацію обладнання;
- дотримання правил безпеки польотів.

Застосування безпілотних літальних апаратів істотно підвищує оперативність та результативність доставки гуманітарних вантажів, зокрема в умовах надзвичайних ситуацій. В умовах збройної агресії російської федерації проти України зазначені умови істотно ускладнюються внаслідок систематичних ракетно-дронових обстрілів, спрямованих на ураження критичної інфраструктури України, зокрема, припортової інфраструктури Одеської області.

У військовому вимірі такі удари є елементом стратегії РФ, спрямованої на поступове виснаження можливостей української протиповітряної оборони та знищення об'єктів критичної інфраструктури. Атаки переважно здійснюються в нічний період із залученням різних типів засобів ураження. Противник застосовує комбіновану тактику, поєднуючи дрони-камікадзе Shahed-136/131 із крилатими ракетами різного типу, зокрема Х-22, «Онiкс», «Калiбр», а також балістичне озброєння. Основними цілями ударів залишаються об'єкти портової інфраструктури Одеської області – зернові термінали, складські приміщення та логістичні вузли, а також енергетичні об'єкти, агропромислові підприємства і житлова забудова.

Атаки на прибережні території мають на меті не лише завдання матеріальних збитків, а й створення психологічного тиску та порушення функціонування морських шляхів експорту, зокрема так званого «зернового коридору».

З гуманітарної точки зору, ситуація описується як кризова і така, що спричиняє значні страждання для цивільного населення. Регулярні атаки призводять до знищення житлових будинків, об'єктів критичної інфраструктури, історичних будівель та культурної спадщини. На жаль, обстріли регулярно призводять до поранень та загибелі мирних жителів. Населення регіону живе в умовах хронічного стресу, що негативно впливає на психічне здоров'я та якість життя. Повітряні тривоги стали повсякденною реальністю.

Обстріли півдня України – це регулярні, комбіновані ракетно-дронові удари, які несуть руйнування критичної інфраструктури та цивільного житла, спричиняючи гуманітарну кризу та постійну небезпеку для місцевого населення.

Більш за все від російських обстрілів потерпають припортові містечка у Одеській області, такі як: Чорноморськ, Південне, Белгород-Дністровський, які знаходяться в 30–80 км від Міжнародного аеропорту «Одеса», який може бути відправною точкою для такої гуманітарної місії. В статті пропонується застосування безпілотних літальних апаратів для доставки гуманітарних вантажів, а саме товарів медичного спрямування (ліків) та товарів першої необхідності у постраждалих районах півдня України.

Вибір Міжнародного аеропорту «Одеса» як базового хабу для організації перевезень гуманітарних вантажів за допомогою БПЛА, зумовлений його

стратегічним географічним розташуванням, що дозволяє забезпечити оперативне логістичне покриття найбільш постраждалих районів Півдня України, включаючи важкодоступні та деокуповані території. Використання безпілотних авіаційних систем є критично необхідним рішенням в умовах пошкодженої наземної інфраструктури та мінної небезпеки, оскільки дозволяє організувати доставку без прив'язки до стану автомобільних доріг. Впровадження БПЛА мінімізує ризики для життя екіпажів та суттєво скорочує час транспортування термінових медичних вантажів та товарів першої необхідності, порівняно з традиційною логістикою. Наявна інфраструктура аеропорту створює ідеальні умови для технічного обслуговування флоту та інтеграції авіадоставки у мультимодальні ланцюги з морськими та залізничними портами регіону. Це дозволить сформувати економічно ефективну та мобільну систему гуманітарного реагування, здатну функціонувати в умовах закритого повітряного простору для цивільної пілотованої авіації.

Рациональним рішенням зазначеної проблеми є створення багаторівневої логістичної системи з використанням безпілотних літальних апаратів, що поєднує переваги різних типів БПЛА відповідно до функціонального призначення маршрутів на трьох рівнях: магістральному, регіональному та локальному. Концепція багаторівневості дозволяє диференціювати логістичні потоки за дальністю, масою вантажу та оперативністю доставки, забезпечуючи оптимальне використання технічних ресурсів.

На магістральному рівні система передбачає застосування далекобійних безпілотних апаратів типу Dronamics Black Swan для перевезення значних обсягів гуманітарних вантажів між великими логістичними хабами (наприклад, між центральними складами в тилкових регіонах та базовим хабом у м. Одеса). Dronamics Black Swan [14] – довгобійний фіксованокрилий карго-дрон, оптимізований саме під авіаперевезення вантажів між великими хабами, з великою дальністю до 2500 км і вантажопідйомністю 350 кг, що робить його аналогом безпілотних вантажних літаків ближче до магістральної логістики. Використання таких БПЛА дозволяє суттєво скоротити час доставки критично важливих вантажів (медикаментів, медичного обладнання, генераторів, засобів енергозабезпечення), мінімізуючи залежність від наземних транспортних коридорів та зменшуючи ризики ураження колон автотранспорту.

Регіональний рівень логістичної системи базується на використанні VTOL-БПЛА (Pipistrel Nuuva V300), які поєднують значну вантажопідйомність із можливістю вертикального зльоту та посадки. Pipistrel Nuuva V300 [15] – гібридно-електричний VTOL для середніх і довгих маршрутів (до 300 км з середнім вантажем і потенційно значно більше при зменшенні навантаження), здатний перевозити до 460 кг вантажу та вертикально злітати/сідати без злітно-посадкової смуги з готовими площадками чи майданчиками для польових вузлів зв'язку чи лікарень. Це забезпечує гнучкість у виборі пунктів відправлення та прийому вантажів, що є критично важливим в умовах пошкоджених або недоступних аеродромів. На цьому рівні здійснюється доставка гуманітарних вантажів із базового хаба до районних центрів та опорних пунктів розподілу, включаючи лікарні, гуманітарні склади та пункти тимчасового розміщення населення.

Локальний рівень («остання миля») реалізується за допомогою важких мультикоптерів типу Volocopter Volo Drone, які характеризуються високою точністю доставки, можливістю зависання та посадки на обмежених майданчиках. Volocopter Volo Drone [16] – важкий мультикоптер-дрон, призначений для коротких польотів («останньої милі») з вантажами до 200 кг; має повністю електричну силову установку, що забезпечує маневреність та високий рівень безпеки. Це дозволяє забезпечувати безпосередню доставку гуманітарної допомоги до конкретних об'єктів: медичних закладів, пунктів видачі допомоги, житлових кварталів, що зазнали руйнувань. Висока інтенсивність рейсів та низька собівартість перевезення на цьому рівні роблять його найбільш ефективним з економічної точки зору.

Таким чином, багаторівнева логістична система з використанням БПЛА формує замкнений та взаємопов'язаний ланцюг гуманітарних перевезень, у якому кожен рівень виконує чітко визначену функцію. Такий підхід забезпечує підвищення пропускної здатності системи, скорочення часу доставки, зниження експлуатаційних витрат і, що є принципово важливим, мінімізацію ризиків для персоналу, що виконують гуманітарні перевезення.

Для постраждалих районів півдня України впровадження багаторівневої безпілотної логістичної системи є не лише технічно доцільним, а й стратегічно обґрунтованим рішенням, здатним суттєво підвищити стійкість гуманітарного забезпечення в умовах воєнного часу та закласти основу для післявоєнного відновлення регіону.

Порівняння технічних характеристик обраних безпілотної літальних апаратів представлено у таблиці 1.

Порівняльний аналіз технічних характеристик обраних БПЛА свідчить про доцільність їх використання в межах багаторівневої логістичної системи гуманітарних перевезень. Запропонована багаторівнева система ґрунтується на ієрархічному розподілі логістичних функцій між різними типами безпілотної літальних апаратів залежно від дальності маршруту, маси вантажу та оперативності доставки. Система складається з трьох взаємопов'язаних рівнів: магістрального, регіонального та локального. На магістральному рівні БПЛА може забезпечити транспортування гуманітарних вантажів між основними логістичними центрами, регіонального рівня, та сприяти доставці вантажів із регіональних хабів до районних пунктів. На локальному рівні БПЛА можуть забезпечувати безпосередню доставку вантажів до кінцевих отримувачів.

Для забезпечення стабільного та прогнозованого функціонування логістичної системи необхідно чітко визначити її технічні можливості, одним із ключових показників яких є пропускна здатність. Пропускна здатність системи гуманітарних перевезень із використанням безпілотної технологій визначається сукупністю технічних характеристик БПЛА, дальністю польоту, корисним навантаженням та кількістю можливих рейсів протягом доби. Для орієнтовної оцінки системи прийнято припущення, що на кожному маршруті працює один безпілотної літальний апарат, а кількість рейсів на день залежить від тривалості польоту, часу на завантаження/розвантаження та технічного обслуговування. Вихідні дані та результати розрахунків пропускної здатності системи представлено у таблиці 2.

Таблиця 1

Технічні характеристики обраних БПЛА [14–16]

Показник	PipistrelNuuva V300 (Словенія)	VolocopterVoloDrone (Німеччина)	Dronamics BlackSwan (Болгарія / ЄС)
Тип платформи	гібридно-електричний VTOL вантажний БПЛА	важкий eVTOL мультикоптер для вантажів	фіксовано крилий карго-дрон
Призначення	магістральні та регіональні перевезення вантажів	доставка «останньої милі» / важкий вантаж	магістральні перевезення вантажів airport-to-airport
Вантажо-підйомність	300–460 кг	до 200 кг	до 350 кг
Макс. злітна маса / MTOW	1700 кг	800 кг	орієнтована велика MTOW для далекого польоту
Дальність / радіус дії	300 км з 300 кг (до 2500 км з меншим навантаженням)	40 км	2500 км
Тривалість польоту / час	до 12 год	30 хв	залежить від маршруту і навантаження (велика дальність)
Крейсерська швидкість	165 км/год	80 км/год	200 км/год
Макс. швидкість	220 км/год	110 км/год	200 км/год
Висота польоту / потолок	до 6000 м	не зазначено чітко	6000 м / 20 000 фт
Силова установка	8 електродвигунів VTOL + 1 двигун внутр. згоряння	18 електродвигунів	поршневий двигун (Rotax або подібний)
Особливості	VTOL без смуги, великий вантажний відсік 3 м <sup>3</sup>	повністю електричний; змінні батареї	великий радіус і вантажний простір (3.5 м <sup>3</sup> )
Екологічні характеристики	нульові локальні викиди під час зльоту та посадки завдяки електричним двигунам	повністю екологічно чистий (Zero-emission) за рахунок 18 електродвигунів	до 60 % менше викидів CO <sub>2</sub> порівняно з дизельними фургонами

Таблиця 2

Пропускна здатність багаторівневої логістичної системи [14, 15, 16]

Рівень системи	Вантажо-підйомність, кг	Дальність польоту, км	Кількість рейсів на добу	Добова пропускна здатність, кг/доба
Магістральний рівень (Dronamics Black Swan)	350	1500	1	350
Регіональний рівень (Pipistrel Nuuva V300)	300	300	2	600
Локальний рівень (Volocopter Volo Drone)	200	40	10	2000
<b>Всього</b>				2950

БПЛА типу VTOL (Pipistrel Nuuva V300) за умови корисного навантаження 300 кг та дальності польоту до 300 км, здатний виконувати в середньому два рейси на добу. Це зумовлено необхідністю повернення апарата на базу, заряджання або дозаправлення, а також обмеженнями робочого циклу. VTOL-платформи доцільно використовувати для регіональних термінових гуманітарних перевезень, зокрема доставки медикаментів, крові, вакцин та засобів першої необхідності у межах області або між сусідніми регіонами.

БПЛА типу Heavy-lift (Volocopter Volo Drone) призначені для інтенсивних коротких маршрутів з високою частотою рейсів [16]. За умови вантажопідйомності 200 кг та відстані до 40 км, один БПЛА може виконувати до 10 рейсів на день. Така висока інтенсивність пояснюється малою тривалістю польоту та швидким циклом завантаження/розвантаження. Цей тип апаратів є найбільш ефективним для внутрішньоміських та сільських маршрутів, доставки гуманітарної допомоги у важкодоступні населені пункти, а також для розподілу вантажів між локальними пунктами зберігання.

БПЛА типу Black Swan (Dronamics Black Swan) орієнтовані на виконання далекомагістральних перевезень між великими логістичними хабами. За вантажопідйомності 350 кг та дальності польоту до 1500 км, такий БПЛА, як правило, здатний виконати один рейс на добу, що пов'язано з тривалістю польоту та складністю підготовки. Black Swan доцільно використовувати для міжрегіональних та міжнародних гуманітарних перевезень, швидкої доставки критично важливих вантажів між центральними складами, гуманітарними хабами та зонами кризового реагування.

Багаторівнева логістична система здатна забезпечити перевезення до 3 тонн гуманітарних вантажів на добу при використанні по одному БПЛА кожного типу. Такий розподіл дозволить мінімізувати простій БПЛА, оптимізувати витрати пального та електроенергії, адаптувати систему до змін обстановки та обсягів гуманітарної допомоги. Поєднання різних типів БПЛА дозволяє оптимізувати використання ресурсів, зменшити час доставки гуманітарної допомоги та підвищити загальну пропускну здатність системи в умовах надзвичайних ситуацій.

Упровадження безпілотних літальних апаратів у логістичні процеси відкриває нові можливості для підвищення швидкості, гнучкості та ефективності доставки вантажів. Проте поряд із технічними перевагами важливим чинником залишається економічна доцільність такої системи. Саме тому ключовим етапом проектування багаторівневої логістичної системи з використанням БПЛА є розрахунок її собівартості.

Собівартість перевезення гуманітарних вантажів за допомогою БПЛА визначається як сукупність експлуатаційних витрат, що припадають на одиницю маси вантажу або на один рейс. Для спрощеного порівняльного аналізу в межах даного дослідження використано укрупнений підхід, який включає: витрати на енергоносії (паливо або електроенергію), технічне обслуговування, амортизацію БПЛА, операційні витрати (контроль, зв'язок, планування польоту).

Розрахунок здійснюється за формулою 1:

$$C_o = C_p * N, \quad (1)$$

де  $C_o$  – добові витрати, €/добу;

$C_p$  – вартість одного рейсу, €/рейс;

$N$  – кількість рейсів на добу.

Собівартість перевезення 1 кг вантажу визначається за формулою 2:

$$C_{\text{кг}} = \frac{C_o}{Q_o}, \quad (2)$$

де  $Q_o$  – добова маса перевезеного вантажу, кг.

Результати розрахунків зведено у таблицю 3.

Найнижча собівартість перевезень гуманітарних вантажів є на локальному рівні («остання миля») – 0,135 €/кг, що пояснюється високою частотою рейсів та використанням електричної силової установки. БПЛА типу Heavy-lift (Volocopter Volo Drone) ефективно застосовувати для дуже точної доставки «останньої милі» до лікарень, портів, складських майданчиків, постраждалих кварталів на короткий радіус, що компенсується високою точністю і можливістю зависання.

Таблиця 3

**Собівартість гуманітарних перевезень  
у багаторівневій логістичній системі БПЛА**

Рівень системи	Вартість одного рейсу, €/рейс	Кількість рейсів на добу	Добові витрати, €/добу	Добова маса перевезеного вантажу, кг	Собівартість перевезення, €/кг
Магістральний рівень (Dronamics Black Swan)	800	1	800	350	2,290
Регіональний рівень (Pipistrel Nuuva V300)	300	2	600	300	1,000
Локальний рівень (Volocopter Volo Drone)	27	10	270	200	0,135
<b>Всього</b>			1670	2950	0,570

Найнижча собівартість перевезень гуманітарних вантажів є на локальному рівні («остання миля») – 0,135 €/кг, що пояснюється високою частотою рейсів та використанням електричної силової установки. БПЛА типу Heavy-lift (Volocopter Volo Drone) ефективно застосовувати для дуже точної доставки «останньої милі» до лікарень, портів, складських майданчиків, постраждалих кварталів на короткий радіус, що компенсується високою точністю і можливістю зависання.

Регіональний рівень (VTOL) забезпечує оптимальне співвідношення дальності та витрат, собівартість на цьому рівні становить 1,000 €/кг. VTOL (Pipistrel Nuuva V300) дуже ефективно застосовувати для регіональних гуманітарних перевезень (медикаменти, вакцини) від головного хаба (Міжнародного аеропорту «Одеса») до районних центрів (Чорноморськ, Південне, Белгород Дністровський).

Магістральні перевезення Black Swan (Dronamics Black Swan) мають найвищу собівартість – 2,290 €/кг, але вони є стратегічно необхідними для міжміських перевезень та швидкого переміщення вантажів гуманітарного характеру між великими хабами (Одеса – Київ, Одеса – Львів).

Розрахунок собівартості підтверджує економічну доцільність впровадження багаторівневої системи БПЛА для перевезень гуманітарних вантажів, оскільки поєднання різних типів безпілотників дозволяє суттєво знизити середні логістичні витрати при одночасному підвищенні оперативності доставки. Середня

собівартість багаторівневої логістичної системи становить 0,570 €/кг, що є конкурентним показником у порівнянні з традиційними видами транспорту в кризових умовах.

Побудована багаторівнева логістична система (рис. 1) дозволяє мінімізувати середню собівартість гуманітарних перевезень, перерозподіляючи обсяги вантажів між рівнями відповідно до їх функціонального призначення. Найбільш економічно ефективним є локальний рівень доставки, тоді як магістральний рівень виконує критично важливу функцію швидкого переміщення вантажів на великі відстані, незважаючи на вищу собівартість. Ця багаторівнева логістична система дозволяє оптимізувати швидкість і собівартість перевезень, розподіливши завантаження між трьома рівнями.

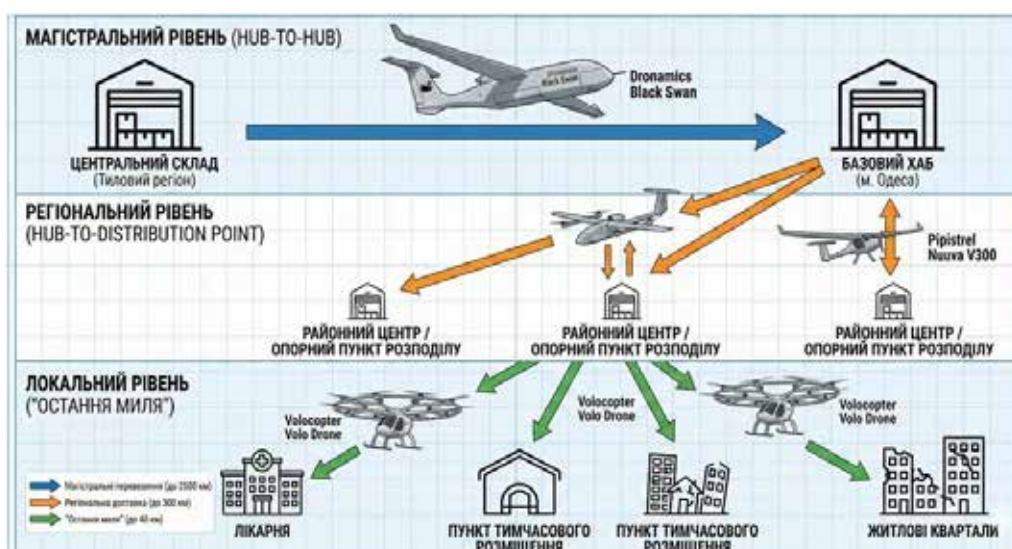


Рис. 1. Багаторівнева логістична система застосування безпілотних літальних апаратів для доставки гуманітарних вантажів

Запропонована багаторівнева логістична система БПЛА демонструє високу ефективність у забезпеченні гуманітарних перевезень за рахунок чіткого розподілу функцій між різними типами безпілотних літальних апаратів. Поділ логістики на регіональний, локальний («остання миля») та магістральний рівні дозволяє оптимізувати використання технічних ресурсів відповідно до дальності, маси вантажу та оперативності доставки.

Аналіз екологічного аспекту підтверджує, що запропонована багаторівнева система відповідає принципам «зеленої логістики». Найбільший екологічний ефект досягається на локальному рівні (Volocopter Volo Drone), де прямі викиди в атмосферу повністю відсутні. Використання гібридного VTOL (Pipistrel Nuuva V300) на регіональних маршрутах дозволяє мінімізувати шумове та хімічне забруднення в районах лікарень та гуманітарних центрів. Загалом, впровадження системи дозволяє знизити вуглецевий слід гуманітарної місії на 40–55 % порівняно з традиційною логістикою на базі двигуна внутрішнього згорання.

**Висновки.** На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки.

1. Встановлено, що руйнування наземної інфраструктури та висока мінна небезпека в Україні роблять традиційні логістичні методи малоефективними. Доведено, що використання БПЛА є критично необхідним інструментом для забезпечення швидкості та безпеки доставки вантажів першої необхідності у постраждалих районах.

2. Запропоновано та теоретично обґрунтовано модель багаторівневої системи, що включає магістральні дрони (Dronamics Black Swan), VTOL-БПЛА (Pipistrel Nuvva V300) та важкі мультикоптери (Volocopter Volo Drone). Такий підхід дозволяє диференціювати вантажопотоки залежно від дальності та терміновості.

3. Визначено, що сумарна добова пропускна здатність системи за умови використання по одній одиниці БПЛА кожного типу становить 2950 кг. Це підтверджує здатність системи забезпечувати значні обсяги гуманітарної допомоги в автономному режимі.

4. Доведено економічну ефективність моделі: середня собівартість перевезень становить 0,570 €/кг. Найбільш рентабельним визначено локальний рівень («остання миля») із показником 0,135 €/кг, що досягається завдяки високій інтенсивності рейсів та низьким витратам на електроенергію.

5. Обґрунтовано екологічну доцільність проекту: впровадження БПЛА дозволяє знизити викиди вуглекислого газу на 40-60 % порівняно з традиційним автотранспортом. Використання повністю електричних апаратів на локальному рівні забезпечує нульовий рівень шкідливих викидів у зоні безпосередньої доставки (лікарні, житлові квартали).

Також, можна зазначити, що використання БПЛА значно знижує ризики для персоналу, адже не вимагає прямої участі людей у зоні бойових дій або на небезпечних територіях. БПЛА здатні працювати в районах із пошкодженою інфраструктурою, що робить їх незамінними для доставки гуманітарних вантажів у складних умовах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гринів Н. Гуманітарна логістика як інструмент трансформації логістичних потоків в умовах воєнного часу. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-4>
2. Чуприна О., Колосок Е., Григоренко О. Гуманітарна логістика: особливості розвитку в сучасних реаліях. *Економіка та суспільство*. 2023. № 58. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-39>
3. Мироненко В. К. Основи гуманітарної логістики та транспортного обслуговування в надзвичайних ситуаціях. Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг : колективна монографія / за ред. В. М. Самсонкіна та І. В. Ніколаєнко. Київ : Талком, 2021. 312 с.
4. Apte, A. A. Humanitarian Logistics: A New Field of Research and Action. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*. 2009. Vol. 7, № 4. P. 513–529.
5. Balcik, B., & Ak, D. Drones in Humanitarian Logistics: Opportunities, Challenges, and a Frame work for Implementation. *Journal of Operations Management*. 2021. Vol. 67, № 7. P. 945–963.

6. Scott, V., & Scott, V. Drones in humanitarian action: A review of the current landscape and future prospects. Geneva: Humanitarian UAV Network (UAViators), 2017. 65 p.
7. Tatham, P., & Balcik, B. The challenges of using drones in humanitarian supply chains. *Disasters*. 2019. Vol. 43, № 1. P. 100–121.
8. Плотніков О. В., Федоров В. М. Аналіз технічних характеристик безпілотних авіаційних комплексів, які можуть бути використані для доставки вантажів. 2020. № 6 (167). С. 27–34.
9. Пронь, С., Соловійова, *Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія»*. О., Герасименко, І., та Борець, І. (2020). Моделювання транспортно-виробничого комплексу при вирощуванні сільськогосподарських культур з урахуванням авіаційної складової. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. № 2 (3 (104)), С. 30–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198742>
10. Герасименко І. М., Пронь С. В., Висоцька І. І., Соловійова О. О. Застосування безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану лісових масивів у післявоєнний період. *Наукові записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 36 (75). № 1. Ч. 1. Видавництво “Helvetica”. С. 263–269. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/38>
11. Висоцька І., Валко А., Пронь С., Герасименко І., та Висоцький Ф. Визначення факторів безпеки повітряного транспорту, вразливих до актів незаконного втручання. *Східноєвропейський журнал корпоративних технологій*. 2025. № 2 (4 (134)). С. 54–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.328341>
12. Solomentsev O., Zaliskyi M., Kozhokhina O., Herasymenko T. “Efficiency of data processing for UAV operation system” 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), Kiev, Ukraine, 2017, pp. 27–31, doi: 10.1109/APUAVD.2017.8308769.
13. Sushchenko R., Zapara Y., Saienko V., Kostyushko V., Lytvynenko L., Pron S. Urban transport, logistics, and tourism: Review of a cutting-edge socially-oriented approach to industrial development. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*. 2023. № 22 (1). P. 101–111. <https://doi.org/10.31648/aspal.8069>
14. The Black Swan. Dronamics. URL: <https://www.dronamics.com/the-blackswan> (дата звернення: 16.01.2026).
15. Nuuva V300. Pipistrel. URL: <https://www.pipistrel-aircraft.com/air-cargo/> (дата звернення: 16.01.2026).
16. Volocopter. Volocopter. URL: <https://www.volocopter.com/en> (дата звернення: 16.01.2026).

## REFERENCES

1. Hryniv, N. (2023). Humanitarian logistics as a tool for transforming logistics flows in wartime conditions [Humanitarna lohistyka yak instrument transformatsii lohistychnykh potokiv v umovakh

- voiennoho chasu]. *Economy and Society*, 56. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-4> [in Ukrainian].
2. Chupryna, O., Kolosok, E., Hryhorenko O. (2023). Humanitarian logistics: features of development in modern realities [Humanitarna lohistyka: osoblyvosti rozvytku v suchasnykh realiiakh]. *Economy and Society*, 58. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-39> [in Ukrainian]
  3. Myronenko, V. K. (2021). Fundamentals of humanitarian logistics and transport services in emergencies. *Engineering of crises and risks of transport services [Osnovy humanitarnoi lohistyky ta transportnoho obsluhovuvannia v nadzvychainykh sytuatsiiakh. Inzhynirynh kryz ta ryzykiv transportnykh posluh]*: collective monograph / edited by V. M. Samsonkin and I. V. Nikolayenko. Kyiv: Talkom. 312 p. [in Ukrainian].
  4. Apte, A. A. (2009). Humanitarian Logistics: A New Field of Research and Action [Humanitarna lohistyka: nova haluz doslidzhen ta dii]. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 7 (4), 513–529.
  5. Balcik, B., & Ak, D. (2021). Drones in Humanitarian Logistics: Opportunities, Challenges, and a Frame work for Implementation [Humanitarna lohistyka: mozhlyvosti, vyklyky ta osnova dlia vprovadzhennia]. *Journal of Operations Management*, 67 (7), 945–963.
  6. Scott, V., & Scott, V. (2017). Drones in humanitarian action: A review of the current landscape and future prospects [Drony v humanitarnii diialnosti: ohliad suchasnoho stanu ta maibutni perspektyvy]. Geneva: Humanitarian UAV Network (UA Viators), 65 p.
  7. Tatham, P., & Balcik, B. (2019). The challenges of using drones in humanitarian supply chains [Problemy vykorystannia droniv u humanitarnykh lantsiuhakh postachannia]. *Disasters*, 43 (1), 100–121.
  8. Fedorov, V. M. (2020). Analysis of technical characteristics of unmanned aviation complexes that can be used for cargo delivery [Analiz tekhnichnykh kharakterystyk bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv, yaki mozhut buty vykorystani dlia dostavky vantazhiv]. *Scientific and technical journal "Aviation and space engineering and technology"*, 6 (167), 27–34. [in Ukrainian].
  9. Pron, S., Soloviova, O., Herasymenko, I., Borets, I. (2020). Modeling of the transport and production complex in the growing of agricultural crops, taking in to account the aviation component [Modeliuvannia transportno-vyrobnychoho kompleksu pry vyroshchuvanni silskohospodarskykh kultur z urakhuvanniam aviatsiinoi skladovoi]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2, (3 (104)), 30–39. Kharkiv, Ukraine. [in Ukrainian].
  10. Herasymenko, I.M., Pron, S.V., Vysotska, I.I., Soloviova, O.O. (2025). Application of unmanned aerial vehicles in monitoring the state of orostmassifs in the post-war period [Zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia monitorynhu stanu lisovykh masyviv u pislivoiennyi period]. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: "Technical Sciences"*, Vol. 36 (75), № 1, Part 1. Helvetica Publishing House, pp. 263–269 [in Ukrainian].

11. Vysotska, I., Valko, A., Pron, S., Herasymenko, I., Vysotskyi, F. (2025). Determination of air transport safety factor svulner abletoacts of un law ful interference [Vyznachennia faktoriv bezpeky povitrianoho transportu, vrazlyvykh do aktiv nezakonnoho vtruchannia]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (134)), 54–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.328341>. [in Ukrainian].
12. Solomentsev, O., Zaliskyi, M., Kozhokhina, O., Herasymenko, T. (2017). Efficiency of data processing for UAV operation system [Efektyvnist obrobky danykh dlia systemy upravlinnia BPLA]. 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), Kiev, Ukraine, pp. 27–31, doi: 10.1109/APUAVD.2017.8308769. [in Ukrainian].
13. Sushchenko R., Zapara Y., Saienko V., Kostiusenko, V., Lytvynenko, L., & Pron S. (2023). Urban transport, logistics, and tourism: Review of a cutting-edge socially-oriented approach to industrial development [Miskyi transport, lohistyka ta turyzm: ohliad peredovoho sotsialno oriientovanoho pidkhodu do promysloвого rozvytku]. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*, 22 (1), 101–111. <https://doi.org/10.31648/aspal.8069> [in Ukrainian].
14. The Black Swan. Dronamics. URL: <https://www.dronamics.com/theblackswan> (date of application: 01/16/2026).
15. Nuuva V300. Pipistrel. URL: <https://www.pipistrel-aircraft.com/air-cargo/> (date of application: 01/16/2026).
16. Volocopter. Volocopter. URL: <https://www.volocopter.com/en> (date of application: 01/16/2026).

Дата першого надходження статті до видання: 23.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.04.2026