

**П. В. Опенько**, канд. техн. наук, ст. досл.  
Інститут авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України

<https://orcid.org/0000-0001-7777-5101>

**О. М. Доска**, канд. техн. наук, доц.  
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

<https://orcid.org/0000-0002-9874-8716>

**О. М. Сампір**, Ph. D.  
Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова

<https://orcid.org/0000-0002-3564-1997>

## **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПЛАНУ ДОСТАВЛЯННЯ ВІЙСЬКОВИХ ВАНТАЖІВ НА ЛІНІЇ БОЙОВОГО ЗІТКНЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*Досвід війни за Незалежність України свідчить про те, що, починаючи з 2023 року, відбувається її технологічна трансформація. Безпілотні літальні апарати стали головним інструментом розвідки та ураження. Поле бою перетворилося на відкритий простір для спостереження: будь-яке зосередження техніки негайно фіксується та знищується. Через розвиток безпілотних літальних апаратів «сіра зона» (територія, яку не контролює жодна сторона) розширилася. Раніше вона могла бути кількасот метрів, проте зараз через постійний моніторинг з повітря вона може сягати до п'яти кілометрів, де будь-яка присутність людини чи техніки моментально викликає вогонь на ураження.*

*У таких умовах логістичне забезпечення підрозділів із використанням штатних транспортних засобів є майже неможливим, тому застосування безпілотних літальних апаратів та наземних роботизованих комплексів для логістики перетворилося з експерименту на життєву необхідність, особливо для підрозділів на лінії бойового зіткнення, де звичайний транспорт знищується за лічені хвилини.*

*Доставляння військових вантажів (матеріально-технічних засобів) за допомогою безпілотних літальних апаратів на лінію бойового зіткнення пов'язане з низкою проблем, а саме: застосуванням противником засобів радіоелектронної боротьби, малою вантажопідйомністю цього виду техніки, залежністю її функціонування від погодних умов тощо. Усе це значно ускладнює процес управління логістичним забезпеченням і потребує більш обґрунтованих рішень для визначення стратегії та планів доставляння військових вантажів підрозділам із використанням безпілотних літальних апаратів.*

*У статті проведено формалізацію задачі визначення оптимального плану доставляння матеріально-технічних засобів на лінії бойового зіткнення з використанням безпілотних літальних апаратів та розглянуто методичний підхід до її розв'язання.*

© П. В. Опенько, О. М. Доска, О. М. Сампір, 2026

**Ключові слова:** логістичне забезпечення; безпілотний літальний апарат; боєприпас; дріб; лінія бойового зіткнення; військовий вантаж; план перевезень.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Сучасні бойові дії характеризуються високою динамікою, насиченістю засобами ураження та необхідністю оперативного забезпечення підрозділів. Традиційні методи доставляння військових вантажів (автомобільний транспорт, бронетехніка) часто стають вразливими через артилерійські удари, мінно-вибухові загородження та постійний моніторинг противника. У цьому контексті використання безпілотних літальних апаратів (БпЛА) [1–3] як транспортних платформ відкриває нові можливості для підвищення ефективності та безпеки логістики, адаптує її до умов високотехнологічної війни [4].

Можливими областями застосування БпЛА є доставляння необхідних вантажів підрозділам, дислокованим у віддалених і важкодоступних районах, групам, які проводять спеціальні операції, та рейдовим групам, що виконують бойові завдання у відриві від джерел постачання тощо [5].

Для здійснення доставляння матеріально-технічних засобів (МТЗ) широко використовують БпЛА типу R18 або Vampire вантажопідйомністю до 15 кг. При цьому посилки комплектують таким чином, щоб їх вага була не більше 10 кг, інакше дрон не витримує навантаження або починається його розхитування [6]. Крім того, для вирішення завдань логістичного забезпечення широкого застосування набули квадрокоптери типу DJI Matrice 300/350 RTK, легкі дрони типу DJI Mavic 3, одноразові БпЛА Suraq Corvo PPDS та інші [7, 8].

До основних МТЗ, що замовляють підрозділи, належать [4]: боєприпаси, вода, продукти харчування, ліки, речове майно на заміну, резервні джерела живлення для тепловізорів, радіостанцій, засоби особистої гігієни тощо.

Особливостями доставляння таких вантажів є те, що значний їх відсоток може бути втрачено або пошкоджено на етапі скидання на позиції, тому їх підготовка та пакування потребують певних матеріальних та часових витрат [4].

Забезпечення підрозділів МТЗ ускладнюється низкою об'єктивних чинників, з-поміж яких: обмежена вантажопідйомність БпЛА, їхня підвищена чутливість до засобів радіоелектронної протидії та залежність від метеорологічних умов. Сукупність зазначених факторів зумовлює необхідність збільшення кількості рейсів, що істотно підвищує ймовірність недоотримання вантажів, демаскування позицій підрозділів та їх подальшого ураження противником. У цьому контексті пріоритетним завданням стає організація доставляння військових вантажів у максимально стислі терміни з використанням мінімальної кількості рейсів, що є критично важливим для збереження боєдатності та оперативної стійкості військових формувань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання постачання військових вантажів підрозділам у бойових умовах є окремим і надзвичайно важливим напрямом досліджень у військовій логістиці, якому присвячена значна кількість наукових праць.

Так, у статті [4] досліджено сучасні підходи до оптимізації процесів логістичного забезпечення військових підрозділів в умовах активних бойових дій. Проаналізовано основні

виклики, з-поміж яких: складність постачань, ризик втрат через обстріли та порушення інфраструктури, а також обмежені можливості використання традиційних методів логістики.

У роботі [5] проведено аналіз досвіду використання безпілотних технологій у сфері вантажних перевезень та евакуації персоналу. Визначено переваги БПЛА порівняно зі штатними транспортними засобами. Розглянуто перспективні сфери застосування безпілотних технологій, направлених на підвищення ефективності системи логістичного забезпечення військових частин і окремих підрозділів під час ведення бойових дій.

У публікації [6] проведено аналіз організації продовольчого забезпечення передових позицій військових підрозділів Збройних Сил України в умовах постійного розвідувально-ударного впливу противника. Систематизовано практичні підходи до формування номенклатури, маси та способів пакування вантажів для безпілотного доставляння в зоні активних бойових дій з урахуванням вимог безпеки, збереження майна та технічних обмежень безпілотних платформ.

У [9] визначено механізми планування та організації логістичного забезпечення визначеного складу військ (сил, органів) Збройних Сил, а також інших складових сил безпеки та оборони. Встановлені основні принципами, на яких базується логістичне забезпечення сил оборони під час їх підготовки та в ході застосування.

У роботі [10] проведено моделювання логістики перевезень у різномірній транспортній мережі для забезпечення своєчасного доставляння військових вантажів в умовах можливих запізнь та ризиків, які впливають на величину збитків у зоні бойових дій. Крім того, досліджено спроможності автомобільного та залізничного транспорту.

Стаття [11] присвячена дослідженню ролі й перспектив використання БПЛА та наземних роботизованих систем у військовій логістиці. Автор аналізує сучасні виклики забезпечення військ МТЗ в умовах високої інтенсивності бойових дій та демонструє, що дрони є інноваційним інструментом для оптимізації процесів постачання.

У [12] розглянуто сучасні технології, які підтримують застосування дронів, включаючи штучний інтелект, алгоритми оптимізації маршрутів та інтеграцію з наземним транспортом. Автори наголошують на важливості міждисциплінарного підходу до розроблення та впровадження дронів у логістику, що дозволить максимізувати переваги цієї технології.

Дослідження щодо оцінювання рівня загроз громадянам (а у воєнний час – військовослужбовцям), у разі застосування стрілецької зброї різного калібру, зокрема з імовірністю використання дробу по безпілотних літальних апаратах, проведено в [13].

**Формулювання завдання дослідження.** Незважаючи на технологічний прогрес у розробленні БПЛА, залишається не вирішеним досі питання системної інтеграції безпілотних засобів у єдиний логістичний цикл. Відомі підходи базуються на детермінованих моделях, які не враховують особливостей логістичного забезпечення, пов'язаних із використанням безпілотних систем. Відсутність науково обґрунтованого математичного апарату для формування раціональних планів доставляння призводить до надмірних витрат та несвоєчасного забезпечення підрозділів. Саме тому **метою** статті є розроблення підходу до визначення раціонального плану доставляння військових вантажів на лінії бойового зіткнення з використанням БПЛА.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо підрозділ тактичного рівня, який виконує бойові завдання на лінії бойового зіткнення. У його позиційному районі розгорнуто пункт постачання та стартові майданчики для БпЛА, на які покладено завдання логістичного забезпечення передових позицій (споживачів) підрозділу.

Від споживачів до пункту постачання надходять замовлення на доставляння товарів військового призначення різного типу: медикаментів, боєприпасів, харчових продуктів тощо. Їх запасів на пункті постачання достатньо, щоб задовільнити потреби, тому кожний споживач повинен отримати необхідну кількість товару. За замовленнями, що надійшли, формується вантаж на відправлення, який має різну масу та габаритні розміри.

Доставляння вантажів до споживача може здійснюватися БпЛА різних типів, кількість яких є обмеженою. Кожен тип характеризується специфічними параметрами, зокрема вантажопідйомністю, здатністю транспортувати вантажі різних габаритів та з різною швидкістю виконання транспортних операцій.

Підготовка вантажів до відправлення та їх відповідне пакування проводиться на пункті постачання.

Необхідно сформулювати оптимальний план перевезень, який забезпечить мінімізацію сумарного часу доставляння вантажів кінцевим споживачам. У ньому слід чітко визначити: який транспортний засіб призначений для транспортування конкретного вантажу, послідовність виконання перевезень, маршрути їх здійснення, а також кількість рейсів, необхідних для повного забезпечення доставляння.

З метою математичної формалізації поставленого завдання введемо такі позначення для параметрів системи:

а) граф мережі:  $G = (V, E)$ , де  $V = \{0, 1, \dots, m\}$  – множина вузлів (0 – пункт постачання,  $\{1, \dots, m\}$  – споживачі,  $E$  – множина шляхів між пунктом постачання та споживачами з відстанями  $L = \{1, \dots, j\}$ ;

б) товари:  $I = \{1, \dots, i\}$  – множина типів товарів, для кожного з них  $i \in I$  відома маса  $\omega_i$ , об'єм  $v_i$  та кількість  $d_i$ ;

в) замовлення:  $F_i = \{1, \dots, f_i\}$  – кількість  $i$ -го товару, замовленого споживачем;

г) наявний парк БпЛА:  $K = \{1, \dots, k\}$  – множина типів БпЛА, для кожного з них  $k \in K$  відома максимальна вантажопідйомність  $Q_k$ , максимальний корисний об'єм вантажу  $V_k$ , середня швидкість доставляння вантажів  $s_k$  та їх кількість  $n_k$ ;

д) рейси:  $R = \{1, \dots, r\}$  – множина номерів рейсів БпЛА;

ж) параметр пріоритетності споживачів: для кожного споживача  $m \in V$  вводимо коефіцієнт  $P_m \geq 1$ . Чим вище число  $P_m$ , тим важливішим є швидке доставляння.

Введемо змінну  $x_{imj}^{n_k, r}$ , яка вказує на кількість вантажу  $i$ -го типу, що доставляється  $n$ -м БпЛА  $k$ -го типу в  $r$ -му рейсі  $m$ -му споживачу  $j$ -м маршрутом.

Тоді цільова функція може бути описана співвідношенням:

$$T_d = \sum_{n_k=1}^{N_k} \sum_{r=1}^R \sum_{d_i=1}^{D_i} \sum_{(V,E) \in G} \left( \frac{L_j}{s_k} + \tau_{d_i} \right) x_{imj}^{n_k, r} \rightarrow \min, \quad \forall k \in K, \forall i \in I, \quad (1)$$

де  $T_d$  – сумарний час доставляння військових вантажів споживачам;

$\tau_{d_i}$  – середній час завантаження  $i$ -го військового вантажу в  $d$ -ї кількості (включає витрати часу на підготовку БпЛА до польоту).

План перевезень становить собою кортеж:

$$W = \{n_k, r, P_{ath}, C, T_{start}, T_{end}\}, \quad (2)$$

де  $n_k$  – ідентифікатор (ID) конкретного БпЛА;

$r$  – порядковий номер рейсу для цього БпЛА;

$P_{ath} = (0, j_1, j_2, \dots, 0)$  – упорядкована послідовність точок маршруту;

$C = \{x_{imj}^{n_k, r}\}$  – кількість кожного товару, що відвантажується споживачу в рейсі (з урахуванням можливості розділення замовлення);

$T_{start}, T_{end}$  – часові мітки вильоту та повернення БпЛА.

Для побудови плану (2) необхідно врахувати:

1) обмеження за вантажопідйомністю, а саме: сумарна маса всіх товарів, завантажених на  $n$ -й БпЛА  $k$ -го типу, не повинна перевищувати його вантажопідйомність:

$$\sum_{d_i=1}^{D_i} \sum_{m=1}^V \sum_{j=1}^E \omega_{d_i}^{n_k} \cdot x_{imj}^{n_k, r} \leq Q_k, \quad \forall i \in I, \quad (3)$$

де  $\omega_{d_i}^{n_k}$  – маса  $d_i$ -го вантажу, завантаженого на  $n$ -й БпЛА  $k$ -го типу;

2) обмеження за об'ємом вантажу: сумарний об'єм усіх товарів, завантажених на  $n$ -й БпЛА  $k$ -го типу не повинен перевищувати допустимо можливий  $V_k$ :

$$\sum_{d_i=1}^{D_i} \sum_{m=1}^V \sum_{j=1}^E v_{d_i}^{n_k} \cdot x_{imj}^{n_k, r} \leq V_k, \quad \forall i \in I, \quad (4)$$

де  $v_{d_i}^{n_k}$  – об'єм  $d_i$ -го вантажу, розміщеного на  $n_k$ -му БпЛА;

3) обмеження за замовленням: кожний споживач повинен отримати замовлену кількість товару:

$$\sum_{d_i=1}^{D_i} \sum_{j=1}^E d_i \cdot x_{imj}^{n_k, r} \geq F_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall m \in V; \quad (5)$$

4) обмеження за координацією польотів: виліт  $n$ -го БпЛА  $k$ -го типу для виконання наступного замовлення відбувається лише після його повернення, підготовки та завантаження:

$$ST_{n_k}^{r+1} \geq AT_{n_k}^r + \tau_{d_i}, \quad \forall k \in K, \quad (6)$$

де  $ST_{n_k}^{r+1}$  – час відправлення  $n$ -го БпЛА  $k$ -го типу в наступний рейс;

$AT_{nk}^r$  – час повернення  $n$ -го БПЛА  $k$ -го типу з рейсу.

Запропонована математична модель (1)–(6) дозволяє трансформувати логістичну задачу забезпечення передових позицій тактичного підрозділу в задачу цілочисельного лінійного програмування, де оптимальний план перевезень (2) знаходимо шляхом мінімізації функції (1) та дотримання обмежень (3)–(6).

Ця задача є складною. Для її розв'язання за умови наявності 20–30 споживачів можна використати метаевристичні методи [14]. Однак у реальних умовах у тактичному підрозділі рівня роти (взводу) з одного пункту постачання може забезпечуватися не більше 10 передових підрозділів, тому для її розв'язання можуть використовуватися точні методи (симплекс-метод, метод гілок і меж, ітераційний метод тощо) [15].

Розв'язання задачі (1)–(6) пропонуємо проводити в декілька етапів.

На першому для кожного типу БПЛА розраховуємо матрицю відстаней та часу, при цьому враховуємо середню швидкість польоту БПЛА з максимальним навантаженням.

На другому етапі проводиться генерація рейсів. Оскільки БПЛА повертається і знову завантажується, пропонуємо кожен виліт розглядати як окремий, але з часовими обмеженнями (другий рейс не може початися раніше завершення першого з урахуванням затримок часу на завантаження та підготовку БПЛА).

На третьому відбувається розподіл замовлень. Якщо вантаж, замовлений споживачем, перевищує місткість БПЛА, то його необхідно розділити на кілька рейсів або кілька дронів.

Четвертим етапом є врахування пріоритетів. У цільовій функції проводиться мінімізація сумарного часу доставляння вантажів з урахуванням важливості замовлень. Це змушує обирати найшвидші БПЛА, здатні задовільнити потребу споживачів із найвищим пріоритетом у першу чергу.

Кінцевим етапом є формування плану доставляння вантажів із зазначенням ідентифікатора БПЛА, кількості рейсів, маршруту, таймінгу та вантажів, що доставляються споживачеві.

Для перевірки працездатності запропонованого підходу та вироблення дієвих рекомендацій для вихідних даних (табл. 1–2) проведемо відповідні розрахунки.

Таблиця 1

## Дані щодо БПЛА

№ з/п	ID БПЛА	Швидкість, м/с	Вантажопідйомність, кг	Кількість, шт
1	A	11	10	1
2	B	17	2,7	1
3	C	15	0,6	3

Таблиця 2

## Дані про споживачів

№ з/п	ID споживача	Відстань до пункту постачання, км	Маса замовлення, кг	Пріоритет замовлення
1	I	3	8	Низький
2	II	7	4	Низький
3	III	5	6	Високий
4	IV	4	12	Високий

Об'єм вантажів знаходиться в межах габаритів БпЛА, час його завантаження та підготовки  $\tau_{d_i} = 10$  хв.

Розрахунки проведемо методом пріоритетних ітерацій [14] для випадків:

однієї обслуги пілотів та послідовної підготовки БпЛА (вантаж) до польоту (табл. 3);  
двох обслуг пілотів та паралельної підготовки двох БпЛА (вантаж) до польоту (табл. 4);

трьох обслуг пілотів та паралельної підготовки трьох БпЛА (вантаж) до польоту (табл. 5).

Наявність лише однієї обслуги пілотів означає, що всі рейси виконуються послідовно один за одним. Наступний рейс починається лише після повернення БпЛА, його підготовки та завантаження.

Таблиця 3

План доставляння вантажів однією облогою пілотів у разі послідовної підготовки БпЛА

№ з/п	ID БпЛА	ID споживача	Маса вантажу, кг	Час початку завантаження, с	Час вильоту, с	Час доставляння, с	Час повернення, с
1	A	IV	10	0	600	964	1328
2	B	IV	2	1328	1928	2163	2398
3	B	III	2,7	2398	2998	3292	3586
4	B	III	2,7	3586	4186	4480	4774
5	C	III	0,6	4774	5374	5707	6040
6	A	II	8	6040	6640	6913	7186
7	A	I	4	7186	7786	8422	9058

Таблиця 4

План доставляння вантажів двома обслугами пілотів у разі паралельної підготовки БпЛА

№ з/п	ID БпЛА	№ обслуги	ID споживача	Маса вантажу, кг	Час початку завантаження, с	Час вильоту, с	Час доставляння, с	Час повернення, с
1	A	1	IV	10	0	600	964	1328
2	B	2	IV	2	0	600	835	1070
3	C1	2	III	0,5	1070	1670	2003	2336
4	C2	1	III	0,5	1328	1928	2261	2594
5	B	2	III	2,7	2336	2936	3230	3524
6	C3	1	III	0,5	2594	3194	3527	3860
7	A	2	I	8	3524	4124	4397	4670
8	B	1	III	1,8	3860	4460	4754	5048
9	C1	2	II	0,6	4670	5270	5737	6204
10	B	1	II	2,7	5048	5648	6060	6472
11	C2	2	II	0,4	6204	6804	7271	7738
12	C3	1	II	0,4	6472	7072	7539	8006

План доставляння вантажів трьома обслугами пілотів у разі паралельної підготовки БпЛА

№ з/п	ID БпЛА	№ обслуги	ID споживача	Маса вантажу, кг	Час початку завантаження, с	Час вильоту, с	Час доставляння, с	Час повернення, с
1	A	1	IV	10	0	600	964	1328
2	B	2	IV	2	0	600	835	1070
3	C1	3	III	0,5	0	600	933	1266
4	B	2	III	2,7	1070	1670	1964	2258
5	C2	3	III	0,5	1266	1866	2199	2532
6	A	1	III	2,3	1328	1928	2383	2838
7	B	2	I	2,7	2258	2858	3034	3210
8	C3	3	I	0,5	2532	3132	3332	3532
9	A	1	I	4,8	2838	3438	3711	3984
10	B	2	II	2,7	3210	3810	4222	4634
11	C1	3	II	0,5	3532	4132	4598	5064
12	C2	3	II	0,5	4634	5234	5700	6166
13	C3	2	II	0,5	5064	5664	6130	6596

Проведені розрахунки свідчать, що для доставляння всіх вантажів одній обслугі пілотів знадобиться здійснити сім рейсів загальною тривалістю 2 год 31 хв. При цьому 95 хв буде витрачено на доставляння пріоритетних вантажів (замовник III, IV), а 70 хв – на завантаження всіх замовлень та підготовку БпЛА до польоту.

Використання двох обслуг БпЛА дозволить застосувати паралельні методи роботи та доставити вантаж за 2 год 14 хв, що на 11,6% швидше. При цьому пріоритетні вантажі будуть доставлені за 59 хв. Загальна кількість рейсів становитиме 12.

У разі введення додаткової умови на мінімізацію кількості рейсів план доставляння набуде іншого вигляду (табл. 6).

План доставляння вантажів за умови мінімізації кількості рейсів та загального часу

№ з/п	ID БпЛА	№ обслуги	ID споживача	Маса вантажу, кг	Час початку завантаження, с	Час вильоту, с	Час доставляння, с	Час повернення, с
1	A	1	IV	10	0	600	964	1328
2	B	2	IV	2	0	600	835	1070
3	B	2	III	2,7	1070	1670	1964	2258
4	A	1	III	3,3	1328	1928	2383	2838
5	B	2	II	2,7	2258	2858	3270	3682
6	A	1	I	8	2838	3438	3711	3984
7	B	2	II	1,3	3682	4282	4694	5106

З табл. 6 випливає, що необхідна кількість рейсів становитиме 7, а загальний час на їх проведення – 1 год 25 хв, зокрема на доставляння пріоритетного вантажу буде витрачено близько 39,7 хв. Це зумовлено відмовою від використання БпЛА, які мають низьку вантажопідйомність, що, у свою чергу, дозволить зменшити кількість рейсів та скоротити загальний час постачання на 22,5%, а час доставляння пріоритетних замовлень – на 32,7%.

У разі застосування трьох обслуг БпЛА (табл. 5), за умови їх паралельної підготовки, загальний час проведення рейсів буде становити 1 год 50 хв, із них на доставляння пріоритетного вантажу – близько 39,7 хв. Отже, збільшення кількості обслуг БпЛА до трьох не призводить до зростання швидкості доправлення пріоритетного вантажу, тому найкращим варіантом доставляння визначених вантажів, відповідно до заданих умов, є застосування двох обслуг для БпЛА типу А та В із паралельною їх підготовкою до вильоту. Цей варіант забезпечує мінімальний час доставляння без надлишкових витрат на постачання ресурсів.

**Висновки.** Проведений аналіз особливостей логістичного забезпечення підрозділів тактичного рівня на лінії бойового зіткнення свідчить про неможливість використання штатних транспортних засобів для доставляння військових вантажів передовим підрозділам, тому в сучасній війні з цією метою застосовують наземні та повітряні роботизовані платформи.

Проведено математичну формалізацію задачі визначення раціонального плану доставляння військових вантажів із використанням БпЛА як задачу цілочисельного лінійного програмування, направлену на мінімізацію часу доправлення всіх необхідних вантажів до передових позицій з урахуванням наявних ресурсних обмежень.

Запропоновано підхід до вирішення завдання визначення раціонального плану доставляння, проведено його апробацію. Встановлено, що отримані результати дозволяють сформулювати раціональну послідовність цього процесу та зменшити часові витрати.

Досліджено послідовний та паралельний методи підготовки БпЛА залежно від кількості обслуг пілотів, об'ємів та пріоритетності замовлень. Встановлено, що для виконання завдань логістичного забезпечення необхідно застосовувати БпЛА збільшеної вантажопідйомності, при цьому підготовку їх до польотів слід проводити паралельним методом. Малорозмірні швидкісні БпЛА слід використовувати для доставляння дрібних вантажів першої необхідності.

У подальших дослідженнях доцільно зосередити увагу на аналізі ефективності застосування кількох пунктів постачання для підвищення рівня забезпечення військових підрозділів та оптимізації стратегій доставляння матеріально-технічних ресурсів. Такий підхід дозволить розробити більш гнучкі та адаптивні моделі логістичного забезпечення, що враховують просторову диференціацію ресурсних потоків та мінімізують часові витрати на транспортування.

## **СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ**

1. ОП 3-0(46). Безпілотні системи. Доктрина : Об'єднана ключова доктринальна військова публікація. Київ : Міністерство оборони України, 2026. 28 с.

2. ДСТУ В 7371:2020. Техніка авіаційна державної авіації. Апарати літальні безпілотні: Основні терміни та визначення понять. Класифікація. [Чинний від 2020.05.06]. Вид. офіц. Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2021. IV. 12 с.
3. ВП 4-00(46).32. Технічні вимоги до транспортних безпілотних літальних апаратів у складі транспортних безпілотних авіаційних комплексів (систем), затв. Міністром оборони України 24.02.2025. Київ : Міністерство оборони України, 2025. 12 с.
4. Гресь О. М. Оптимізація логістичних процесів забезпечення військових підрозділів в умовах активних бойових дій: український досвід // Науковий вісник Міжнар. гуманітарного ун-ту. Серія: Юриспруденція. 2024. № 71. С. 4–7. URL: <https://vestnik-pravo.mgu.od.ua/archive/juspradenc71/3.pdf> (дата звернення: 01.04.2026).
5. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів при виконанні завдань логістичного забезпечення військ в сучасних збройних конфліктах / А. А. Леках, О. М. Гурін, В. В. Старцев та ін. // Зб. наук. праць Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил. 2022. № 1 (71). С. 49–57. <https://doi.org/10.30748/zhups.2022.71.05>
6. Bulhakov R., Puhachova D., Zamkova I. Analysis of the Organization of Logistics Support of Advanced Positions in Modern Conditions of Combat Actions // Social Development and Security. 2025. Т. 15, № 6. С. 152–164. <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.6.15>
7. DJI Matrice 300/350 RTK: посібник користувача. Редакція українською мовою. QUADRO, 2024. 123 с. URL: [https://quadro.ua/wp-content/uploads/2024/05/matrice\\_350\\_rtk\\_user\\_manual\\_ua\\_web.pdf](https://quadro.ua/wp-content/uploads/2024/05/matrice_350_rtk_user_manual_ua_web.pdf) (дата звернення: 01.04.2026).
8. Corvo UAS. The Corvo Precision Payload Delivery System (PPDS). URL: <https://corvouas.com.au/corvo-ppds> (last accessed: 01.04.2026).
9. Про затвердження Порядку логістичного забезпечення сил оборони під час виконання завдань з оборони держави, захисту її суверенітету, територіальної цілісності та недоторканності : постанова Кабінету Міністрів України. № 950 від 20.08.2024 (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/950-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 01.04.2026).
10. Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні / О. Є. Федорович, О. С. Уруський, І. Б. Чепков та ін. // Radioelectronic and Computer Systems. 2022. № 2 (102). С. 63–74.
11. Minculete G. Military Logistics Drones: the Innovative Solution for Transportation Challenges on the Battlefield // Land Forces Academy Review. 2025. Vol. 30, № 2. <https://doi.org/10.2478/raft-2025-0033>
12. Лещенко Ю., Мороз І., Юхимчук М. Використання UAV (дронів) для оптимізації доставки останньої милі // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 4. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-53>
13. Methodology for Assessing the Level of Threats when Using Small Arms Against Unmanned Aerial Vehicles / V. Mirnenko, S. Novichenko, & O. Doska et al. // Advances in Military Technology. 2022. № 17 (1). P. 107–120. <https://doi.org/10.3849/aimt.01486>
14. Pinedo M. L. The Makespan without Preemptions // Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. 3<sup>rd</sup> ed. New York : Springer, 2008. 676 p.

15. Іглін С. П., Зайцев Ю. І., Решетняк Ю. Б. Лінійне програмування : навч. посіб. Харків : НТМТ, 2023. 120 с.

*Стаття надійшла до редакції 28.04.2026.*

*Прийнято до друку 08.05.2026.*

*Дата публікації 30.06.2026.*

## REFERENCES

1. OP 3-0(46). *Bezpilotni systemy. Doktryna: Obiednana kliuchova doktrynalna viiskova publikatsiia [Unmanned Systems. Doctrine: Joint Key Doctrinal Military Publication]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. DSTU V 7371:2020. *Tekhnika aviatsiina derzhavnoi aviatsii. Aparaty litalni bezpilotni: Osnovni terminy ta vyznachennia poniat. Klasyfikatsiia [State Aviation Aircraft Equipment. Unmanned Aircraft: Basic Terms and Definitions. Classification]*. (2020). Official edition. Kyiv: Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality Problems [in Ukrainian].
3. VP 4-00(46).32. *Tekhnichni vymohy do transportnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ u skladi transportnykh bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv (system) [Technical Requirements for Transport Unmanned Aerial Vehicles with in Transport Unmanned Aviation Complexes (Systems)]*. (2025). Kyiv [in Ukrainian].
4. Hres, O. M. (2024). *Optyimizatsiia lohistychnykh protsesiv zabezpechennia viiskovykh pidrozdiliv v umovakh aktyvnykh boiovykh dii: ukrainskyi dosvid [Optimization of Logistics Processes of Military Units Support Under Active Combat Conditions: Ukrainian Experience]*. *Naukovyi visnyk Mizhnar. humanitarnoho un-tu. Serii: Yurysprudentsiia [Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Series: Jurisprudence]*, 71, 4–7. Retrived from <https://vestnik-pravo.mgu.od.ua/archive/juspradenc71/3.pdf> [in Ukrainian].
5. Lekakh, A. A., Hurin, O. M., & Startsev, V. V., et al. (2022). *Osoblyvosti zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ pry vykonanni zavdan lohistychnoho zabezpechennia viisk v suchasnykh zbroinykh konfliktakh [Application Features of Unmanned Aerial Vehicles in Performing the Logistic Support Tasks for the Troops in Modern Armed Conflicts]*. *Zb. nauk. prats Kharkivskoho nats. un-tu Povitrianykh Syl [Scientific Works of Kharkiv National Air Force University]*, 1 (71), 49–57. <https://doi.org/10.30748/zhups.2022.71.05> [in Ukrainian].
6. Bulhakov, R., Puhachova, D., & Zamkova, I. (2025). *Analysis of the Organization of Logistics Support of Advanced Positions in Modern Conditions of Combat Actions*. *Social Development and Security*, 15, 6, 152–164. <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.6.15>
7. *DJI Matrice 300/350 RTK: posibnyk korystuvacha. Redaktsiia ukrainskoii movoiu [User Manual. Ed. Ukrainian]*. (2024). Retrived from [https://quadro.ua/wp-content/uploads/2024/05/matrice\\_350\\_rtk\\_user\\_manual\\_ua\\_web.pdf](https://quadro.ua/wp-content/uploads/2024/05/matrice_350_rtk_user_manual_ua_web.pdf)
8. Corvo UAS. Corvo PPDS. (n. d.). Retrived from <https://corvouas.com.au/corvo-ppds>
9. *Pro zatverdzhennia Poriadku lohistychnoho zabezpechennia syl oborony pid chas vykonannia zavdan z oborony derzhavy, zakhystu yii suverenitetu, terytorialnoi tsilisnosti ta*

*nedotorkannosti: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy [On Approval of the Procedure for Logistical Support of the Defense Forces During the Performance of Tasks Related to the Defense of the State, Protection of Its Sovereignty, Territorial Integrity and Inviolability: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine].* № 950 from 20.08.2024. Retrived from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/950-2024-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

10. Fedorovych, O. Ye., Uruskyi, O. S., & Chepkov, I. B., et al. (2022). Modeliuvannia transportnoi lohistyky viiskovykh vantazhiv z urakhuvanniam zbytkiv, yaki vynykaiut u zoni boiovykh dii cherez zapiznennia u postachanni [Simulation of Transport Logistics of Military Cargo Considering the Losses Occurring in the War Zone Due to Delays in Delivery]. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2 (102), 63–74 [in Ukrainian].

11. Minculete, G. (2025). Military Logistics Drones: the Innovative Solution for Transportation Challenges on the Battlefield. *Land Forces Academy Review*, 30, 2. <https://doi.org/10.2478/raft-2025-0033>

12. Leshchenko, Yu., Moroz, I., & Yukhymchuk, M. (2024). Vykorystannia UAV (droniv) dlia optymizatsii dostavky ostannoï myli [Use of UAVs (Drones) for Optimizing Last-Mile Delivery]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh [Measuring and computing devices in technological processes]*, 4. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-53> [in Ukrainian].

13. Mirnenko, V., Novichenko, S., & Doska, O., et al. (2022). Methodology for Assessing the Level of Threats when Using Small Arms Against Unmanned Aerial Vehicles. *Advances in Military Technology*, 17 (1), 107–120. <https://doi.org/10.3849/aimt.01486>

14. Pinedo, M. L. (2008). *The Makespan without Preemptions. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Springer.

15. Ihlin, S. P., Zaitsev, Yu. I., & Reshetniak, Yu. B. (2023). *Liniine prohramuvannia: navch. posib. [Linear Programming: A Study Guide]*. Kharkiv [in Ukrainian].

**P. V. Openko, O. M. Doska, O. M. Sampir**

#### **DETERMINATION OF A RATIONAL DELIVERY PLAN FOR MILITARY CARGO AT THE LINE OF CONTACT USING UNMANNED AERIAL VEHICLES**

*The experience of the russia – Ukraine war indicates that, since 2023, it has been undergoing a technological transformation. Unmanned Aerial Vehicles have become the primary instrument for reconnaissance and strike. The battlefield has effectively turned into an open observation space: any concentration of equipment is rapidly detected and destroyed. Due to the development of Unmanned Aerial Vehicles, the “grey zone” (territory controlled by neither side) has expanded. Previously, it could extend for several hundred meters; now, owing to continuous aerial monitoring, it may reach up to 5 km, where any presence of personnel or equipment immediately triggers fire.*

*Under such conditions, the issue of providing logistical support to units using standard vehicles becomes almost impossible. Therefore, the use of Unmanned Aerial Vehicles for logistics has evolved from an experiment into a vital necessity, particularly for units along the line of contact, where conventional transport is destroyed within minutes.*

*The delivery of military cargo (materiel) to the line of contact by Unmanned Aerial Vehicles is associated with a number of challenges, namely: the enemy's use of Electronic Warfare systems, the limited payload capacity of Unmanned Aerial Vehicles, dependence on weather conditions, and others. All of this significantly complicates the management of logistical support and requires more substantiated decision-making when determining strategies and delivery plans for supplying units with military cargo using Unmanned Aerial Vehicles.*

*The article formalizes the problem of determining an optimal plan for the delivery of materiel on the line of contact using Unmanned Aerial Vehicles and examines a methodological approach to its solution.*

**Keywords:** *logistical support; Unmanned Aerial Vehicle; ammunition; shot; line of contact; military cargo; transportation plan.*