

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УДК 623(062.552)

Адамов Ю.І. (ВА м. Одеса)
к. ф.-м. н. Завальнюк В.В. (ВА м. Одеса)

DOI: <http://doi.org/10.17721/2519-481X/2025/87-01>

ВІДДАЛЕНЕ ДЕСАНТУВАННЯ ВАНТАЖІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА ДЛЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ ЗС УКРАЇНИ

У статті розглянуто актуальну проблему забезпечення боєприпасами та військовим майном підрозділів Збройних Сил України, які виконують бойові завдання у відриві від основних сил у важкодоступних районах або у глибині оборони противника. Проаналізовано сучасний досвід застосування безпілотних авіаційних комплексів для логістичного забезпечення військ і визначено основні загрози для таких операцій у вигляді вогневих засобів підрозділів протиповітряної оборони та засобів радіоелектронної боротьби противника. Запропоновано інноваційний підхід до вирішення цієї проблеми шляхом застосування систем віддаленого десантування вантажів з використанням автоматизованих парашутних систем, що скидаються з безпілотних літальних апаратів) у безпечній зоні.

У роботі представлено математичну модель руху парашутної системи під впливом горизонтального вітру та продемонстровано можливість значного горизонтального переміщення вантажу (з коефіцієнтом ефективності зносу від 5 і більше) залежно від висоти скидання, характеристик парашутної системи та метеорологічних умов. Обґрунтовано перспективність застосування автоматизованих керованих парашутних систем з інтегрованими сенсорами для підвищення точності доставки вантажів у складних метеорологічних умовах.

Результати дослідження дозволяють підвищити ефективність і безпечність логістичного забезпечення підрозділів ЗС України, зокрема морської піхоти та десантно-штурмових військ в умовах активної протидії противника.

Ключові слова: логістичне забезпечення, безпілотні літальні апарати, парашутні системи, віддалене десантування, показник Хеллмана, автоматизована система керування.

Вступ та постановка проблеми. Під час проведення операції (бойових дій) частинами (підрозділами) Сил Збройних Сил України у відриві від органів (джерел) постачання у віддалених і важкодоступних районах гостро виникає питання щодо підтримки та забезпечення боєприпасами та військовим майном за класами постачання (палива, продовольства, засобів зв'язку, медикаментів та інших засобів) підрозділів, які ведуть бій у глибині оборони противника.

Результати аналізу досвіду ведення оборонного бою після десантування (висадки) підрозділів морської піхоти Військово Морських Сил Збройних Сил України показує, що основним шляхом забезпечення боєприпасами та військовим майном були безпілотні авіаційні комплекси (далі – БпАК).

Застосування БпАК дозволяє швидко та ефективно доставляти необхідні боєприпаси та інше військове майно безпосередньо на позиції підрозділів за складної обстановки, коли не має можливості здійснити забезпечення звичайними логістичними шляхами.

Зрозуміло, що внаслідок широкого застосування БпАК дії противника будуть спрямованні на перешкоджання своєчасної доставки боєприпасів та військового майна застосуванням вогневих засобів підрозділів ППО та засобів радіоелектронної боротьби.

Підрозділи ППО спроможні знищувати безпілотні літальні апарати (далі - БпЛА) тактичного призначення і БпЛА поля бою на відстанях від 0,8 км до 10 км і висотах від 10 м до 5 км під час своєчасного їх виявлення як на зустрічних курсах, так і навздогін.

Радіоелектронне подавлення повітряної та наземної складової БпЛА здійснюється у напрямку забезпечення гарантованого подавлення ліній зв'язку, систем управління і навігації БпЛА, наявної на його борту самонавідної на випромінювання або радіопідривної зброї, а також засобів розвідки БпЛА у відповідному діапазоні радіохвиль з урахуванням можливої протидії і різноманітних способів захисту від перешкод. Придушення каналу управління засобами радіоелектронної боротьби здатне, як мінімум, перешкодити виконанню завдання.

Отже, вогневі засоби підрозділів ППО та засоби радіоелектронної боротьби противника здатні знищити або здійснити подавлення повітряної та наземної складової БпЛА, і тим самим завадити виконанню завдання зі своєчасного забезпечення боєприпасами та військовим майном підрозділів ЗС України за допомогою БпЛА.

Підвищити спроможності зі своєчасного й безпечного забезпечення можливо за допомогою впровадження сучасних керованих систем точного повітряного десантування вантажів. При цьому десантування вантажів здійснюється з віддаленої від площадки приземлення точки із наступним горизонтальним зміщенням (дрейфом) вантажу без заходу літальних апаратів у зону дії засобів ППО.

Застосування віддаленого десантування зменшує ризик враження літальних апаратів (найдорожчого компонента системи) засобами ППО противника та значно ускладнює виявлення моменту скидання вантажів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних умовах БпЛА активно використовуються в арміях НАТО як під час ведення бойових дій, так і для здійснення логістичного забезпечення.

Останнім часом питання логістичного забезпечення за допомогою БпЛА почало розглядатись значною кількістю військових і цивільних спеціалістів, з'явилося чимало наукових публікацій за цим напрямком.

У багатьох країнах, зокрема і в Україні, ведеться робота зі створення системи високоточного повітряного десантування вантажів. В іноземній літературі ці системи отримали загальне найменування: системи точної наведеної повітряної доставки вантажів — “Guided Precision Aerial Delivery System” (GPADS) [2,3].

На підставі наявного досвіду використання вантажних БпЛА арміями США та НАТО у сучасних збройних конфліктах і все більш зростаючої тенденції необхідності їх застосування для потреб логістичного забезпечення частин (підрозділів) [1,4] ЗС України.

Проведений аналіз щодо використання БпЛА [2] у ході здійснення логістичного забезпечення, яке має не тільки високу економічну ефективність, але й знижує втрати особового складу підрозділів логістичного забезпечення при виконанні покладених на нього завдань за призначенням у ході ведення операцій (бойових дій). Проаналізувавши сучасний стан та міжнародний досвід у галузі використання БпЛА у сфері логістичного забезпечення військ, можна стверджувати, що потреби щодо використання БпЛА будуть тільки зростати.

Аналіз використання БпЛА для транспортування МтЗ у системах забезпечення потреб частин (підрозділів) армій провідних країн світу свідчить про доцільність застосування БпЛА, сконструйованих на базі гелікоптерів (вертольотів), апаратів з вертикальним зльотом та засобів планерного типу [5–8].

Що стосується віддаленого десантування вантажів, у роботі [1] розглядаються питання визначення характеристик процесу десантування у тому числі й важкої техніки з використанням парашутно-реактивної системи та пропонується спосіб віддаленого десантування з великої висоти, що не дає вразити літак системами ППО противника в момент десантування [1].

Використання сучасних аеродинамічних парашутів дозволяє безпечно здійснювати десантування з великої висоти та на значні відстані [1].

Використовуючи глобальні навігаційні системи позиціонування (GPS) разом і інерційними системами та навігацією за рельєфом місцевості було досягнуто високої точності спуску вантажів, на цей момент кругове імовірне відхилення становить не більше 100 м. [1].

Також варто підкреслити, що проблема подавлення повітряної та наземної складової БпАК вогневидами засобами підрозділів ППО та засобами радіоелектронної боротьби противника на такій великій відстані, яка пропонується для систем віддаленого десантування, наразі є відкритою, і жодна з провідних армій світу не демонструвала помітних успіхів у цьому напрямку у відкритих джерелах.

Метою статті є: розгляд окремих питань та можливих шляхів часткового розв'язання проблеми уникнення наземних загроз (вогневих засобів підрозділів ППО та засобів радіоелектронної боротьби противника) при здійсненні забезпечення за допомогою БпЛА боєприпасами та військовим майном частин (підрозділів) у важко доступних або небезпечних районах, де традиційні методи постачання можуть бути занадто дорогими, ризикованими або неможливими.

Також ці питання можуть виявитися корисними для подальших досліджень і розробки методів віддаленого десантування.

Виклад основного матеріалу. У сучасних збройних конфліктах, при виконанні завдань логістичного забезпечення частин (підрозділів) застосування БпЛА у порівнянні з авіаційною технікою має переваги значні переваги тими як: збереження льотного складу під час бойового застосування; зменшення витрат на обслуговування та експлуатацію; малопомітність під час виконання бойових завдань, що ускладнює виявлення його противником; підвищення живучості апарату завдяки кращій маневреності та меншим розмірам; відсутність пілота також дозволяє зняти ряд конструктивних обмежень, наслідком чого є менші маса і вартість апарату та вища надійність [1].

Крім того, через закінчення призначеного ресурсу або календарного терміну служби авіаційної техніки у найближчі роки в ЗС України відбудеться значне скорочення парку літаків і вертольотів.

Доставка МтЗ до місць розміщення частин (підрозділів), віддалених від органів постачання, з нерозвинутою інфраструктурою чи складними географічними умовами можливо здійснити за допомогою БпЛА.

У сучасних збройних конфліктах все більш зростає тенденція необхідності застосування БпЛА для потреб логістичного забезпечення ЗС України.

Отже, використання БпЛА в сфері логістики на сучасному етапі розвитку ЗС України стає пріоритетним завданням.

Впровадження безпілотних авіаційних технологій у процес логістичного забезпечення дозволить підвищити оперативність і безпечність доставки МтЗ частинам (підрозділам).

Для вирішення цієї проблеми необхідні різні за типами і призначенням вантажні БпЛА, що відповідають визначеним показникам – способу зльоту і посадки (літакового або вертолітного типу), вантажопідйомності та способу розміщення вантажу (на зовнішній підвісці або у вантажному відсіку), дальністю використання до 1000 км, висотою польоту до 8000 м, швидкістю польоту від 150 до 800 км/год і можливістю перевозити понад 200 кг вантажу [1].

На сьогодні лідерами світового ринку транспортних БпЛА є компанії Boeing, Elbit Systems Ltd, Israel Aerospace Industries, General Atomics і Northrop Grumman.

Провідні країни світу для забезпечення потреб МтЗ частин і підрозділів застосовують як БпЛА планерного типу, так і апарати з вертикальним зльотом типу гелікоптерів [5–8].

Наприклад, рятувальний БпЛА Personnel Recovery/ Transport Vehicle (США) може працювати навіть в умовах порівняно розрідженого повітря (високогір'я з висотою 1200 метрів над рівнем моря при температурі повітря 35°C), маючи бойовий радіус дії не менше 180 км при швидкості польоту понад 185 км/год.

Безпілотник DP-14 Hawk (США) – двомоторний літальний апарат, призначений для доставки вантажів у “гарячі точки” і пошуково-рятувальних операцій, здатний перевозити понад 200 кг вантажу усередині фюзеляжу або одну людину у лежачому положенні на крейсерській швидкості 120 км/год при тривалості польоту біля 2,5 годин [9].

Світовий досвід доставки вантажів і різної продукції (пошти, ліків, продуктів харчування одягу тощо пересічним громадянам) у віддалені чи важкодоступні регіони за допомогою БпЛА підкріплює висновок щодо доцільності використання цієї технології безпосередньо при забезпечення МтЗ частин (підрозділів) [10,11, С. 8–9; 23; С. 35–36].

Стрімке вдосконаленням технічних характеристик БпЛА та систем управління ними свідчать про те, що доцільність і актуальність їх впровадження в сферу доставки вантажів у найближчі роки тільки зростатиме.

Проте під час застосування вантажних БпЛА у зоні бойових дій чи безпосередньо біля неї виникає проблема забезпечення їх виживання в умовах сильної протидії систем ППО, РЕБ, мобільних вогневих груп тощо.

Одним з потенційних шляхів радикального подолання цієї проблеми із одночасним забезпеченням підвищення надійності доставки вантажів на об'єкти, відрізані от основних сил, є застосування БпЛА разом із автоматизованими парашутними системами, скидання яких відбувається ще у безпечній зоні, після чого БпЛА повертається на базу за наступною партією вантажів, а подальша доставка вантажа шляхом планування перекладається на парашутну систему.

Цей підхід є доцільний у тих випадках, коли ймовірність враження БпЛА протягом його пересування до точки розташування цільового підрозділу є порівняно високою, а ризики, пов'язані з потраплянням вантажа у руки супротивника, не є критичними. Основні переваги цієї схеми полягають у наступному:

- істотно зменшується ризик втрати високовартісних літальних апаратів;
- зменшується кількість БпЛА, необхідних для забезпечення доставки певної кількості вантажів;
- парашутна система із вантажем є значно дешевшою за БпЛА та менш помітною ціллю для систем ППО, а також менш вразливою для дії систем РЕБ (або невразлива взагалі, залежно від наявності та типу системи керування парашутом) та стрілецької зброї.

Основним недоліком цього підходу є більш висока залежність від погодних умов та потенційно менша точність доставки вантажів (порівняно із випадком доставки за допомогою безпосередньо БпЛА в умовах відсутності будь-якої протидії супротивника), проте сучасні технології дозволяють у значній мірі компенсувати цей недолік.

Найпростішим шляхом десантування вантажів без необхідності безпосереднього прольоту транспортного літального апарату над визначеною площадкою приземлення є використання впливу горизонтального вітру на поведінку парашутної системи (далі – ПС) протягом зниження.

Детальний математичний розгляд цього питання можна знайти у статті [1], де розглядався вплив вітру на горизонтальне зміщення ПРС, та враховувалися як характеристики самої парашутної системи, які визначають вертикальну швидкість її зниження у нерухомому повітрі, так і зміна стану повітря з висотою та вертикальний градієнт горизонтальної компоненти швидкості вітру.

За відсутності вітру зниження звичайної купольної ПС (без спеціальних прорізів у куполі, призначених для надання ПС горизонтальної компоненти швидкості) відбувається уздовж вертикальної лінії. Однак наявність горизонтального вітру призводить до відповідного зносу ПС, величина якого визначається переважно трьома параметрами: висотою десантування, швидкістю вітру і швидкістю зниження ПС. Варто зазначити, що як швидкість вітру, так і швидкість зниження ПС істотно зростають зі збільшенням висоти над рівнем моря, однак ці залежності у значній мірі компенсують одна одну коли мова йде про їхній загальний вплив на величину горизонтального зносу ПС. І ключовим фактором у цьому питанні є те, наскільки швидко горизонтальна компонента швидкості ПС “адаптується” до змін горизонтальної швидкості повітря, крізь яке вона рухається.

Чим повільніше знижується ПРС, тим швидше горизонтальна компонента її швидкості прямує до горизонтальної швидкості руху повітряних мас. Так для парашутно-реактивних

систем (ПРС) із типовою швидкістю зниження 15-20 м/с (наприклад, ПРСМ-915) тривалість встановлення горизонтальної швидкості ПС може становити від 4 до 6 с залежно від величини зміни швидкості вітру, для звичайних систем зі швидкістю зниження біля 5 м/с цей процес відбувається за 2 – 3 с, а для систем із ще меншою швидкістю можна з достатньо великою точністю вважати, що горизонтальна швидкість їхнього зносу є рівною швидкості вітру.

У роботі [1] продемонстровано, що з урахуванням певних емпіричних наближень повна величина горизонтального зносу Δx_{h_0} парашутної системи внаслідок дії вітру може бути оцінена за наступною формулою:

$$\Delta x_{h_0} = \frac{w_{\text{ref}}}{h_{\text{ref}}^\alpha} \sqrt{\frac{c_d A}{2mg}} \int_0^{h_0} h^\alpha \sqrt{\rho(h)} dh, \quad (1)$$

де $\rho(h)$ – густина повітря на висоті h над поверхнею Землі (яка може бути обчислена за допомогою однієї із загальноприйнятих моделей атмосфери, адаптованої до кліматичних особливостей певного регіону), w_{ref} – швидкість вітру на висоті h_{ref} , α – показник Хеллмана стабільності повітря, c_d і A – аеродинамічний коефіцієнт і ефективна площа куполу парашутної системи, m – її повна маса, $g \approx 9.81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

З формули (1) випливає, що величина зносу в застосованому наближенні є пропорційною швидкості горизонтального вітру і зростає зі збільшенням стабільності повітряних потоків (параметр α) та/або зменшенням середньої швидкості зниження парашутної системи (яка визначається головним чином параметрами купола і повною масою ПС з вантажем, а також температурою повітря). За типових погодних умов залежність величини зносу вітром від висоти десантування має приблизно лінійний характер внаслідок взаємної компенсації впливу висоти на швидкість зниження ПС і швидкість вітру протягом більшої частини зниження.

Показник Хеллмана є найменш очевидним параметром моделі, який істотно залежить не лише від типу рельєфу, рослинності і забудови, але й від пори року та часу доби, що може і має бути використаним при плануванні десантування. Типовою закономірністю є зменшення значення α у теплі пори року і зранку/вдень, та збільшення у холодні пори року та вночі/ввечері, що пов'язано з температурною стратифікацією атмосфери та впливом температури повітря на типову турбулентність повітряних потоків. Окрім того, у певній місцевості показник Хеллмана може сильно залежати й від напрямку вітру, що пояснюється залежністю типової температури й вологості повітряних мас від напрямку, з якого вони надходять. Варто зазначити, що наявність відповідних даних на сьогодні різко зросла внаслідок їхньої важливості для моделювання погоди і прогнозування генерації вітряної енергетики [12], а визначення швидкості вітру у різних точках і на різних висотах є можливим практично у прямому ефірі за допомогою відповідно оснащених супутників чи, навіть, стаціонарних наземних чи бортових профайлерів вітру [13].

У випадку нейтрального чи стабільного стану повітря над типовою пересіченою сільськогосподарською місцевістю, лісною місцевістю чи дрібною забудовою, що відповідає типовим умовам безпечного десантування, типовими значеннями показника Хеллмана є $\alpha = 0.15 - 0.25$ [14,15]. Наприклад, у регіоні Ботієвської ВЕС (Запорізька область) середньозважені значення α коливаються між 0.18 влітку і 0.23 взимку; при цьому середньозважене значення для денної частини доби у серпні може сягати 0.09, у той час як вночі у той же період зростати до 0.34 [12].

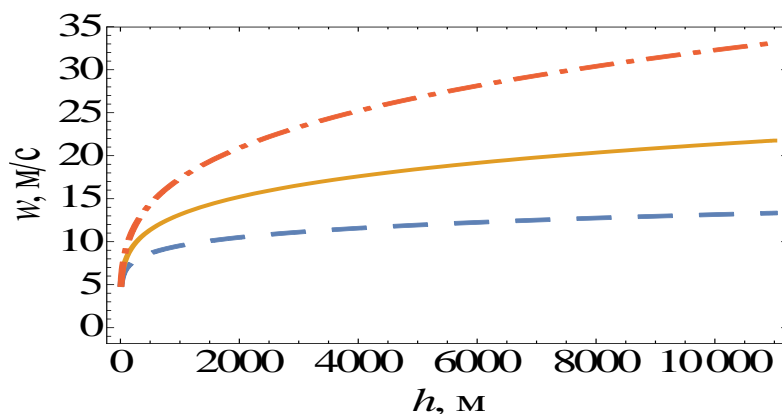


Рисунок 1 - Залежність швидкості горизонтального вітру від висоти над землею ($h_{ref} = 10$ м, $w_{ref} = 5$ м/с) при різних значеннях показника Хеллмана (типових для півдня Запорізької області [12]): $\alpha = 0.14$ (ранок/день влітку) – пунктирна, $\alpha = 0.21$ (середньозважене протягом року) – суцільна, $\alpha = 0.27$ (осінь/зима і вечір/ніч влітку) – штрихпунктирна.

Підкреслимо, що знання і грамотне використання зазначених варіацій стану повітря може бути ефективно застосоване для збільшення дальності зносу ПС і підвищення точності десантування.

На рис. 2 наведені результати обчислень залежності величини горизонтального зносу ПС під час десантування з різних висот від значення показника Хеллмана (при температурі повітря на рівні моря $T_{ref} = 17^\circ\text{C}$, швидкості вітру біля поверхні Землі $w_{ref} = 5$ м/с і характеристикам купола/вантажа ПС, розрахованим на швидкість приземлення $v_{пр} = 5$ м/с).

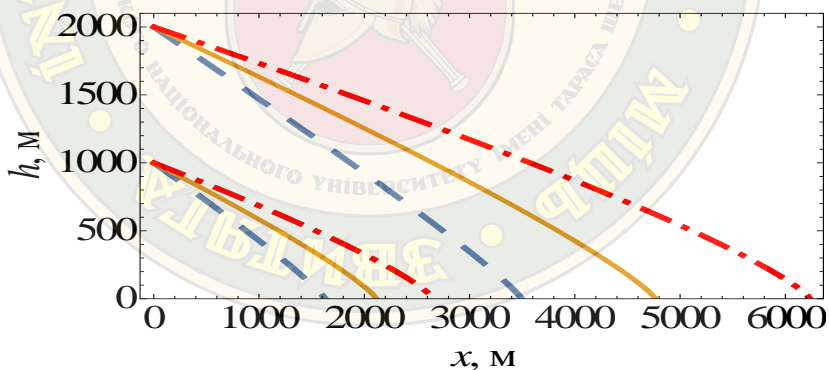


Рисунок 2 - Траєкторії зниження ПС у вертикальній площині, паралельній до напрямку горизонтального вітру при різних значеннях показника Хеллмана (аналогічно Рис. 1): $\alpha = 0.14$ – пунктирні, $\alpha = 0.21$ – суцільні, $\alpha = 0.27$ штрихпунктирні. Швидкість вітру $w_{ref} = 5$ м/с на висоті $h_{ref} = 10$ м, швидкість приземлення ПС $v_{пр} = 5$ м/с)

На рис. 3 наведені траєкторії зниження парашутних систем із різними значеннями розрахункової швидкості приземлення (отже й різними миттєвими швидкостями зниження на кожній конкретній висоті) при десантуванні з різних висот за сталих погодних умов ($\alpha = 0.21$, $h_{ref} = 10$ м, $w_{ref} = 5$ м/с, $T_{ref} = 17^\circ\text{C}$). Бачимо, що величина зносу за цих умов є обернено пропорційною розрахунковій швидкості приземлення ПС, яка визначається її

масою та характеристиками купола. Цей факт відкриває додаткові можливості з автоматизованого керування ПС протягом польоту.

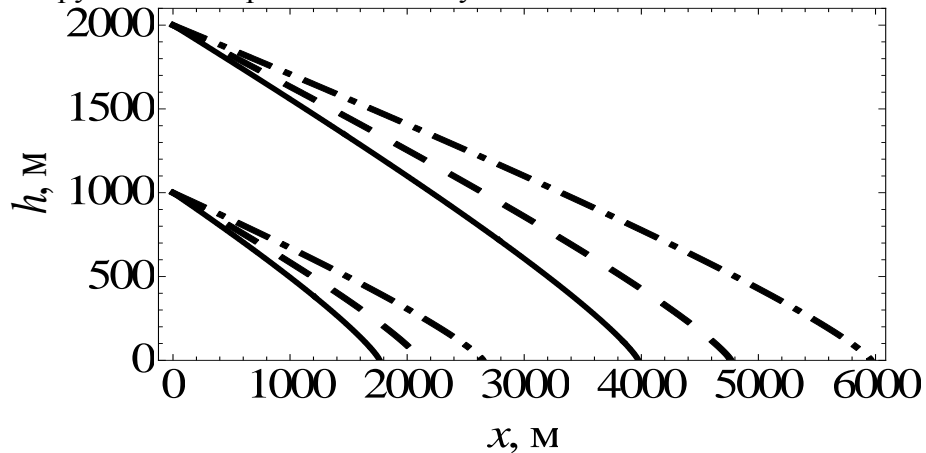


Рисунок 3 - Траєкторії зниження ПС у вертикальній площині, паралельній до напрямку горизонтального вітру, за різних значеннях висоти десантування (1000 м і 2000 м відповідно) та трьох значеннях розрахункової швидкості приземлення ПС: суцільні лінії – 6 м/с; штрихові лінії – 5 м/с; штрихпунктирні лінії – 4 м/с.
 $\alpha = 0.21, w_{ref} = 5 \text{ м/с}, h_{ref} = 10 \text{ м}, T_{ref} = 17^\circ\text{C}$

Окрім того, відношення величини горизонтального зносу до висоти десантування $\mathcal{E} = \Delta x_{h_0}/h_0$, яке визначає ефективність зносу, за вказаних умов дорівнює ≈ 2 навіть для ПС зі швидкістю приземлення $v_{пр} = 6 \text{ м/с}$ і зростає у півтора рази до ≈ 3 (завдяки збільшенню тривалості зниження) при аналогічному зменшенні $v_{пр}$ до 4 м/с незалежно від висоти десантування. За більш специфічних погодних умов (наприклад, $\alpha = 0.3, w_{ref} = 7.5 \text{ м/с}, v_{пр} = 3 \text{ м/с}$) значення \mathcal{E} може сягати 10 і більше (рис. 4.).

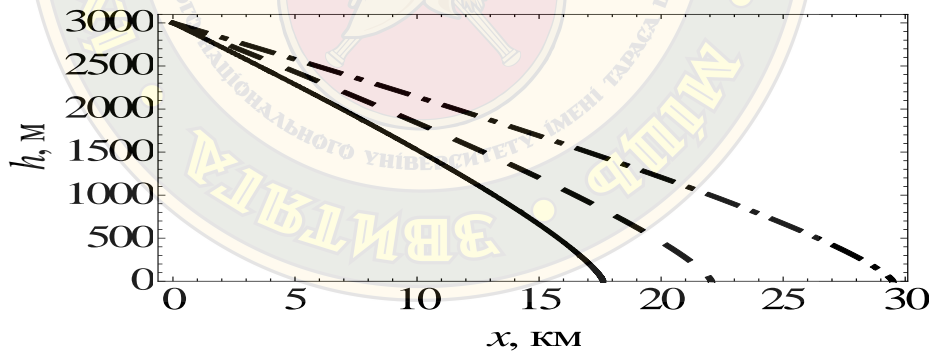


Рисунок 4 - Траєкторії зниження ПС за умови помірного вітру для різних значень $v_{пр}$: суцільна лінія – 5 м/с; штрихова лінія – 4 м/с; штрихпунктирна лінія 3м/с $\alpha = 0.3, w_{ref} = 7.5 \text{ м/с}, h_{ref} = 10 \text{ м}, T_{ref} = 17^\circ\text{C}$

Наведені результати демонструють можливість ПС за рахунок ретельного підбору її характеристик і висоти скидання за відповідних погодних умов здійснювати горизонтальне переміщення до площадки приземлення на значному віддаленні від точки скидання, тобто далеко поза меж дії засобів РЕБ і портативних засобів ППО і зенітних гармат.

Головною складністю є неможливість розрахунку конкретної величини переміщення без точного знання багатьох параметрів, що впливають на швидкість зносу вітром (головним чином повітряних потоків, з якими зустрічається ПС, що можуть допомагати або заважати горизонтальному переміщенню). Це призводить до необхідності швидкого налаштування

парашутної системи на базі точних метеорологічних даних і проведення десантування до того, як ці дані втратять свою актуальність внаслідок природних змін стану атмосфери з плином часу. Тобто виникає потреба у наявності відповідного метеорологічного обладнання чи доступу до надійних і актуальних метеоданих, а також підготовці особового складу для роботи із цим обладнанням/даними.

Тим не менш, вказані проблеми можуть бути успішно вирішені за допомогою сучасних технологій доступу та обробки даних, навігації, автоматичного управління парашутною системою та математичного моделювання її подальшого руху за фактичних погодних умов, дозволяючи реалізацію багатьох інноваційних методів скидання вантажу.

На рисунках 5 наведений приклад десантування вантажу за допомогою парашутної системи з $v_{пр} = 5$ м/с за складних погодних умов в області десантування, при яких швидкість вітру на траєкторії ПС кілька разів непередбачувано змінювалася. Зображені три траєкторії: прогнозована траєкторія для ідеального випадку (суцільна лінія), реальна траєкторія у випадку некерованої ПС (пунктирна лінія) і реальна траєкторія для керованої ПС (штрихпунктирна лінія), оснащеної механізмом для зміни ефективної площі купола в межах $\pm 20\%$ шляхом керування натягом строп, яка приймає рішення виключно на основі відхилення фактичної висоти від передбачуваної, закладеної перед десантуванням.

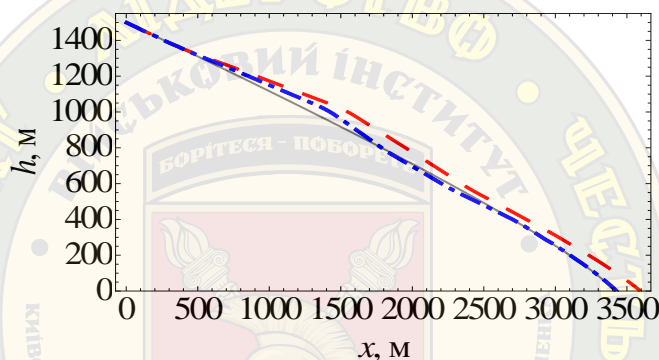


Рисунок 5 - Траєкторії зниження ПС ($v_{пр} = 5$ м/с) за умови помилок в оцінці стану атмосфери: суцільна лінія – прогнозована траєкторія; штрихова лінія – реальна траєкторія некерованої ПС; штрихпунктирна лінія – траєкторія польоту керованої ПС

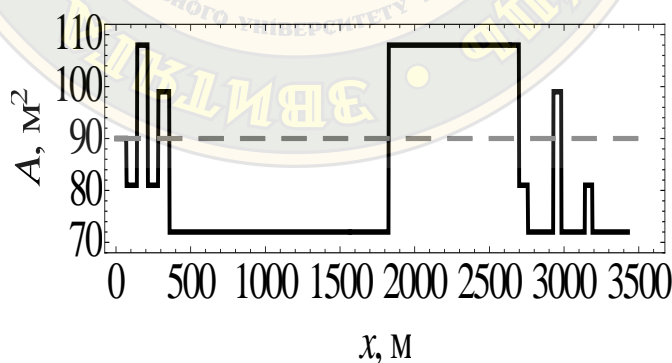


Рисунок 6 - Зміна ефективної площі купола ПС протягом Зниження внаслідок дії системи керування

Бачимо, що вже така проста система дозволяє компенсувати промах у 200 м при загальній дальності горизонтального зносу у 3400 м. Результат дії системи керування (ефективна площа парашуту у кожній точці траєкторії) візуалізований на рис. 6, а на рис. 7 представлені прогнозований (ідеальний) і вертикальний профіль вітру та фактична швидкість вітру на різних висотах у точці польоту ПС, для яких проводилося моделювання.

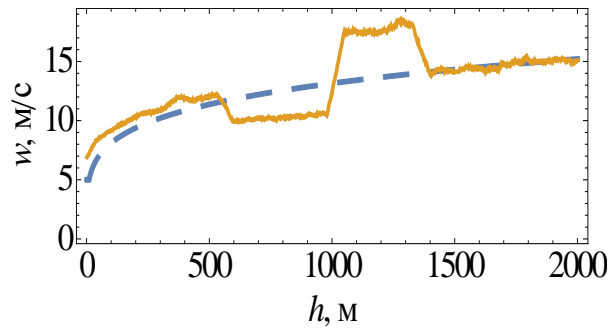


Рисунок 7. - Прогнозовані (пунктирна лінія) і фактичні (суцільна лінія) значення горизонтальної компоненти вітру протягом спуску парашутної системи.

Прогнозовані значення: $\alpha = 0.21$, $w_{ref} = 5$ м/с.

Зменшення впливу нерівномірності повітряних потоків на точність десантування можливе, наприклад, завдяки системам підвищення точності висотного скидання HARP (High-Altitude Release Point), які враховують системну балістику, динаміку руху повітря і поточний стан руху ПС. Допустима область скидання вантажу автоматизовано визначається шляхом комп'ютерного моделювання із урахуванням середніх балістичних характеристик певної парашутної системи, актуальних супутникових даних про стан атмосфери в усій області запланованого польоту парашутної системи, а також типових профілів повітряних потоків між точкою скидання і площадкою приземлення.

Після скидання бойової машини повітряні потоки впливають на напрямок її переміщення та тривалість падіння. Бортовий комп'ютер ПС розраховує фактичний вплив повітряних потоків, використовуючи данні про швидкість польоту, тиск і температуру з бортових датчиків та навігаційних сенсорів (включно, проте не обов'язково із застосуванням даних GPS для підвищення точності), виконує розрахунок подальшої траєкторії зниження та вносить необхідні корективи за допомогою системи автоматичного керування парашутом. Залежно від важливості місії та цінності вантажів системи керування можуть дооснащуватися різноманітними активними системами і датчиками, такими як доплерівські лазерні локатори ІК-діапазону, здатні точно вимірювати швидкості повітряних потоків на різних висотах і створювати у реальному часі 3D-карту вітрів в області руху парашутної системи, що дозволяє істотно збільшити точність розрахунку траєкторії руху ПС, та лідарні сканери, здатні також у реальному часі будувати деталізовану 3D-карту рельєфу, яка дозволяє (разом із попередньо внесеними у систему 3D-картами місцевості) визначати точні координати ПС без застосування значно більш вразливих систем GPS. Враховуючи високу складність протидії/глушення зазначених лазерних систем і високу точність і швидкість їх роботи, комбінація цих двох засобів дозволяє істотно підвищити загальну надійність та ефективність запропонованої схеми доставки вантажів через територію, контрольовану супротивником, незалежно від застосування ним традиційних систем протидії керованим БпЛА.

Висновки. Отже, у статті розглянуто окремі питання та можливі шляхи часткового розв'язання задачі логістичного забезпечення підрозділів, які ведуть бій у глибині оборони противника, за допомогою вантажних БпЛА.

За результатами досліджень запропоновано спосіб віддаленого десантування з вантажного БпЛА вантажу з використанням парашутно-реактивної системи, що дозволяє визначити найбільш слабкі властивості системи, оцінити її загальний рівень, який характеризується набором природно-кліматичних показників, зокрема швидкостей вітру на різних висотах, і розробити заходи для підвищення ефективності застосування систем за призначенням.

Використання результатів досліджень на практиці дозволить здійснювати своєчасне

логістичне забезпечення підрозділів морської піхоти Військово Морських Сил Збройних Сил України та Десантно-штурмових військ після десантування (висадки).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Адамов Ю.І., Завальнюк В.В. Методика визначення характеристик віддаленого десантування парашутно-реактивної системи. Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного Університету імені Тараса Шевченка. 2024. № 83. С. 17-27.

2. БПЛА планерного типу Silent Arrow GD-2000. Silent Arrow: в США тестують “Безпілотник-транспортник” для спецназу. Defense Express: веб-сайт. URL: https://defence-ua.com/news/silent_arrow_v_ssha_testujut_bezpilotnik_transportnik_dlja_spetsnazu-3639.html (дата звернення 05.01.2022).

3. БЛА Фрегат. Avia: веб-сайт. URL: <https://avia.pro/blog/fregat-tehnicheskie-harakteristiki-foto>.

4. Леках А.А., Гурін О.М., Старцев В.В., Гурін І.О., Просяник В.В. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів при виконанні завдань логістичного забезпечення військ в сучасних збройних конфліктах. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків №1(71). 2022. С. 49-56.

5. Американский беспилотный вертолет K-MAX. Building-tech: веб-сайт. URL: <http://surl.li/cbdqh> (дата звернення 05.01.2022).

6. БПЛА планерного типу Silent Arrow GD-2000. Silent Arrow: в США тестують “безпілотник-транспортник” для спецназу. DefenseExpress: веб-сайт. URL: https://defence-ua.com/news/silent_arrow_v_ssha_testujut_bezpilotnik_transportnik_dlja_spetsnazu-3639.html (дата звернення 05.01.2022).

7. БЛА Фрегат. Avia : веб-сайт. URL: <https://avia.pro/blog/fregat-tehnicheskie-harakteristiki-foto>.

8. Американский беспилотный вертолет K-MAX. Building-tech: веб-сайт. URL: <http://surl.li/cbdqh> (дата звернення 05.01.2022).

9. БПЛА DP-14 Hawk для эвакуации раненых. Познавательный журнал: веб-сайт. URL: <https://udachnyj-enot.com.ua/bpla-dp-14-hawk-dlya-evakuatsii-ranenyh/> (дата звернення 04.01.2022).

10. Unmanned Aircraft Systems for Logistics Applications / By John E. and other. Santa Monica : RAND Corporation.

11. Мазур М., Вишневыский А. Отчет PwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире “Нам сверху видно все”. 2016. 46с. URL: <https://www.pwc.com/kz/en/services/drones-technologies/clarity-from-above-rus.pdf>. 2011.129 p. URL: <https://cutt.ly/NHBziev> (дата звернення 05.01.2022).

12. Petrenko, K., Kuznetsov, M., Ivanchenko, I., & Karmazin O. (2023). Seasonal and daily variability analysis of the wind shear coefficient. *Vidnovluvana Energetika*, 1 (72), p. 41-51. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1\(72\).41-51](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72).41-51)

13. Guo, J. and Liu, B. and Gong at al. Technical note: First comparison of wind observations from ESA's satellite mission Aeolus and ground-based radar wind profiler network of China (2021) *Atmospheric Chemistry and Physics* 21 (4) p. 2945-2958. <https://doi.org/10.5194/acp-21-2945-2021>

14. Bañuelos-Ruedas F., Angeles-Camacho C. Rios-Marcuello S. Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource Assessment in a Region, pp. 97-114, in *Wind Farm - Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment*, Ed. G.O. Suvire, 2011, 248p.

15. Hsu S., Meindl E., Gilhousen D. Determining the power-law wind-profile exponent under near-neutral stability conditions at sea, *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 33, pp. 757-765, 1994.

REFERENCES:

1. Adamov Yu.I., Zavalnyuk V.V. Methodology for determining the characteristics of remote parachute-reactive system landing. Collection of scientific papers of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. 2024. No. 83. Pp. 17-27.

2. Silent Arrow GD-2000 planer-type UAV. Silent Arrow: The US is testing a “transport drone” for special forces. Defense Express: website. URL: https://defence-ua.com/news/silent_arrow_v_ssha_testujut_bezpilotnik_transportnik_dlja_spetsnazu-3639.html (accessed on 05.01.2022).

3. UAV Frigate. Avia: website. URL: <https://avia.pro/blog/fregat-tehnicheskie-harakteristiki-foto>.
4. Lekakh A.A., Gurin O.M., Startsev V.V., Gurin I.O., Prosyaniuk V.V. Features of the use of unmanned aerial vehicles in performing logistics support tasks for troops in modern armed conflicts. Collection of scientific papers of the I. Kozhedub National Air Force University, Kharkiv No. 1(71). 2022. P. 49-56.
5. American unmanned helicopter K-MAX. Building-tech: website. URL: <http://surl.li/cbdqj> (accessed on 05.01.2022).
6. Silent Arrow GD-2000 glider-type UAV. Silent Arrow: US tests “unmanned transport aircraft” for special forces. DefenseExpress: website. URL: https://defence-ua.com/news/silent_arrow_v_ssha_testujut_bezpilotnik_transportnik_dlja_spetsnazu-3639.html (accessed on 05.01.2022).
7. Frigate UAV. Avia: website. URL: <https://avia.pro/blog/fregat-tehnicheskie-harakteristiki-foto>.
8. American unmanned helicopter K-MAX. Building-tech: website. URL: <http://surl.li/cbdqj> (accessed on 05.01.2022).
9. UAV DP-14 Hawk for evacuation of the wounded. Educational magazine: website. URL: <https://udachnyj-enot.com.ua/bpla-dp-14-hawk-dlya-evakuatsii-ranenyh/> (date of publication 04.01.2022).
10. Unmanned Aircraft Systems for Logistics Applications / By John E. and other. Santa Monica : RAND Corporation.
11. Мазур М., Вишневикий А. Отчет РвС о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире “Нам сверху видно все”. 2016. 46с. URL: <https://www.pwc.com/kz/en/services/drones-technologies/clarity-from-above-rus.pdf>. 2011.129 p. URL: <https://cutt.ly/NHBziev> (дата звернення 05.01.2022).
12. Petrenko, K., Kuznietsov, M., Ivanchenko, I., & Karmazin O. (2023). Seasonal and daily variability analysis of the wind shear coefficient. *Vidnovluvana Energetika*, 1 (72), p. 41-51. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1\(72\).41-51](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72).41-51)
13. Guo, J. and Liu, B. and Gong et al. Technical note: First comparison of wind observations from ESA's satellite mission Aeolus and ground-based radar wind profiler network of China (2021) *Atmospheric Chemistry and Physics* 21 (4) p. 2945-2958. <https://doi.org/10.5194/acp-21-2945-2021>
14. Bañuelos-Ruedas F., Angeles-Camacho C. Rios-Marcuello S. Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource Assessment in a Region, pp. 97-114, in *Wind Farm - Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment*, Ed. G.O. Suvire, 2011, 248p.
15. Hsu S., Meindl E., Gilhousen D. Determining the power-law wind-profile exponent under near-neutral stability conditions at sea, *J. Appl. Meteorol.*, Vol. 33, pp. 757-765, 1994.

Adamov Y.V., Ph.D. Zavalniuk V.V.

REMOTE CARGO AIRDROP SYSTEMS FOR LOGISTICAL SUPPORT OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

The article addresses the critical issue of supplying ammunition and military equipment to units of the Armed Forces of Ukraine conducting combat operations in isolation from the main forces in hard-to-reach areas or in the depth of enemy defense. The paper analyzes current experience in using unmanned aerial systems (UAS) for logistical support of troops and identifies the main threats to such operations in the form of enemy anti-aircraft defense systems and electronic warfare means.

An innovative approach to solving this problem is proposed through the application of remote cargo dropping systems using automated parachute systems released from unmanned aerial vehicles (UAVs) in a safe zone. The paper presents a mathematical model of parachute system movement under the influence of horizontal wind and demonstrates the possibility of significant horizontal displacement of cargo (with a drift efficiency coefficient of up to 5 or more) depending on the drop height, characteristics of the parachute system, and meteorological conditions. The research substantiates the promising nature of using automated guided parachute systems with integrated sensors to improve the accuracy of cargo delivery in complex meteorological conditions.

The results of the study allow for increasing the efficiency and safety of logistical support for Ukrainian Armed Forces units, particularly marine infantry and airborne assault troops, under conditions of active enemy countermeasures.

Keywords: logistical support, unmanned aerial vehicles, parachute systems, remote cargo dropping, Hellmann exponent, automated control system.