

І.І. Калужняк¹, А.Ф. Гаврилюк¹, В.С. Дубасюк²¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна²Головне управління ДСНС України у Львівській області, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ПІДЙІМАЛЬНОЇ СИЛИ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

У роботі обґрунтовано можливість використання безпілотних літальних апаратів для гасіння пожеж з використанням теоретичних методів дослідження, проаналізовано технічні та експлуатаційні параметри, які впливають на ефективність гасіння. Подано аналітичну рівність, а також її графічну візуалізацію для визначення підйімальної сили БпЛА з урахуванням діаметру рукава та роду вогнегасної речовини

Ключові слова: пожежа, безпілотні літальні апарати, гасіння пожежі, підймальна сила, пожежна небезпека

Постановка проблеми

Протягом останніх років спостерігається інтенсивна еволюція безпілотних літальних апаратів (БпЛА), зумовлена еволюцією методів ведення воєн та відповідним динамічним розвитком сучасних технологій. Прогрес у галузях мікроелектроніки, штучного інтелекту, сенсорних систем, супутникової навігації та бездротових комунікацій забезпечив підвищення рівня автономності, енергоефективності та функціональної гнучкості БпЛА. Це, у свою чергу, сприяло розширенню сфер їх застосування - від аерофотознімання, моніторингу та геодезичних досліджень до логістики, пошуково-рятувальних операцій та вирішення завдань у сфері безпеки й оборони.

Зокрема БпЛА активно використовуються у сільському господарстві, логістиці та екології [1-4]. Крім того, вони ефективно використовуються під час рятувальних операцій, виконують функції пошуку зниклих осіб, спостереження за надзвичайними ситуаціями, оцінки масштабу і наслідків катастроф, доставки медичних засобів, що суттєво підвищує ефективність реагування [5]. Разом з тим, розвиток БпЛА сягнув таких характеристик, які дозволяють їх успішно використовуватися для гасіння пожеж, що особливо актуально у важкодоступних для традиційних способів пожежогасіння місцях, наприклад фасадів та балконів висотних будівель.

Водночас відсутні нормативні документи та чіткі технічні критерії, що регламентують застосування БпЛА під час гасіння пожеж. На сьогодні не визначено мінімальні технічні вимоги до безпілотних літальних апаратів, здатних забезпечити транспортування пожежного рукава та подачу вогнегасних речовин. Виходячи з цього важливо класифікувати та розрізняти БпЛА, їх характеристики та властивості з точки зору використання для пожежогасіння.

Доцільно проаналізувати існуючі класифікації та характеристики БпЛА в сучасних наукових працях та нормативних актах

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато аспектів, за якими можна це зробити [6].

Автори С. Поп, А. Лучіан, Р-Г. Змеду, Е. Олеа (Pop S, Luchian A, Zmădu RG, Olea E) у публікації [7] дослідили еволюцію БпЛА від перших зразків із базовими системами керування до сучасних високотехнологічних комплексів з автономною навігацією та розширеними сенсорними можливостями, окресливши їхнє військове та цивільне застосування. Раніше БпЛА зазвичай використовувались у військовій сфері, однак завдяки зниженню вартості комплектуючих та покращенню сенсорних технологій, БпЛА отримали широке застосування й у цивільному секторі [1].

На базовому рівні БпЛА можна класифікувати на: літаки з нерухомим крилом, мультикоптери та гібридні.

БпЛА з нерухомим крилом передбачають більше простору для запуску, оскільки їхні крила потребують руху вперед для створення підйімальної сили. Мультикоптери використовують обертові ротори для створення підйімальної сили і не потребують багато простору для запуску, оскільки зазвичай можуть виконувати вертикальний зліт і посадку (VTOL) та зависати на місці. Проте вони мають обмежений радіус дії, час польоту та вантажопідйомність. Гібридні БпЛА поєднують характеристики і літака з нерухомим крилом, і мультикоптера, наприклад, ротори для VTOL і крила для польотів на довші дистанції [8].

Вчені В.Й.Г. Адоні, С. Лоренц, Дж. С. Фарід, Р. Глоаген, М. Буссманн (*Adoni, W. Y. H., Lorenz, S., Fareedh, J. S., Gloaguen, R., & Bussmann, M.*) у праці [9] детально прокатегорували БПЛА. Найпопулярнішими серед яких є однороторні, багатороторні, фіксованокрилі, та гібридні.

Однороторний (Single-rotor) (гелікоптер) здійснює вертикальний зліт і посадку. Зазвичай використовується один головний ротор для контролю крену, тангажу та керування напрямком, а також допоміжний хвостовий ротор. Основна перевага – здатність нести значні корисні навантаження і тривалий час перебувати в повітрі. Однак складна механіка та великі розміри створюють небезпеку, а апарати менш стійкі у поганих погодних умовах [9].

Багатороторний (Multi-rotor) (мультикоптер) має два і більше роторів, та поділяється на підкатегорії: бі-, три-, квадро-, гекса- та октороторні (octocopter). Подібно до однороторних версій, здійснюється вертикальний зліт і посадка. БПЛА цієї категорії швидкі, маневрені, можуть виконувати складні маневри і літати у замкнених просторах. Основний недолік – мала тривалість польоту [9].

Будова БПЛА фіксованого крила (Fixed-wing) ґрунтується на простій конструкції з нерухомим крилом. Крім типу крила, класифікація також враховує конструкцію фюзеляжу та систему живлення (літій-іонні або літій-полімерні батареї, або двигуни внутрішнього згоряння). Вони поділяються на: прямокрилі, зі зворотним стрілоподібним кутом (swept-back), з переднім стрілоподібним крилом (swept-forward) та дельта-крило (delta). Такі БПЛА можуть нести більші корисні навантаження, ніж мультикоптери. Недоліки – обмежена маневреність, необхідність зльоту й посадки на злітно-посадкову смугу [9].

Гібридні БПЛА (Hybrid) поєднують переваги мультикоптерів і фіксованокрилів. Забезпечують високу маневреність, швидкість, здатність до тривалих польотів, не потребують злітно-посадкової смуги. Серед недоліків – висока ціна, складна механіка, менш стабільна робота та обмежені швидкості польоту [9].

Автори М.-Н. Мірза, І. Каїсрані, Л. Абід, А. Накві (*Mirza, M.-N., Qaisrani, I., Abid, L., & Naqvi, A.*) у своїй публікації [10] класифікували БПЛА за ключовими параметрами, такими як розмір і вага, дальність польоту, тип керування, а також функціональне призначення, яке охоплює військові, цивільні, комерційні, рятувальні та аграрні системи. Науковці

А. Ватс, В. Амброзія, Е. Хінклі (*Watts A, Ambrosia V, Hinkley E*) у своїй роботі [11] описали різноманітні платформи дронів для цивільного, наукового та військового використання на основі таких характеристик, як розмір, тривалість польоту та можливості. Вони класифікували їх як MAV (мікро-або мініатюрні літальні апарати), NAV (нанолітальні апарати), VTOL (вертикальний зліт і посадка), LASE (мало висотний, коротка тривалість польоту), LASE близького радіуса дії, LALE (мало висотний, тривала тривалість польоту), MALE (середньовисотний, тривала тривалість польоту) та HALE (великовисотний, тривала тривалість польоту).

Тому актуальним постає завдання проаналізувати технічні та експлуатаційні параметри сучасних БПЛА.

Мета дослідження

Мета дослідження полягає у розкритті особливостей впливу експлуатаційних чинників на підймальну силу БПЛА для гасіння пожеж.

Задачі дослідження

Проаналізувати технічні та експлуатаційні параметри сучасних БПЛА і на основі аналізу виявити та узагальнити найбільш значущі технічні та експлуатаційні параметри сучасних БПЛА, які можуть використовуватись для гасіння пожеж.

Методи досліджень

У роботі використано теоретичний метод дослідження, який передбачав проведення комплексного аналізу та узагальнення сучасних наукових праць, присвячених категорюванню відомих БПЛА, а також їх технічних і експлуатаційних параметрів.

Виклад основного матеріалу

У дослідженні [12] БПЛА були класифіковані за такими параметрами, як вага, дальність і тривалість польоту, навантаження на крило, максимальна висота польоту та тип двигуна. Згідно з цією класифікацією, БПЛА поділяються на: надважкі – масою понад 2000 кг; важкі – від 200 до 2000 кг; середні – від 50 до 200 кг; легкі або міні – від 5 до 50 кг; та мікродрони – з масою менше 5 кг [12].

У публікації [13] науковці С. А. Г. Мохсан, М. А. Хан, Ф. Нур, І. Уллах, М. Г. Альшариф (*Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H.*) навели класифікацію БПЛА за параметрами польоту (табл. 1).

Таблиця 1 [13]

Класифікація БпЛА за параметрами польоту

Категорія	Час польоту (год)	Висота польоту (м)	Дальність польоту (км)	Маса (кг)
Низьковисотне глибоке проникнення (LADP)	0,5-1	50-9000	>250	250-2500
Низьковисотне тривале патрулювання (LAE)	>24	3000	>500	15-25
Середньовисотне тривале патрулювання (MALE)	24-48	3000	>500	1000-1500
Високівисотне тривале патрулювання (HALE)	24-48	20000	>2000	2500-5000

Порівняння різних типів БпЛА з урахуванням трьох різних характеристик (табл. 2).

Таблиця 2 [13]

Порівняння БпЛА за характеристиками

Категорія	Висота (км)	Середній діапазон керування (км)	Середня швидкість польоту (м/с)
Багатороторні	2	3-5	250-2500
З фіксованим крилом	0,125	2	15-25
Однороторні	3	30	1000-1500
Гібридні	4	500-1000	2500-5000

Поряд з тим, дослідники Г. Сінгхал, Б. Банзод, Л. Мет'ю (*Singhal, G., Bansod, B., & Mathew, L.*) у публікації [14] класифікували БпЛА за вагою та дальністю польоту: Nano з максимальною вагою 200 г та дальністю польоту 5 км; Micro з вагою 2 кг дальністю польоту 25 км; Mini з вагою 20 кг дальність 40 км; Light вага 50 кг дальність 70 км; Small 150 кг дальність 150 км; Tactical до 600 кг з дальністю

польоту 150 км; MALE до 1000 кг з дальністю 200 км; HALE до 1000 кг з дальністю 250 км; Heavy до 2000 кг з дальністю 1000 км; Super Heavy до 2500 кг з дальністю 1500 км.

Відповідно до наказу Міністерства оборони України від 8 грудня 2016 р. № 661, класифікація БпЛА здійснюється за визначеними класифікаційними ознаками (табл. 3) [15].

Таблиця 3 [15]

Класифікація БпЛА за основними ознаками

Клас	Рівень застосування	Бойовий радіус	Категорія БпЛА БпАК держав – членів НАТО
I клас < 150 кг	мікро (тактичні) злітна маса < 2 кг	до 5 км (зона прямої видимості)	micro
	міні (тактичні поля бою) $2 \text{ кг} \leq \text{злітна маса} \leq 15 \text{ кг}$	більше 5 км (зона прямої видимості)	mini
	малі (тактичні) злітна маса > 15 кг	більше 25 км (зона прямої видимості)	small
II клас 150-600 кг	тактичні (оперативно-тактичні)	більше 50 км (зона прямої видимості)	tactical
III клас > 600 кг	оперативні	більше 200 км (поза зоною прямої видимості)	MALE
	стратегічні	більше 200 км (поза зоною прямої видимості)	HALE

Проаналізувавши основні характеристики БпЛА, у цьому дослідженні зосереджено увагу на мультикоптерах, оскільки вони характеризуються високою маневреністю, здатністю до вертикального зльоту та посадки, можливістю тривалого зависання у повітрі, оперативністю розгортання у польових умовах, відносно прості в експлуатації, а також забезпечують можливість транспортування та використання корисного навантаження у широкому спектрі. На рис. 1 схематично

зображено використання БпЛА під час гасіння пожежі балкону будівлі. На БпЛА діє сила ваги, спрямована вертикально вниз, яку компенсує підймальна сила гвинтів, орієнтована вгору. У зоні виходу струменя води виникає сила подачі, що врівноважується стабілізуючими зусиллями, сформованими системою керування та аеродинамічними моментами апарата. Завдяки балансуванню зазначених сил забезпечується стійке положення БпЛА під час гасіння пожежі.

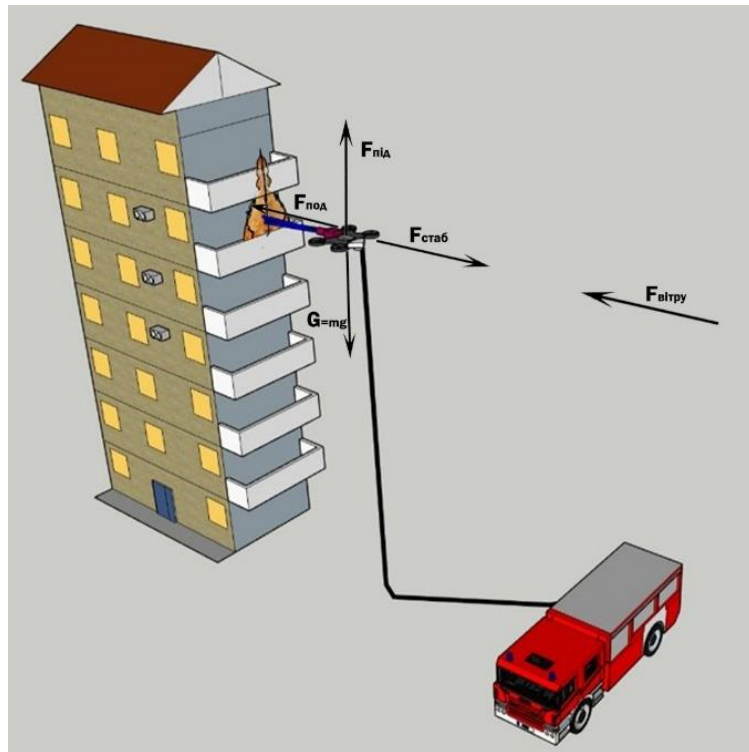


Рис. 1. Візуалізація

Виходячи з цього стає очевидним, що БПЛА має забезпечити підйом рукавної лінії на певну висоту, забезпечити стійкість під час дії вітру, виникнення реактивних сил на пожежному стволі під час подачі вогнегасних речовин, а також здатність працювати впродовж нормативного часу гасіння пожежі. Тому окреслимо технічні та експлуатаційні параметри БПЛА, які здатні забезпечити вищезазначені чинники.

Прокласифікуємо всі характеристики БПЛА на експлуатаційні та технічні характеристики. До технічних відносять кількість роторів, тип та ємність батареї, вид камери, маса, вологозахист, розміри тощо. До експлуатаційних параметрів віднесемо час, висоту та дальність польоту, корисне навантаження, час заряджання батареї.

Очевидно, що серед експлуатаційних параметрів корисне навантаження та час польоту матиме визначальне значення при гасінні пожеж, що у свою чергу визначатиме технічні характеристики БПЛА.

Підймальну силу БПЛА для гасіння пожежі можна визначити з рівності (1), яка враховує як масу обладнання так і масу вогнегасної речовини в ньому:

$$F = \left(l \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho + 102,98 \cdot l \cdot d^{1,78} + 3 \right) \cdot g. \quad (1)$$

де F – сила, Н;

l – висота пожежі, м;

d – діаметр рукава, м;

ρ – густина вогнегасної речовини, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння на Землю, м/с².

На рис. 2,3 наведено графічну візуалізацію з використанням аналітичної залежності 1, впливу чинників, а саме виду вогнегасної речовини, діаметру рукава, а також висоти пожежі на підймальну силу БПЛА.

Із графіків видно, що зі збільшенням діаметра рукава підймальна сила зростає. Крім того, зі збільшенням висоти пожежі значення підймальної сили зростають. Це пояснюється тим, що на більших висотах у процес формування підймальної сили залучається більший об'єм робочого середовища – води чи компресійної піни. Відповідно, зростає маса рідини або піни, яка бере участь у створенні додаткового тиску, що безпосередньо впливає на величину корисної підймальної сили.

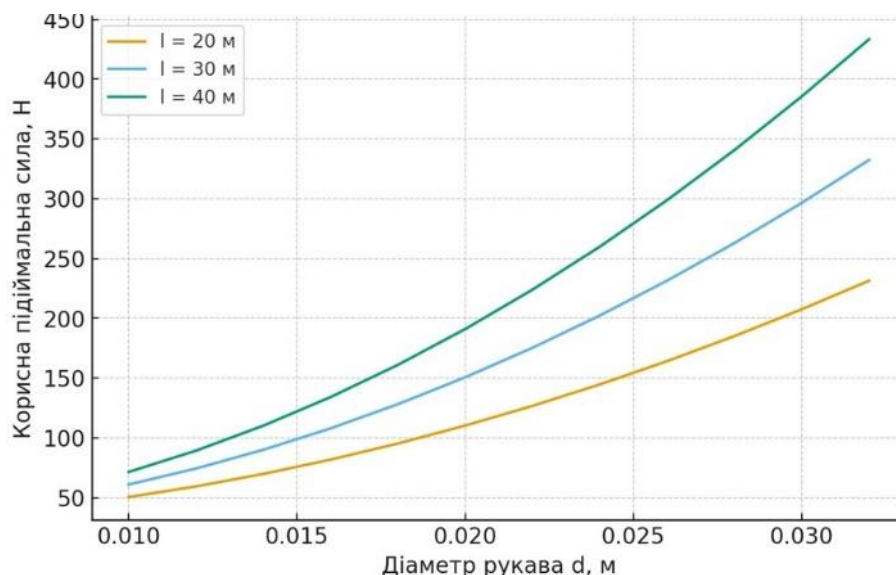


Рис. 2. Залежність підіймальної сили від діаметру та довжини рукава для води

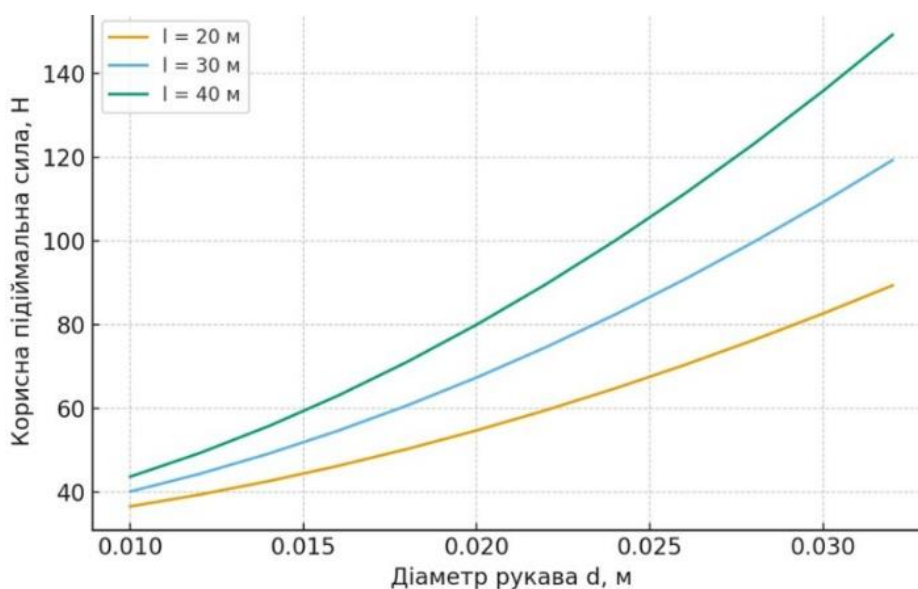


Рис. 3. Залежність підіймальної сили від діаметру та довжини рукава для компресійної піни

Наданий час нормативно-правового документа, в якому наведено притаманну сфері цивільного захисту класифікацію БпЛА, не існує [16], також немає нормативно-правового документа, який регламентує порядок застосування пожежних БпЛА для гасіння пожеж.

Висновки

Для вирішення завдань пожежогасіння найбільш оптимальним є використання багатороторних БпЛА (multi-rotor UAV), що забезпечують вертикальний зліт і посадку, а також здатність здійснювати стабільне зависання у повітрі.

Гасіння пожеж за допомогою БпЛА ускладнюється відсутністю нормативного підґрунтя, у межах якого могли б бути врегульовані технічні

вимоги, стандарти безпеки та порядок їх практичного застосування.

На підставі аналізу визначено та прокласифіковано технічні та експлуатаційні параметри БпЛА, серед яких корисне навантаження та час польоту є визначальними під час гасіння пожеж. Наведена аналітична рівність, яка дозволяє визначати корисне навантаження БпЛА з врахуванням діаметру рукава, виду вогнегасної речовини та висоти пожежі.

Перспективи подальших досліджень

Подальша робота буде спрямована на теоретичне та експериментальне дослідження реактивних сил, які виникають при безпосередній подачі вогнегасних речовин з пожежного ствола із використанням БпЛА, що ляже в основу наступної публікації.

Література

1. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review / I. Colomina, P. Molina. — ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2014. — Vol. 92. — P. 79-97. — DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
2. Zhang C., Kovacs J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review / C. Zhang, J. M. Kovacs. — Precision Agriculture. — 2012. — Vol. 13, № 6. — P. 693-712. — DOI: 10.1007/s11119-012-9274-5.
3. Anderson K., Gaston K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology / K. Anderson, K. J. Gaston. — Frontiers in Ecology and the Environment. — 2013. — Vol. 11, № 3. — P. 138-146. — DOI: 10.1890/120150.
4. Dorling K., Heinrichs J., Messier G. G., Magierowski S. Vehicle routing problems for drone delivery / K. Dorling, J. Heinrichs, G. G. Messier, S. Magierowski. — IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. — 2017. — Vol. 47, № 1. — P. 70-85. — DOI: 10.1109/TSMC.2016.2560998.
5. Adams S. M., Friedland C. J., Wendt J. Unmanned aerial vehicle applications for emergency response: A review / S. M. Adams, C. J. Friedland, J. Wendt. — Remote Sensing. — 2019. — Vol. 11, № 15. — Article 1717. — DOI: 10.3390/rs11151717.
6. Sdoukou E., Milidonis A., Efstathiou K. et al. A survey of UAV hardware selection / E. Sdoukou, A. Milidonis, K. Efstathiou та ін. — Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2025. — Vol. 72. — Article 88. — DOI: 10.1186/s44147-025-00645-5.
7. Pop S., Luchian A., Zmădu R. G., Olea E. The evolution of unmanned aerial vehicles / S. Pop, A. Luchian, R. G. Zmădu, E. Olea. — Rev Air Force Acad. — 2017. — Vol. 15. — P. 125-132. — DOI: 10.19062/1842-9238.2017.15.3.15.
8. Lygouras E., Dokas I. M. Identifying hazardous emerging behaviors in search and rescue missions with drones: A proposed methodology / E. Lygouras, I. M. Dokas. — Procedia Computer Science. — 2017. — Vol. 301. — P. 70-76. — DOI: 10.1016/j.procs.2017.01.094.
9. Adoni W. Y. H., Lorenz S., Fareedh J. S., Gloaguen R., Bussmann M. Investigation of Autonomous Multi-UAV Systems for Target Detection in Distributed Environment: Current Developments and Open Challenges / W. Y. H. Adoni, S. Lorenz, J. S. Fareedh, R. Gloaguen, M. Bussmann. — Drones. — 2023. — Vol. 7, № 4. — Article 263. — DOI: 10.3390/drones7040263.
10. Mirza M.-N., Qaisrani I., Abid L., Naqvi A. Unmanned aerial vehicles: A revolution in the making / M.-N. Mirza, I. Qaisrani, L. Abid, A. Naqvi. — Journal of South Asian Studies. — 2016. — Vol. 31, № 2. — P. 243-256. — URL: <https://shs.hal.science/halshs-02951743/document>
11. Watts A., Ambrosia V., Hinkley E. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use / A. Watts, V. Ambrosia, E. Hinkley. — Remote Sensing. — 2012. — Vol. 4. — P. 1671-1692. — DOI: 10.3390/rs4061671.
12. Hassanalian M., Abdelkefi A. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review / M. Hassanalian, A. Abdelkefi. — Progress in Aerospace Sciences. — 2017. — Vol. 91. — P. 99-131.
13. Mohsan S. A. H., Khan M. A., Noor F., Ullah I., Alsharif M. H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review / S. A. H. Mohsan, M. A. Khan, F. Noor, I. Ullah, M. H. Alsharif. — Drones. — 2022. — Vol. 6, № 6. — Article 147. — DOI: 10.3390/drones6060147.
14. Singhal G., Bansod B., Mathew L. Unmanned Aerial Vehicle classification, applications and challenges: A review [Preprint] / G. Singhal, B. Bansod, L. Mathew. — Preprints.org. — 2018, Nov. 27. — DOI: 10.20944/preprints201811.0601.v1.
15. Міністерство оборони України. Наказ від 08.12.2016 № 661 «Правила виконання польотів

безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України». — Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 12.01.2017 за № 31/29899. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text>. — Дата звернення: (11.09.2025).

16. Mosov S. P., Khizhnyak V. V., Lytovchenko A. O., Yadchenko D. M. Класифікація, функції та завдання безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України / S. P. Mosov, V. V. Khizhnyak, A. O. Lytovchenko, D. M. Yadchenko. — Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. — 2021. — № 2(12). — С. 54-68. — DOI: 10.33269/nvcz.2021.2.54-68.

Reference

1. Colomina, I., & Molina, P. (2014). *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
2. Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review*. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
3. Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). *Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138–146. <https://doi.org/10.1890/120150>
4. Dorling, K., Heinrichs, J., Messier, G. G., & Magierowski, S. (2017). *Vehicle routing problems for drone delivery*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(1), 70–85. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2560998>
5. Adams, S. M., Friedland, C. J., & Wendt, J. (2019). *Unmanned aerial vehicle applications for emergency response: A review*. *Remote Sensing*, 11(15), 1717. <https://doi.org/10.3390/rs11151717>
6. Sdoukou, E., Milidonis, A., Efstathiou, K. et al. *A survey of UAV hardware selection*. *J. Eng. Appl. Sci.* 72, 88 (2025). <https://doi.org/10.1186/s44147-025-00645-5>
7. Pop S, Luchian A, Zmădu RG, Olea E (2017) *The evolution of unmanned aerial vehicles*. *Rev Air Force Acad* 15:125–132. <https://doi.org/10.19062/1842-9238.2017.15.3.15>
8. Lygouras, E., & Dokas, I. M. (2017). *Identifying hazardous emerging behaviors in search and rescue missions with drones: A proposed methodology*. *Procedia Computer Science*, 301, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.094>
9. Adoni, W. Y. H., Lorenz, S., Fareedh, J. S., Gloaguen, R., & Bussmann, M. (2023). *Investigation of Autonomous Multi-UAV Systems for Target Detection in Distributed Environment: Current Developments and Open Challenges*. *Drones*, 7(4), 263. <https://doi.org/10.3390/drones7040263>
10. Mirza, M.-N., Qaisrani, I., Abid, L., & Naqvi, A. (2016). *Unmanned aerial vehicles: A revolution in the making*. *Journal of South Asian Studies*, 31(2), 243–256. <https://shs.hal.science/halshs-02951743/document>
11. Watts A, Ambrosia V, Hinkley E (2012) *Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use*. *RS* 4:1671–1692, <https://doi.org/10.3390/rs4061671>
12. M. Hassanalian and A. Abdelkefi, “Classifications, applications, and design challenges of drones: A review,” *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 91, no. May, pp. 99–131, 2017.
13. Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H. (2022). *Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review*. *Drones*, 6(6), 147. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
14. Singhal, G., Bansod, B., & Mathew, L. (2018, November 27). *Unmanned Aerial Vehicle classification*,

applications and challenges: A review [Preprint]. Preprints.org. <https://doi.org/10.20944/preprints201811.0601.v1>

15. Ministry of Defence of Ukraine. (2016). Nakaz vid 08.12.2016 № 661 "Pravyla vykonannya pol'otiv bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksamy derzhavnoi aviatsii Ukrainy" [Order of 08.12.2016 No. 661 "Rules for flights of unmanned aerial complexes of the state aviation of Ukraine"]. Registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 12.01.2017 as No. 31/29899. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> [in Ukrainian]

16. Mosov, S. P., Khizhnyak, V. V., Lytovchenko, A. O., & Yadchenko, D. M. (2021). Kласифікація, функції та завдання безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України [Classification, functions and tasks of unmanned aviation in the field of civil protection of Ukraine]. *Naukovyi visnyk: tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 2(12), 54–68. <https://doi.org/10.33269/nvz.2021.2.54-68> [in Ukrainian]

Рецензент: д-р техн. наук, старший дослідник Я.В. Балло, Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, Україна.

Автор: КАЛУЖНЯК Ігор Іванович

JUSTIFICATION OF THE LIFTING FORCE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR FIREFIGHTING

I. Kaluzhniak¹, A. Havryliuk¹, V. Dubasiuk²

¹Lviv State University of Life Safety, Ukraine

²The Main Department of the State Emergency Service of Ukraine in the Lviv Region, Lviv, Ukraine

This study provides an in-depth examination of the technical and operational parameters of modern unmanned aerial vehicles (UAVs) in order to determine their suitability for firefighting missions in hard-to-reach, hazardous, or otherwise inaccessible areas. With rapid technological development expanding the capabilities of UAV systems, their potential use in emergency response continues to grow, creating the need for a structured assessment of the criteria that define their effectiveness in real operational conditions. The research identifies, analyzes, and systematizes the key UAV parameters that have a direct impact on performance during firefighting tasks. The methodology employed in this study relies on quantitative secondary data collection, supported by statistical comparison methods. This approach ensures a high level of objectivity when evaluating such characteristics as payload capacity, flight stability, endurance, propulsion systems, and resistance to environmental factors. Special attention is given to the technical requirements necessary for UAVs to operate with firefighting equipment, particularly firehoses and nozzles, which introduce additional weight, reactive forces, and aerodynamic challenges. The results clearly indicate that multi-rotor UAVs represent the most suitable configuration for modern firefighting operations. Their ability to perform vertical takeoff and landing, maintain precise hovering, and maneuver safely in confined urban spaces makes them significantly more adaptable than fixed-wing or hybrid platforms. These operational capabilities are essential for effective suppression of fires in complex environments where traditional firefighting vehicles cannot easily reach the source of the fire. The study also evaluates the relationship between UAV payload capacity and the specifications of firefighting tools, including firehose diameter and the type and intensity of extinguishing agents. The analysis demonstrates that accurate determination of these parameters is crucial for ensuring both mission effectiveness and operational safety. The article concludes by establishing a set of recommended UAV characteristics required for firefighting deployment, such as the ability to lift and stabilize a firehose, withstand wind and nozzle reaction forces, and sustain sufficient flight duration during active firefighting operations. Future research will focus on identifying the correlation between minimum critical extinguishing-agent intensity and the required dimensions of firehoses and nozzles, which will further support determining the optimal UAV payload necessary for efficient and safe firefighting performance.

Keywords: fire, unmanned aerial vehicle, fire extinguishing, lifting force, fire danger.

ад'юнкту докторантури-ад'юнктуру
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності

E-mail – ikaluznak@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1101-1403>

Автор: ГАВРИЛЮК Андрій ФЕДОРОВИЧ
доктор технічних наук, доцент, професор кафедри
цивільного захисту

Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності

E-mail – gavrilyk3@ukr.net

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8727-9950>

Автор: ДУБАСЮК Володимир Степанович
заступник начальника центру (з питань
оперативного реагування) оперативно-
координаційного центру

ГУ ДСНС України у Львівській області

E-mail – dubasiuk@gmail.com

ID ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-7079-1499>