

doi: 10.32620/oikit.2024.102.09

УДК 629.7

А. М. Гуменний, О. І. Кривобок, А. В. Лоленко,  
О. М. Столярчук, О. О. Васильєв

## **Інноваційні підходи до запуску легких безпілотних літальних апаратів малого та середнього радіусу дії у різних умовах**

*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

Предметом дослідження цієї статті є аналіз існуючих методів запуску безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в сучасних умовах, що вимагають високої точності, безпеки та гнучкості. У статті розглядаються три основні підходи: ручний запуск, запуск із леєра та використання катапульт. Метою дослідження є оцінювання переваг і недоліків цих методів, а також розробка конструктивних рішень для вдосконалення процесу запуску БПЛА. Особливу увагу приділено запуску за допомогою катапульт, як найбільш універсального методу для безпілотних літальних апаратів різного класу. В процесі дослідження проведено аналіз конструктивних особливостей катапульт, включаючи системи, що використовують пневматичний принцип для забезпечення стартового імпульсу, та їхньої здатності працювати в умовах пересіченої місцевості. В роботі розглянуто технічні характеристики сучасних катапульт, які включають використання уніфікованих вузлів, можливість регулювання кута старту, забезпечення дистанційного керування та підвищення безпеки оператора. Представлено нове конструктивне рішення катапульти, яке дозволяє запускати БПЛА в складних умовах із мінімальними витратами на експлуатацію та обслуговування. Зокрема, описано можливість її транспортування, адаптації для запуску апаратів із різною злітною вагою, а також використання стандартних народногосподарських товарів для зниження собівартості. Наукова новизна роботи полягає в розробці пневматичної схеми катапульти, що забезпечує стабільність і точність запуску. Завдяки застосуванню дистанційного керування шаровим краном для подачі стисненого повітря до напрямної труби досягнуто простоти конструкції та зручності експлуатації. Отримані результати свідчать про значний потенціал для вдосконалення існуючих методів запуску БПЛА, що сприятиме підвищенню ефективності їх застосування у військовій, рятувальній, аграрній та інших галузях. Таким чином, запропонована модель катапульти поєднує в собі економічну доступність, зручність експлуатації та безпеку. Це робить її перспективним рішенням для запуску безпілотних літальних апаратів різного призначення та підвищення загальної ефективності їхнього використання в різноманітних умовах.

**Ключові слова:** Безпілотний літальний апарат, запуск, катапульта, пневматична система, дистанційне керування, безпека.

### **Вступ**

В останні роки важко уявити вирішення багатьох господарських завдань без використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) різного цільового спрямування. Їх застосування стало важливою складовою сучасних технологій, що забезпечують високу ефективність у багатьох галузях, включаючи сільське господарство, військову справу, логістику, рятувальні операції та наукові дослідження. БПЛА дозволяють виконувати завдання, які раніше були технічно складними, небезпечними або економічно не вигідними, забезпечуючи при цьому високу точність, оперативність і гнучкість.

Зі зростанням популярності та інтенсивності використання БПЛА дедалі більшої актуальності набуває питання способу їхнього запуску. Правильний вибір методу запуску має вирішальне значення для забезпечення стабільності

польоту, збереження апарату, а також безпеки оператора й оточення. Це питання є особливо важливим у процесі випробування нових зразків БПЛА, коли часто виникає потреба у виконанні значної кількості запусків із точним дотриманням ключових параметрів.

Серед таких параметрів основними є початковий імпульс, кут стартової траєкторії, а також положення апарату за ризиканням, креном і тангажем. Забезпечення цих характеристик потребує застосування спеціалізованих технологій запуску, які відповідають сучасним стандартам якості, універсальності та безпеки [1, 2, 3, 4].

### Методи запуску

Основні методи запуску БПЛА включають запуск із руки, із леєра та за допомогою катапульт. Катапульти вирізняються своєю універсальністю та здатністю забезпечити стабільний старт навіть у складних умовах, що робить їх важливою складовою сучасних систем запуску безпілотних літальних апаратів [5].

До переваг запуску БПЛА рукою (рис. 1) належать простота та відсутність необхідності використання додаткових засобів. Проте це, мабуть, єдина перевага такого методу. Головне обмеження – вага БПЛА. Важко надати рукою необхідної швидкості літальному апарату із злітною вагою понад 5 кг.

Крім того, запуск БПЛА з руки є досить складним прийомом, який вимагає часу для опанування оператором, а також несе значні ризики для безпеки, особливо у випадку запуску БПЛА–камікадзе.



Рис. 1. Запуск «з руки» [6]

Існує два основні способи запуску рукою: із розмахом під рукою або над головою. Запуск із розмахом нагадує кидання диска чи камінця, коли оператор намагається розігнати дрон до максимальної швидкості завдяки кутовій швидкості. Запуск над головою передбачає кидок угору, який найкраще виконує помічник оператора, адже цей метод забезпечує більшу висоту для старту та більш контрольовану траєкторію.

Другий спосіб – запуск моделі з леєра (рис. 2). До переваг належать простота способу та можливість запуску більших за розміром та вагою моделей, які важко запустити рукою. До недоліків – нестабільність умов запуску та обмеження місця старту. Крім того, використання леєра може вимагати більшої кількості часу на підготовку та забезпечення точних умов запуску, що може вплинути на ефективність операції [7, 8, 9].

Запуск із леєра проводиться на відкритій місцевості, далеко від будівель, дерев і дротів електропередач. Леєром може служити тонкий міцний шнур, до одного кінця якого прив'язують металеве кільце та прапорець (візир) з кольорової тонкої тканини. Візир допомагає визначити момент відчеплення леєра.

Модель запускається так само, як повітряний змій, з тією різницею, що леєр відчіплюють, коли модель буде забуксована на достатню висоту (кільце зісковзує з гачка і агрегат продовжує вільний політ).

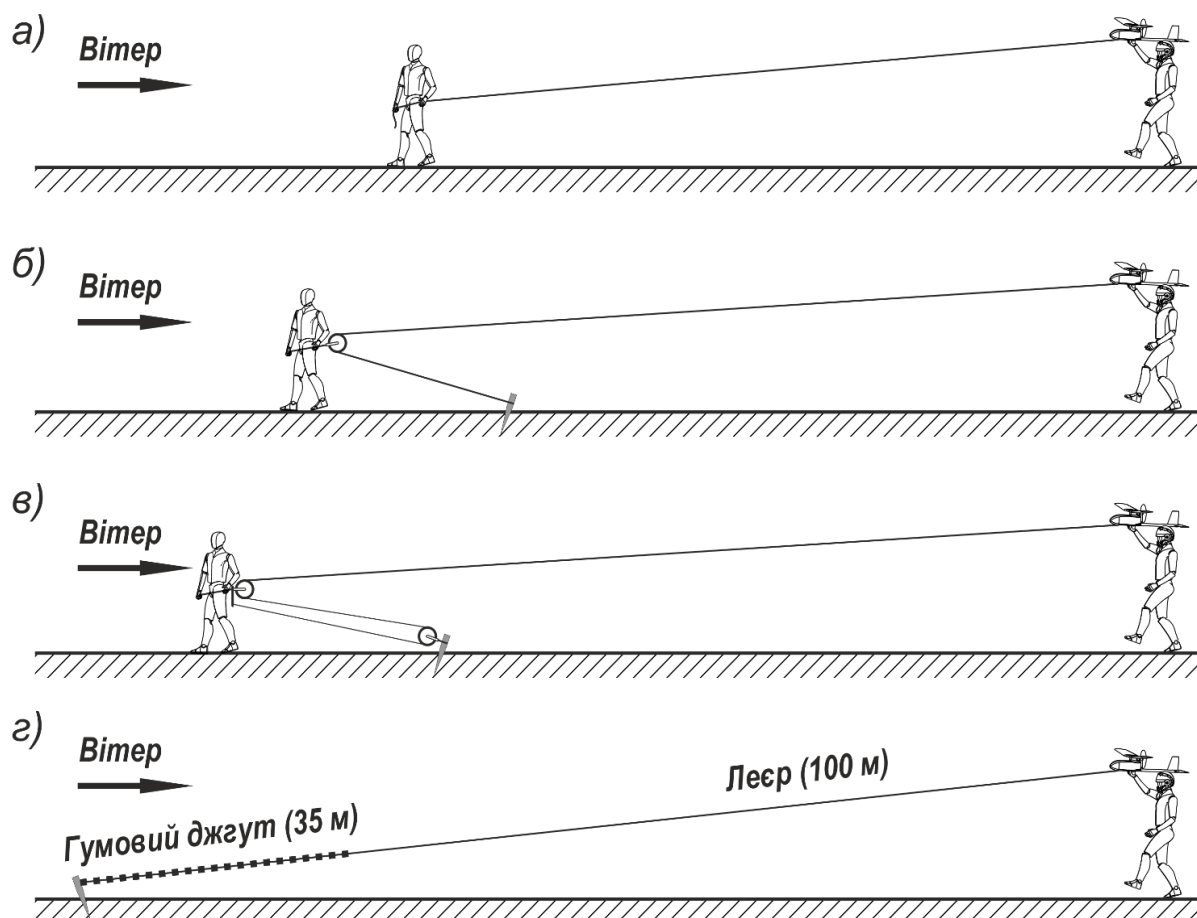


Рис. 2. Старт на леєрі:

а – простий леєр; б – блок; в – два блоки; г – старт із гумовою катапультию.

Третій спосіб потребує використання спеціального пускового пристрою (катапульти).

### Опис методу запуску з використанням катапульти

Катапульта, в загальному вигляді, є приводним пристроєм із закріпленим на ньому літальним апаратом, який розганяється вздовж напрямних, встановлених під необхідним стартовим кутом. Прискорення досягається завдяки

реактивному двигуну, парі, порохом газам, стисненому повітрю, пружинам та гумових шнурам. У кінці розбігу приводний пристрій різко гальмується, а літальний апарат, що стоїть на ньому, відокремлюється від нього зі швидкістю, необхідною для початку самостійного польоту.

Довжина напрямної повинна дозволяти літальному апарату досягнути стартової швидкості за час, який дозволить не перевищувати максимальне для літального апарата прискорення.

Розглядаючи можливість запуску БПЛА літакового типу вагою від 10 кг до 100 кг приходимо до висновку, що в разі відсутності пускового майданчика із злітно-посадковою смугою єдиною можливістю зльоту БПЛА є пуск за допомогою катапульти. Відповідно до цього постає завдання розробки проекту катапульти, яка має відповідати наступним вимогам:

- простота експлуатації (транспортування, збирання, обслуговування, ремонт);
- низька собівартість (доступність комплектуючих);
- універсальність (запуск різних типів БПЛА);
- можливість простого масштабування виробництва;
- відсутність складних технологічних процесів при виробництві;
- можливість автоматизації запуску БПЛА (один оператор обслуговує кілька катапульти);
- безпечна експлуатація;
- здатність працювати з непідготовлених майданчиків чи автомобіля, що дозволяє запускати БПЛА в різноманітних умовах, включаючи віддалені або обмежені локації.

Під час розробки технічного завдання на проектування катапульти для запуску БПЛА вагою від 5 кг до 30 кг було розглянуто низку проектів подібних пристроїв та оцінено їх переваги та недоліки.

Відомий пристрій для запуску безпілотних літальних апаратів (див. патентну заявку EP 3133019 B1), що забезпечує мінометний пуск БПЛА з труби. Недоліком цього пристрою є обмежена можливість запусків, зумовлена конструктивними особливостями БПЛА, що можуть мати нестандартну форму та розміри, що ускладнює їх запуск з мінометної труби [10].

Відомі катапульти для старту БПЛА (див. патенти US7954755B2, US7562843B2). Принцип їх роботи полягає в розгоні стартового візка, на який встановлений БПЛА, що переміщується вздовж напрямної за рахунок енергії розширення стисненого газу або механічної енергії пружин. Недоліком цього типу пристроїв є відносна складність конструкції, зумовлена великою кількістю рухомих деталей та з'єднань, що ускладнює їх збирання та експлуатацію. Також обмежено можливість запусків через контакт БПЛА з рослинністю висотою нижче 150 см на місці старту, що може перешкоджати вільному руху БПЛА під час старту [11, 12].

У представлений катапульти візок із встановленим на нього БПЛА замінено на довгий стрижень, кінець якого, виконаний у вигляді штовхача, який входить у зачеплення зі стартовим гаком БПЛА, що розташований на стартовому майданчику. Стрижень конструктивно виконаний у вигляді поршня й розміщений усередині напрямної, яка зроблена у вигляді труби пневмоциліндра, з'єднаної з ресивером за допомогою шарового крана. Процес надання прискорення БПЛА триває, поки поршень перебуває всередині труби пневмоциліндра й на нього діє сила розширення газу. Після повного виходу поршня з труби штовхач

відокремлюється від стартового гака БПЛА й падає на землю.

### **Конструкція та принцип роботи катапульти**

Катапульта (рис. 3) складається з прямої труби, яка виконує функцію пневмоциліндра (1) з поршнем (2), що є розгінним пристроєм, стартового майданчика (3), штовхача (4), ресивера (5), з'єданого з прямою трубою через шаровий кран (6) Контролер (8) забезпечує початок і припинення подачі стисненого газу в циліндр до моменту надання БПЛА необхідного стартового імпульсу. Стійкість катапульти та встановлення необхідного стартового кута забезпечуються регульованими ніжками (7). У спрощеному варіанті ресивер може бути розміщено на ґрунті, але для більшої стабільності передбачено підставку що складається (11). Технічний результат полягає в підвищенні надійності й безпеки запуску літального апарату.

В основу технічного завдання поставлено задачу вдосконалення катапульти для запуску БПЛА шляхом забезпечення змінного кута старту завдяки використанню опор із можливістю регулювання їхньої висоти, виконання її легко розбірною з можливістю перевезення доступним транспортним засобом, забезпечення оператора дистанційного керування апаратурою пуску, при високій цінній доступності як при виготовленні, так і в експлуатації.

Поставлену задачу вирішено за рахунок використання в конструкції катапульти побутових вузлів та матеріалів, а також завдяки застосуванню пристрою дистанційного управління шаровим краном подачі стисненого повітря у пряму, яка виконана у вигляді пневмоциліндра.

Сутність конструктивного рішення пояснюється кресленнями, де:

На рис. 3 представлено модель катапульти. Вузол 1 – це пряма катапульти. Вона виконана у вигляді пневмоциліндра, що складається з двох водопровідних труб діаметром 50 мм з'єднаних за допомогою стандартного чавунного фітинга та приєднаних до шарового крану відкриття ресивера через такий же фітинг. Вузол 2 – це стрижень, зібраний із двох алюмінієвих труб діаметром 32 мм, що виконують роль поршня, на кінці якого встановлено штовхач, за допомогою якого стартовий імпульс передається на гак БПЛА (рис. 4 та рис. 5).

На рис. 6 представлена катапульта зі встановленим БПЛА.

Катапульта працює в такий спосіб:

1. Після розпакування катапульта встановлюється на майданчик розміром 5х2 м, який може бути або полем з рослинністю до 150 см, або польовою дорогою.
2. На підставку встановлюється ресивер із стисненим газом.
3. До шарового крану за допомогою чавунного фітинга приєднуються попередньо зібрана з двох частин направляюча труба пневмоциліндра, на якій вже змонтований стартовий майданчик і регульовані ніжки.
4. За допомогою регульованих ніжок виставляється необхідний стартовий кут прямої труби.
5. У трубу вводиться поршень із штовхачем.
6. БПЛА встановлюється на підставку, після чого штовхач фіксується у стартовому гаку БПЛА.

Катапульти розташовують виключно (або суворо) проти вітру (за наявності). Для підготовки до старту БПЛА необхідно виконати всього шість операцій. Керування катапультию здійснюється дистанційно. З пульту керування подається команда на пуск, контролер пускового пристрою відкриває кран подачі

стисненого газу, і через короткий час закриває його. Стиснений газ виштовхує поршень із штовхачем, який розганяє БПЛА до стартової швидкості. Час, протягом якого кран відкритий, можна регулювати в заданих межах залежно від ваги БПЛА.

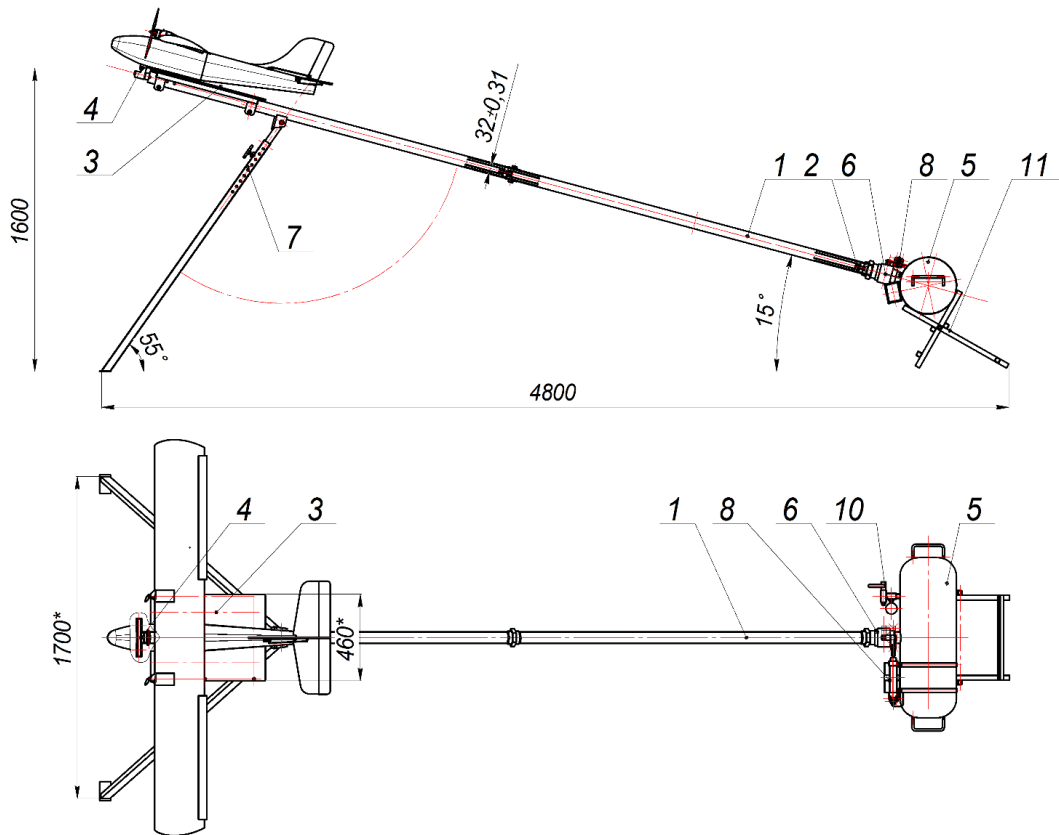


Рис. 3. Креслення загального вигляду катапульти

### Переваги конструкції та висновки

Переваги запропонованої катапульти в порівнянні з існуючими прототипами:

1. Вузли катапульти уніфіковані з товарами народного споживання високої доступності, що знижує її вартість і вартість ремонту.

2. Легко розбірна конструкція: найбільша деталь має довжину 2 м, що дозволяє перевозити катапульти будь-яким видом транспорту, підвищуючи її транспортабельність та скорочуючи час підготовки до роботи.

3. Регульований кут зльоту дозволяє обирати оптимальний режим старту для різних типів БПЛА.

4. Можливість використання катапульти на пересічній місцевості, полях із рослинністю до 150 см.

5. Підвищена безпека: під час запуску оператор перебуває поза зоною установки катапульти.

6. Простота обслуговування: катапульта не потребує висококваліфікованого персоналу та спеціального обладнання.

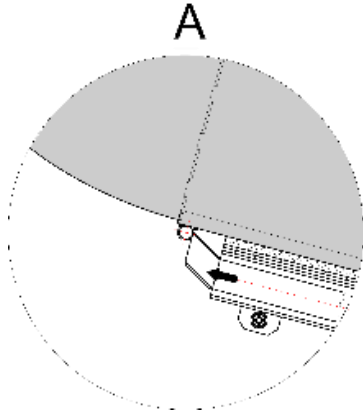


Рис. 4. Вузол 2

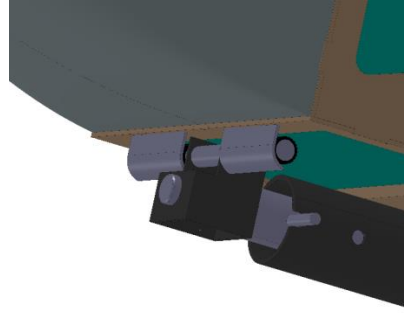


Рис. 5. 3D модель вузла 2



Рис. 6. Катапульта зі встановленим БПЛА

Поставлене завдання підвищення безпеки та зручності використання катапульти для запуску БПЛА, а також надання можливості одночасного запуску кількох БПЛА вирішується за рахунок застосування системи дистанційного відкриття крана подачі стисненого повітря із ресивера до пневмоциліндр катапульти.

Існують катапульти, що працюють на енергії стисненого газу, в яких силовий циліндр з'єднаний з ресивером за допомогою електроклапана (патент CN 2493055). Проте така схема живлення пневмоциліндра не забезпечує необхідних часових витрат стисненого повітря для забезпечення стартового імпульсу катапульти.

Для забезпечення стартових вимог була розроблена схема живлення пневмоциліндра катапульти за допомогою шарового крана, важіль відкриття якого з'єднаний із пневмоциліндром, що керується пневморозподільником типу 5-2.

Пневматична схема представлена на рис. 7.

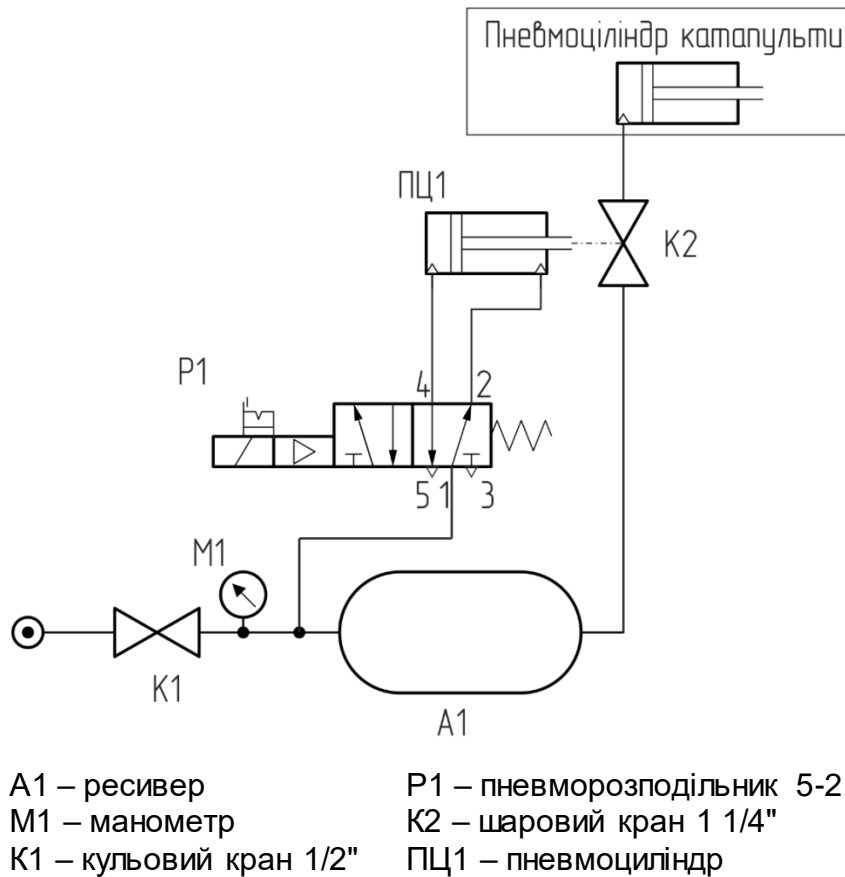


Рис. 7. Пневматична схема

### Список літератури

1. Дяченко, А. В. Принципи розробки модельного ряду безпілотних апаратів для обслуговування підприємств агропромислового сектору / А. В. Дяченко, К. О. Богомаз // Молодий вчений. – 2020. – № 11. – С. 5–8.
2. Горбілін, В. П. Безпілотна авіація військового призначення у фокусі світового науково-технічного прогресу / В. П. Горбілін, С. П. Мосов // Вісник Національної АН України. – 2023. – № 11. – С. 48-56.
3. Цепляєва, Т. П. Аналіз сучасного стану розвитку висотних безпілотних літальних апаратів / Т. П. Цепляєва, А. Ю. Мигунов // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Харків, 2019. – Вип. 83. С. 28–41.
4. Долгих, В. С. Перспективи розвитку безпілотної транспортної авіації / В. С. Долгих, Д. С. Конишев, С. А. Филь // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Харків, 2018. – Вип. 80. С. 23–28.
5. Саковський, А. А. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів органами та підрозділами поліції: метод. рек. / А. А. Саковський, С. М. Науменко, С. І. Кравченко, І. М. Єфіменко та ін. – Київ : Нац. акад. внутр. справ. 2022. – 72 с.
6. Супердрони FlyEye [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://war.obozrevatel.com/ukrain-poluchila-partiyu-natovskih-superdronov-na-chto-oni-sposobnyi.htm> (02.12.2024).



7. Безпілотний літальний апарат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний літальний апарат](https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат) (02.12.2024).

8. Федоров, С. І. Аванпроект безпілотного літака транспортної категорії / С. І. Федоров, А. В. Хаустов, Т. М. Крамаренко, В. С. Долгих // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т». – Харків, 2017. – Вип. 76. С. 5–15.

9. Долгих, В. С. Основні положення концепції створення безпілотної авіаційної транспортної системи / В. С. Долгих // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Харків, 2021. – Вип. 94. С. 40–49.

10. Mihailov, M., et al. Method for controlling the operation of a vehicle with electric propulsion: patent EP3133019 B1 / applicant: Siemens Aktiengesellschaft; patent holder: Siemens Aktiengesellschaft. — European Union: European Patent Office (EPO), 2017. — 15 p.

11. Strout, D. T., Cox, R. L. System and method for monitoring user activity in a computing environment: patent US7954755B2 / applicant: International Business Machines Corporation (IBM); patent holder: International Business Machines Corporation (IBM). — United States: U.S. Patent and Trademark Office (USPTO), 2011. — 20 p.

12. Tzeng, M., et al. Apparatus for controlling power consumption in a processor: patent US7562843B2 / applicant: Advanced Micro Devices, Inc.; patent holder: Advanced Micro Devices, Inc. — United States: U.S. Patent and Trademark Office (USPTO), 2009. — 22 p.

### References

1. Dyachenko, A. V. Principi rozrobki modelnogo ryadu bezpilotnih aparativ dlya obslugovuvannya pidpriyemstv agropromislovogo sektoru / A. V. Dyachenko, K. O. Bogomaz // Molodij vchenij. — 2020. — № 11. — S. 5–8.

2. Gorbilin, V. P. Bezpilotna aviaciya vijskovogo priznachennya u fokusi svitovogo naukovu-tehnicnogo progresu / V. P. Gorbilin, S. P. Mosov // Visnik Nacionalnoyi AN Ukrayini. — 2023. — № 11. — S. 48-56.

3. Ceplyayeva, T. P. Analiz suchasnogo stanu rozvitku visotnih bezpilotnih litalnih aparativ / T. P. Ceplyayeva, A. Yu. Migunov // Vidkriti informacijni ta komp'yuterni integrovani tehnologiyi : zb. nauk. pr. / Nac. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskogo «HAІ». — Harkiv, 2019. — Vip. 83. S. 28–41.

4. Dolgih, V. S. Perspektivi rozvitku bezpilotnoyi transportnoyi aviaciyi / V. S. Dolgih, D. S. Konishev, S. A. Fil // Vidkriti informacijni ta komp'yuterni integrovani tehnologiyi : zb. nauk. pr. / Nac. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskogo «HAІ». — Harkiv, 2018. — Vip. 80. S. 23–28.

5. Sakovskij, A. A. Osoblivosti zastosuvannya bezpilotnih litalnih aparativ organami ta pidrozdilami policiyi: metod. rek. / A. A. Sakovskij, S. M. Naumenko, S. I. Kravchenko, I. M. Yefimenko ta in. — Kiyiv : Nac. akad. vnutr. sprav. 2022. — 72 s.

6. Cuperdroni FlyEye [Elektronnij resurs]. — Rezhim dostupu: <https://war.obozrevatel.com/ukraina-poluchila-partiyu-natovskih-superdronov-nachto-oni-sposobni.htm> (02.12.2024).

7. Bezpilotnij litalnij aparat [Elektronnij resurs]. — Rezhim dostupu: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Bezpilotnij\\_litalnij\\_apparat](https://uk.wikipedia.org/wiki/Bezpilotnij_litalnij_apparat) (02.12.2024).

8. Fedorov, S. I. Aванпроект безпілотного літака транспортної категорії /

S. I. Fedorov, A. V. Haustov, T. M. Kramarenko, V. S. Dolgih // Vidkriti informacijni ta komp'yuterni integrovani tehnologiyi : zb. nauk. pr. / Nac. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskogo «Harkiv. aviac. in-t». – Harkiv, 2017. – Vip. 76. S. 5–15.

9. Dolgih, V. S. Osnovni polozhennya koncepciyi stvorennya bezpilotnoyi aviacijnoyi transportnoyi sistemi / V. S. Dolgih // Vidkriti informacijni ta komp'yuterni integrovani tehnologiyi : zb. nauk. pr. / Nac. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskogo «HA». – Harkiv, 2021. – Vip. 94. S. 40–49.

10. Mihailov, M., et al. Method for controlling the operation of a vehicle with electric propulsion: patent EP3133019 B1 / applicant: Siemens Aktiengesellschaft; patent holder: Siemens Aktiengesellschaft. — European Union: European Patent Office (EPO), 2017. — 15 p.

11. Strout, D. T., Cox, R. L. System and method for monitoring user activity in a computing environment: patent US7954755B2 / applicant: International Business Machines Corporation (IBM); patent holder: International Business Machines Corporation (IBM). — United States: U.S. Patent and Trademark Office (USPTO), 2011. — 20 p.

12. Tzeng, M., et al. Apparatus for controlling power consumption in a processor: patent US7562843B2 / applicant: Advanced Micro Devices, Inc.; patent holder: Advanced Micro Devices, Inc. — United States: U.S. Patent and Trademark Office (USPTO), 2009. — 22 p.

Надійшла до редакції 23.12.2024, розглянута на редколегії 23.12.2024

## **Innovative approaches to launching light unmanned aerial vehicles with short and medium range in various conditions**

The subject of this study is the analysis of existing methods for launching unmanned aerial vehicles (UAVs) in modern conditions that require high precision, safety, and flexibility. The article discusses three main approaches: manual launch, launch from a launcher, and the use of catapults. The aim of the research is to assess the advantages and disadvantages of these methods, as well as to develop design solutions to improve the UAV launch process. Special attention is given to launching using catapults, as the most universal method for UAVs of different classes. In the course of the study, an analysis of the structural features of catapults is conducted, including systems that use pneumatic principles to provide the launch impulse and their ability to operate in rugged terrain. The paper examines the technical characteristics of modern catapults, which include the use of standardized components, the ability to adjust the launch angle, ensuring remote control, and enhancing operator safety. A new design solution for a catapult is presented, which allows launching UAVs in difficult conditions with minimal operating and maintenance costs. In particular, it describes its transportability, adaptability for launching UAVs with different takeoff weights, and the use of standard national economic products to reduce costs. The scientific novelty of the work lies in the development of a pneumatic catapult scheme that ensures the stability and accuracy of the launch. By using remote control of the ball valve to supply compressed air to the guide tube, the design's simplicity and operational convenience are achieved. The results obtained indicate significant potential for improving existing UAV launch methods, which will contribute to enhancing their effectiveness in military, rescue, agricultural, and other sectors. Thus, the proposed catapult model combines economic affordability, ease of use, and safety, making it a promising solution for

launching UAVs of various purposes and enhancing the overall effectiveness of their use in diverse conditions.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, launch, catapult, pneumatic system, remote control, safety.

#### **Відомості про авторів:**

**Гуменний Андрій Михайлович** – канд. техн. наук, доц., проректор з науково-педагогічної роботи, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна. a.gumennyi@khai.edu, ORCID: 0000-0003-1020-6304, Scopus Author ID: 57219051542.

**Кривобок Олександр Іванович** – ст. викл. проектування літаків та вертольотів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна. o.kryvobok@khai.edu, ORCID: 0009-0001-0084-8736

**Лоленко Андрей Владимирович** – ст. викл. каф. проектування літаків та вертольотів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна. [alolenko66@gmail.com](mailto:alolenko66@gmail.com). ORCID: 0009-0007-5067-2285

**Столярчук Ольга Михайлівна** – аспірантка кафедри проектування літаків та вертольотів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна. o.stoliarchuk@khai.edu, ORCID: 0000-0002-6851-6949.

**Васильєв Олександр Олександрович** – аспірант кафедри проектування літаків та вертольотів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна. o.vasyliiev@khai.edu.

#### **About the authors**

**Andrii Humennyi** – PhD, Associate Professor, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.gumennyi@khai.edu, ORCID: 0000-0003-1020-6304, Scopus Author ID: 57219051542.

**Krivobok Oleksandr** – Assistant Professor, of Aircraft Designing Department, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: [o.kryvobok@khai.edu](mailto:o.kryvobok@khai.edu), ORCID: 0009-0001-0084-8736

**Andrii Lolenko** – Assistant Professor, of Aircraft Designing Department, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: 0009-0007-5067-2285, e-mail: [alolenko66@gmail.com](mailto:alolenko66@gmail.com).

**Olha Stoliarchuk** – PhD-student of Aircraft Designing Department, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.stoliarchuk@khai.edu, ORCID: 0000-0002-6851-6949.

**Vasyliiev Oleksandr** – PhD-student of Aircraft Designing Department, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.vasyliiev@khai.edu.