

DOI 10.33099/2786-7714-2026-1-10-92-96

УДК 623.746.7:519.6

¹Миронюк Микола Юрійович (кандидат військових наук, старший дослідник)<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>¹Салій Анатолій Григорович (кандидат військових наук, професор)<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>²Барабаш Олег Володимирович (доктор технічних наук, професор)<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>²Макарчук Андрій Валентинович<https://orcid.org/0000-0002-6422-7488>¹Національний університет оборони України, Київ, Україна²Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

Рукопис надійшов до редакції: 17.04.2026; Рукопис прийнято до друку після рецензування: 07.05.2026; Дата публікації: 17.06.2026

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІЇ КЕРУВАННЯ ПІД ЧАС КОРИГУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МАТЕМАТИКИ

У статті розглянуто задачу корегування (згладжування) траєкторії руху ударного безпілотного літального апарата (перехоплювача) з метою зменшення впливу зовнішніх факторів, зокрема вітру, перешкод, маневрування цілей та помилок оператора. Для розв'язання цієї задачі застосовано метод коригування траєкторії безпілотного літального апарата, оснований на математичній оцінці функції керування із використанням методів обчислювальної математики.

Розроблений метод дозволяє формувати керуючі впливи без необхідності аналітичного визначення закону керування, що є важливим для складних динамічних систем які працюють в бойових умовах. За результатами розрахунків показано, що використання отриманого наближення функції керування забезпечує ефективне наближення реальної траєкторії руху безпілотного літального апарата до заданої.

Отримані результати підтверджують можливість застосування запропонованого методу для підвищення точності наведення та ефективності виконання бойових (спеціальних) завдань, зокрема в умовах впливу зовнішніх факторів.

Результати дослідження можуть бути корисними для науковців і фахівців у галузі безпілотних авіаційних систем, розробників систем керування та наведення безпілотного літального апарата.

Ключові слова: функція керування, безпілотний літальний апарат, обчислювальні методи, бойове застосування, траєкторія польоту.

Вступ

На сьогодні застосування БПЛА є доволі ефективним методом вирішення ряду задач, особливо це актуально у військовій сфері [1-3]. Однак, їх застосування часто супроводжується необхідністю вирішення ряду науково-технічних задач [7, 8] або їх підзадач. Однією з найпоширеніших підзадач в таких задачах є розрахунок реальної траєкторії руху БПЛА та бажаної [9-11] для виконання бойового (спеціального) завдання (вогневого впливу, ураження повітряних цілей, повітряна розвідка, доставлення матеріально-технічних засобів тощо) [3]. Для цього прийнято вводити так звану функцію керування [12], яка б дозволяла наблизити реальну траєкторію руху БПЛА до потрібної в конкретній бойовій задачі.

Аналітичне встановлення потрібної функції керування може бути складним, а то й узагалі

невирішуваним завданням у розглядуваній задачі. На основі цього виникає логічне завдання про побудову оцінки функції керування за допомогою засобів обчислювальної математики.

Метою статті є розроблення методу оцінювання функції керування БПЛА з використанням методів обчислювальної математики для забезпечення наближення його реальної траєкторії руху до заданої в умовах впливу зовнішніх факторів (погодних умов, геологічних аномалій тощо).

Матеріали та методи

Нехай траєкторія руху БПЛА може бути описана за допомогою наступної граничної задачі:

$$\begin{aligned} \ddot{r}(t) &= A\dot{r}(t) + Br(t) + f(t) + g(t), \\ r(0) = r_0 &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, r(T) = r_T = \begin{bmatrix} r_{Tx} \\ r_{Ty} \\ r_{Tz} \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (1)$$

де A та B – це сталі матриці розмірністю 3×3 ;
 $f(t)$ – це відома функція зовнішнього впливу (погодних умов, геологічних аномалій тощо) на БпЛА;
 $g(t)$ – це шукана функція керування розглядуваним БпЛА.

$$f(t) = \begin{bmatrix} f_x(t) \\ f_y(t) \\ f_z(t) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$g(t) = \begin{bmatrix} g_x(t) \\ g_y(t) \\ g_z(t) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Зазначена функція керування $g(t)$ має бути такою, що траєкторія руху $r = r(t)$ повинна мінімально відрізнятись від наперед заданої траєкторії руху $\varphi(t)$.

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} \varphi_x(t) \\ \varphi_y(t) \\ \varphi_z(t) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Розв'язком рівняння (1) є траєкторія руху БпЛА $r = r(t)$. Постановка завдання полягає в необхідності побудови наближення функції $g(t)$ на проміжку часу $[0; T]$ при відомих матрицях A , B , функції зовнішнього впливу $f(t)$, заданої траєкторії руху $\varphi(t)$ та параметрів траєкторії r_T в момент часу T .

Для обчислення функції керування $g(t)$ можливо використовувати методи чисельного розв'язання граничних задач виду:

$$u''(t) + au'(t) + bu(t) + v(t) = 0, u(0) = u, u(T) = u.$$

Замінімо рівняння (1) на аналогічну йому систему різницьових рівнянь виду:

$$r(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, r(T) = \begin{bmatrix} r_{T_x} \\ r_{T_y} \\ r_{T_z} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{n^2}{T^2} r \left(\frac{(k+1)T}{n} \right) + \frac{n}{T} A r \left(\frac{(k-1)T}{n} \right) - f \left(\frac{kT}{n} \right) = \\ = \frac{n}{T} A \left(r \left(\frac{kT}{n} \right) \right) + B r \left(\frac{kT}{n} \right) + \\ + f \left(\frac{kT}{n} \right) + g \left(\frac{kT}{n} \right), k = 1, 2, \dots, n-1. \end{aligned} \quad (6)$$

Або, що те саме:

$$\begin{aligned} \frac{n^2}{T^2} \left(r \left(\frac{(k+1)T}{n} \right) - 2r \left(\frac{kT}{n} \right) + r \left(\frac{(k-1)T}{n} \right) \right) + \\ + \left(-2 \frac{n^2}{T^2} E_3 - \frac{n}{T} A - B \right) r \left(\frac{kT}{n} \right) = g \left(\frac{kT}{n} \right), \\ k = 1, 2, \dots, n-1. \end{aligned} \quad (7)$$

Тепер припустимо, що є гранична задача виду:

$$\begin{aligned} \dot{r}(t) &= A\dot{r}(t) + Br(t) + f(t), \\ r(0) &= r = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, r(T) = r = \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (8)$$

розв'язок якої позначимо за $\tilde{r}(t)$. Даний розв'язок буде описувати реальну траєкторію руху розглядуваного БпЛА без керування. Тепер, якщо в (7) замінити $r(t)$ на $\tilde{r}(t)$, то отримаємо наближення функції керування $g(t)$ в точках $\frac{kT}{n}$, $k = 1, 2, \dots, n-1$, яке обчислюватиметься за формулою:

$$\begin{aligned} g \left(\frac{kT}{n} \right) &= \frac{n^2}{T^2} \tilde{r} \left(\frac{(k+1)T}{n} \right) + \frac{n}{T} A \tilde{r} \left(\frac{(k-1)T}{n} \right) - \\ - f \left(\frac{kT}{n} \right) + \tilde{r} \left(-2 \frac{n^2}{T^2} E_3 - \frac{n}{T} A - B \right) \left(\frac{kT}{n} \right), \\ k &= 1, 2, \dots, n-1. \end{aligned} \quad (9)$$

Разом із тим, для обчислення значення функції керування $g(t)$ на краях проміжку часу $[0; T]$, можливо скористатися наступними співвідношеннями $g(0) = r - \varphi(0)$, $g(T) = r - \varphi(T)$.

Звідси ми маємо співвідношення для оцінки значень функції керування $g(t)$ в моменти часу $\frac{kT}{n}$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$:

$$\begin{aligned} g(0) &= r - \tilde{r}(0), \quad g(T) = r - \tilde{r}(T), \\ g \left(\frac{kT}{n} \right) &= \frac{n}{T} \tilde{r} \left(\frac{(k+1)T}{n} \right) + \frac{n}{T} A \tilde{r} \left(\frac{(k-1)T}{n} \right) - \\ - f \left(\frac{kT}{n} \right) + \tilde{r} \left(-2 \frac{n}{T} E - \frac{n}{T} A - B \right) \left(\frac{kT}{n} \right), \\ k &= 1, 2, \dots, n-1. \end{aligned} \quad (10)$$

Як свідчать результати спостереження за використанням (10), цей набір формул має проблему, поширену для деяких інтерполяційних аналогів операторів, породжених лінійним підсумовуванням рядів Фур'є, а саме необхідність у введенні вагового множника, в даному випадку, $\frac{1}{n^2}$. Таким чином, (10) може бути представлено наступним чином:

$$\begin{aligned} g(0) &= r_0 - \tilde{r}(0), \quad g(T) = r_T - \tilde{r}(T), \\ g \left(\frac{kT}{n} \right) &= \frac{1}{T^2} \tilde{r} \left(\frac{(k+1)T}{n} \right) + \frac{1}{nT} A \tilde{r} \left(\frac{(k-1)T}{n} \right) - \\ - \frac{1}{n^2} f \left(\frac{kT}{n} \right) + \left(-2 \frac{n}{T^2} E_3 - \frac{1}{nT} A - \frac{1}{n^2} B \right) \tilde{r} \left(\frac{kT}{n} \right), \\ k &= 1, 2, \dots, n-1. \end{aligned} \quad (11)$$

Тепер виникає питання про те, як за допомогою (11) можливо отримати наближення функції $g(t)$ у вигляді функції часу. Для цього розглянемо кожен з компонентів даної функції, а саме $g_x(t)$, $g_y(t)$, $g_z(t)$, окремо. В даному випадку матимемо три функції часу, значення яких в моменти часу $\frac{kT}{n}$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$ відомі. Тоді для наближення функцій можливо скористатися інтерполяційними аналогами операторів Абеля-Пуассона [13, 14].

$$\tilde{P}_{n,\rho}(f, t) = \frac{1 - \rho^2}{n + 1} \sum_{k=0}^n \frac{f \left(\frac{kT}{n} \right)}{1 - 2\rho \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{kT}{n} \right) + \rho^2} \quad (12)$$

Таким чином, функцію керування $g(t)$ можливо наблизити, припустивши, що:

$$g(t) = \begin{bmatrix} \tilde{P}(g, t) \\ \tilde{P}(g, t) \\ \tilde{P}(g, t) \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Перейдемо до практичного застосування даного набору формул.

Результати

Розглянемо випадок, коли траєкторію руху БпЛА можливо описати наступною граничною задачею:

$$\begin{aligned} \dot{r}(t) &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & -1 & 0 \\ -4 & 7 & 9 \end{bmatrix} \dot{r}(t) + \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & -1 & 0 \\ -4 & 7 & 9 \end{bmatrix} r(t) + \\ &+ \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \sin 4\pi t \\ -\frac{1}{3} \cos 6\pi t \\ \frac{1}{4} \sin 8\pi t - \frac{1}{5} \cos 10\pi t \end{bmatrix} + g(t), \quad (14) \\ r(0) = r_0 &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, r(1) = r_1 = \begin{bmatrix} 10 \\ 11 \\ 9 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

а бажана траєкторія руху розглядуваного БпЛА описується функцією:

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} 10t \\ 11t \\ 9t(2-t) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Для початку порівняємо бажану траєкторію руху розглядуваного БпЛА та ту, яка була би без необхідного керування.

На рис. 1 очевидно, що корегування траєкторії розглядуваного БпЛА у вигляді керування є критично необхідним. Для того, щоб оцінити функцію керування розглядуваним БпЛА, необхідно скористатися співвідношеннями (12), (13)

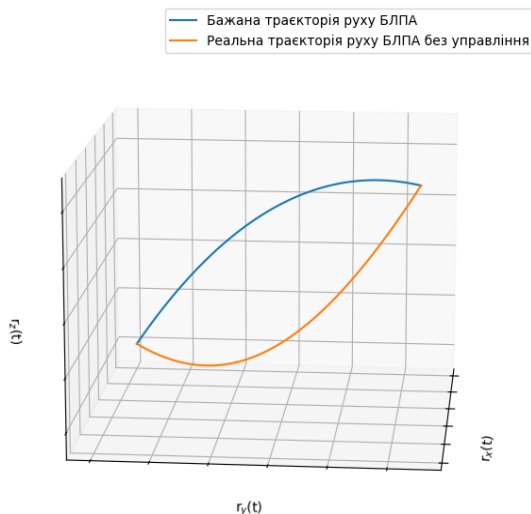


Рисунок 1 – Порівняння реальної траєкторії БпЛА без керування та бажаної траєкторії

припустивши, для прикладу, що $r=0,75$ та $n=100$. В результаті, додавши отримане наближення функції керування, отримаємо наступне:

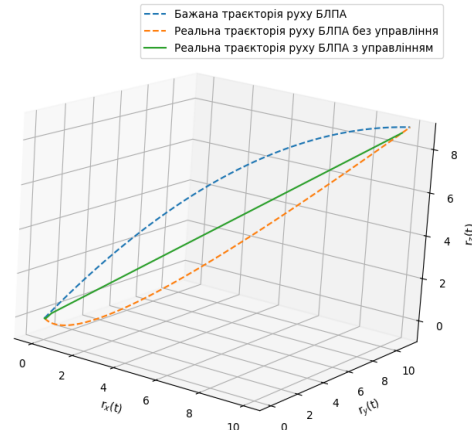


Рисунок 2 – Траєкторія руху розглядуваного БпЛА з урахуванням наближення функції керування за допомогою (12), (13)

Як видно з рис. 2, використовуючи наближення функції керування $g(t)$ за допомогою (12), (13), можливо дійсно досягнути наближення траєкторії руху БпЛА до бажаної. Той факт, що на рис. 2 спостерігається не ідеальне накладання отриманої траєкторії руху БпЛА на бажану, може пояснюватися тим, що (12), (13) будують лише оцінку функції керування, а не реконструюють її аналітично. Однак, такої оцінки достатньо для того, щоб значно скорегувати траєкторію руху БпЛА.

Обговорення

Отримані результати підтверджують можливість застосування чисельних методів для оцінювання функції керування БпЛА в задачах коригування траєкторії руху. Використання дискретизації граничної задачі та подальшого відновлення функції керування за допомогою інтерполяційних операторів дозволяє сформулювати керуючий вплив без необхідності аналітичного розв'язання, що є суттєвою перевагою для складних динамічних систем.

Встановлено, що запропонований підхід забезпечує наближення реальної траєкторії руху БпЛА до заданої, однак точність такого наближення залежить від обраного кроку дискретизації, параметрів інтерполяції та характеру зовнішніх збурень. Наявність відхилення між бажаною та отриманою траєкторіями пояснюється тим, що функція керування визначається у вигляді оцінки, а не точного аналітичного розв'язку.

Порівняно з класичними методами керування, такими як пропорційно-інтегрально-диференційні регулятори або методи оптимального керування, запропонований підхід не потребує явного задання закону керування у замкненому вигляді, що спрощує його застосування в умовах невизначеності моделі або змінних зовнішніх впливів. Водночас, на відміну від оптимальних методів, він не гарантує досягнення глобального оптимуму, а забезпечує лише наближене рішення.

До обмежень запропонованого методу слід віднести відсутність урахування обмежень на керуючі впливи, динамічних характеристик реальних виконавчих органів БпЛА, а також чутливість до похибок вимірювання параметрів руху. Крім того, метод не враховує можливі затримки в каналах управління та вплив шумів сенсорних систем.

Висновки

У роботі розроблено метод оцінювання функції керування БпЛА з використанням методів обчислювальної математики для випадку, коли його рух може бути описаний відповідною граничною задачею. Використання підходів, стандартних для чисельного розв'язання граничних задач, в поєднанні з методами наближення в аналізі Фур'є дало можливість показати, що наближення функції керування може бути реалізовано за допомогою наведених виразів.

За результатами розрахунків встановлено, що використання запропонованого методу забезпечує ефективне наближення реальної траєкторії руху БпЛА до заданої.

Показано, що запропонований підхід забезпечує можливість формування керуючих впливів в умовах невизначеності параметрів зовнішнього середовища (впливу погодних умов, перешкод, маневрування цілей, помилки оператора), що дозволяє згладити траєкторію руху БпЛА, тим самим підвищити точність його наведення.

Запропонований метод може бути використаний як основа для створення алгоритмів управління і наведення ударних БпЛА або БпЛА-перехоплювачів, здатних забезпечувати адаптивне коригування траєкторії руху в режимі реального часу, у тому числі в умовах обмеженого інформаційного забезпечення.

Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності застосування безпілотних літальних апаратів за рахунок можливості коригування траєкторії їх руху в умовах протидії, невизначеності зовнішнього середовища та впливу збурень. Запропонований метод може бути використаний при створенні та вдосконаленні систем управління і наведення БпЛА, зокрема при виконанні різного роду бойових (спеціальних) завдань.

Список використаних джерел

[1.] "Analytical assessment of trends and features of the evolution of unmanned aerial vehicles in the russian-ukrainian war," *Modern Inf. Secur.*, т. 64, № 4, с. 171–180, 2025, <https://doi.org/10.31673/2409-7292.2025.041219>.

[2.] А. О. Корягіна та Н. М. Обушенко, "Розвиток та використання технологій БпЛА в службово-бойовій

діяльності сил сектору безпеки та оборони України," у *Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Верховенство права: доктрина і практика в умовах сучас. світ. викликів*, м. Дніпро, Україна, 23 трав. 2025, с. 373.

- [3.] В. Пурнак, І. Мартинов та В. Солоненко, "Основні тенденції застосування сучасного озброєння та військової техніки суб'єктами сектору безпеки та оборони під час виконання службово-бойових (бойових) завдань," *Зб. наук. пр. Нац. акад. Держ. прикордон. служби України. Серія: Військ. та техн. науки*, т. 99, № 2, с. 52–59, серп. 2025, <https://doi.org/10.32453/3.v99i2.1877>.
- [4.] V. Pichkur, V. Sobchuk, O. Laptiev, D. Cherniy, V. Matvienko та J. Fedorenko, "The adaptive correction of angular velocities of an unmanned aerial vehicle based on discrete measurements of orientation," in *Proc. 7th Int. Conf. Methods Syst. Navig. Motion Control (MSNMC)*, Kyiv, Ukraine, 2023, pp. 91–95, <https://doi.org/10.1109/MSNMC61017.2023.10329226>.
- [5.] V. Sobchuk, I. Kal'chuk, G. Kharkevych, O. Laptiev, Y. Kharkevych та A. Makarchuk, "Solving the problem of convergence of the results of analog signals conversion in the process of aircraft control," in *Proc. 6th Int. Conf. Actual Problems Unmanned Aerial Vehicles Dev. (APUAVD)*, 2021, pp. 29–32, <https://doi.org/10.1109/APUAVD53804.2021.9615437>.
- [6.] В. Костенко, "Аналіз методів та алгоритмів планування траєкторій для групового застосування БпЛА," *Measuring Comput. Devices Technol. Processes*, № 3, с. 343–350, серп. 2025, <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-42>.
- [7.] В. Журід, В. Тягній, І. Васін та Р. Яковлев, "Планування та виконання польотів БпЛА в умовах змінного операційного середовища," *Повітр. міць України*, т. 2, № 9, с. 133–144, груд. 2025, <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2025-2-9-133-144>.
- [8.] А. О. Nyzhnyk та А. І. Partyka, "Development of the concept of a UAV detection and neutralization system using interceptor drones," *Comput. Syst. Netw.*, т. 7, № 1, с. 235–246, черв. 2025, <https://doi.org/10.23939/csn2025.01.235>.
- [9.] Доктрина "Безпілотні системи". м. Київ, Україна, 2 берез. 2026.
- [10.] A. A. Chikrii, *Conflict-Controlled Processes*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 1997, <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1135-7>.
- [11.] A. Makarchuk, I. Kal'chuk, Y. Kharkevych та G. Kharkevych, "Application of trigonometric interpolation polynomials to signal processing," in *Proc. 4th Int. Conf. Adv. Trends Inf. Theory (ATIT)*, 2022, pp. 156–159, <https://doi.org/10.1109/ATIT58178.2022.10024182>.
- [12.] O. Barabash, A. Musienko, A. Makarchuk, I. Salanda, D. Obidin та O. Piliin, "Abel-Poisson partial sums in signal theory," in *Proc. 6th Int. Congr. Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 2024, <https://doi.org/10.1109/HORA61326.2024.10550475>.

¹Mykola Myroniuk (Candidate of Military Sciences, Senior Researcher)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

¹Anatolii Sali (Candidate of Military Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>

²Oleh Barabash (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>

²Andriy Makarchuk

<https://orcid.org/0000-0002-6422-7488>

¹National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

EVALUATION OF THE CONTROL FUNCTION FOR UAV TRAJECTORY CORRECTION USING COMPUTATIONAL MATHEMATICS

The article addresses the problem of trajectory correction (smoothing) for strike and interceptor unmanned aerial vehicles (UAVs) in order to reduce the impact of external factors, including wind, disturbances, target maneuvering, and operator errors. To solve this problem, a UAV trajectory correction method based on the mathematical estimation of the control function using computational mathematics techniques is proposed.

The developed method makes it possible to generate control inputs without the need for an analytical determination of the control law, which is essential for complex dynamic systems operating in combat conditions. The results of the calculations demonstrate that the use of the obtained approximation of the control function ensures effective convergence of the actual UAV trajectory to the desired one.

The obtained results confirm the feasibility of applying the proposed method to improve guidance accuracy and the effectiveness of performing combat (special) missions, particularly under the influence of external factors.

The results of the study may be useful for researchers and specialists in the field of unmanned aerial systems, developers of UAV guidance and control systems.

Keywords: control function, unmanned aerial vehicle (UAV), computational methods, combat application, flight trajectory.

References

- [1.] "Analytical assessment of trends and features of the evolution of unmanned aerial vehicles in the Russian-Ukrainian war," *Modern Inf. Secur.*, vol. 64, no. 4, pp. 171–180, 2025, <https://doi.org/10.31673/2409-7292.2025.041219>.
- [2.] A. O. Koriahina and N. M. Obushenko, "Development and use of UAV technologies in the service and combat activities of the security and defense sector of Ukraine," in *Proc. Int. Sci. Pract. Conf. Rule of Law: Doctrine and Practice in the Context of Modern Global Challenges*, Dnipro, Ukraine, May 2025, p. 373. (in Ukrainian)
- [3.] V. Purnak, I. Martynov, and V. Solonenko, "Main trends in the use of modern weapons and military equipment by the subjects of the security and defense sector during the performance of service and combat (combat) tasks," *Collection of Scientific Works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences*, vol. 99, no. 2, pp. 52–59, Aug. 2025, <https://doi.org/10.32453/3.v99i2.1877>. (in Ukrainian)
- [4.] V. Pichkur, V. Sobchuk, O. Laptiev, D. Cherniy, V. Matvienko, and J. Fedorenko, "The adaptive correction of angular velocities of an unmanned aerial vehicle based on discrete measurements of orientation," in *Proc. 7th Int. Conf. Methods Syst. Navig. Motion Control (MSNMC)*, Kyiv, Ukraine, 2023, pp. 91–95, <https://doi.org/10.1109/MSNMC61017.2023.10329226>.
- [5.] V. Sobchuk, I. Kal'chuk, G. Kharkevych, O. Laptiev, Y. Kharkevych, and A. Makarchuk, "Solving the problem of convergence of the results of analog signals conversion in the process of aircraft control," in *Proc. 6th Int. Conf. Actual Problems Unmanned Aerial Vehicles Dev. (APUAVD)*, 2021, pp. 29–32, <https://doi.org/10.1109/APUAVD53804.2021.9615437>.
- [6.] V. Kostenko, "Analysis of methods and algorithms of trajectory planning for group application of UAVs," *Measuring Comput. Devices Technol. Processes*, no. 3, pp. 343–350, Aug. 2025, <https://doi.org/10.31891/219-9365-2025-83-42>. (in Ukrainian)
- [7.] V. Zhurid, V. Tiahniy, I. Vasin, and R. Yakovliev, "Planning and execution of UAV flights in a changing operational environment," *Air Power of Ukraine*, vol. 2, no. 9, pp. 133–144, Dec. 2025, <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2025-2-9-133-144>. (in Ukrainian)
- [8.] A. O. Nyzhnyk and A. I. Partyka, "Development of the concept of a UAV detection and neutralization system using interceptor drones," *Comput. Syst. Netw.*, vol. 7, no. 1, pp. 235–246, Jun. 2025, <https://doi.org/10.23939/csn2025.01.235>.
- [9.] *Doctrine "Unmanned Systems"*. Kyiv, Ukraine, Mar. 2026. (in Ukrainian)
- [10.] A.A. Chikrii, *Conflict-Controlled Processes*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 1997, <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1135-7>.
- [11.] A. Makarchuk, I. Kal'chuk, Y. Kharkevych, and G. Kharkevych, "Application of trigonometric interpolation polynomials to signal processing," in *Proc. 4th Int. Conf. Adv. Trends Inf. Theory (ATIT)*, 2022, pp. 156–159, <https://doi.org/10.1109/ATIT58178.2022.10024182>.
- [12.] O. Barabash, A. Musienko, A. Makarchuk, I. Salanda, D. Obidin, and O. Ilin, "Abel-Poisson partial sums in signal theory," in *Proc. 6th Int. Congr. Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 2024, <https://doi.org/10.1109/HORA61326.2024.10550475>.