

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2026.1.3>  
УДК 629.735.05

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ФАЗОВИХ КООРДИНАТ

С. О. Кашкевич, Д. І. Миколюк

### MATHEMATICAL MODEL OF ADAPTIVE CONTROL OF UAV MOTION USING PHASE COORDINATES

Svitlana Kashkevych, Dmytro Mykolyuk

#### Анотація

У статті розглянуто задачу адаптивного управління рухом безпілотного літального апарата в умовах динамічних змін зовнішнього середовища та обмежених обчислювальних ресурсів бортових систем. Проведено аналіз сучасних підходів до управління безпілотних літальних апаратів, зокрема методів ройового інтелекту, нейромережових алгоритмів та класичних оптимізаційних підходів, що дозволило виявити їх основні переваги та обмеження з точки зору точності та обчислювальної складності.

Запропоновано підхід до побудови математичної моделі руху безпілотних літальних апаратів з використанням фазових координат, що забезпечує зменшення розмірності задачі керування без втрати інформативності опису динаміки польоту. Сформовано фазовий вектор стану, який включає швидкісні, кутові та просторові параметри руху, що дозволяє здійснювати синтез керуючих впливів на основі поточного стану системи.

Розроблено математичну модель адаптивного управління, яка базується на формуванні векторів непрямого та прямого керування з урахуванням конструктивних характеристик безпілотних літальних апаратів та зовнішніх збурень. Виконано імітаційне моделювання руху безпілотних літальних апаратів у фазових координатах, результати якого підтверджують адекватність моделі, стійкість системи керування та коректність відпрацювання заданих програмних траєкторій.

Практична реалізація запропонованого підходу здійснена в середовищі Mission Planner, що підтвердило можливість інтеграції розробленої моделі в існуючі системи автоматичного керування без суттєвого збільшення обчислювального навантаження. Отримані результати свідчать про доцільність використання фазових координат для підвищення ефективності адаптивного управління безпілотними літальними апаратами.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, адаптивне управління, оптимізація, маршрутизація, фазові координати, математичне моделювання, імітаційне моделювання.

#### Abstract

This article examines the problem of adaptive motion control for unmanned aerial vehicles under conditions of dynamic changes in the external environment and limited computational resources of on-board systems. An analysis of modern approaches to the control of unmanned aerial vehicles has been carried out, in particular swarm intelligence methods, neural network algorithms and classical optimisation approaches, which has made it possible to identify their main advantages and limitations in terms of accuracy and computational complexity.

An approach is proposed for constructing a mathematical model of unmanned aerial vehicle motion using phase coordinates, which reduces the dimensionality of the control problem without losing the informativeness of the flight dynamics description. A phase state vector has been formulated, which includes velocity, angular and spatial motion parameters, allowing the synthesis of control actions based on the current state of the system.

A mathematical model of adaptive control has been developed, based on the formation of indirect and direct control vectors, taking into account the design characteristics of unmanned aerial vehicles and external disturbances. Simulation modelling of the motion of unmanned aerial vehicles in phase coordinates has been carried out, the results of which confirm the adequacy of the model, the stability of the control system and the correct execution of the specified program trajectories.

The proposed approach was implemented in the Mission Planner environment, confirming that the developed model can be integrated into existing automatic control systems without significantly increasing the computational load. The results obtained demonstrate the feasibility of using phase coordinates to improve the efficiency of adaptive control of unmanned aerial vehicles.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, adaptive control, optimisation, routing, phase coordinates, mathematical modelling, simulation modelling.

**1. Вступ.** Сучасні дослідження у сфері управління безпілотними літальними апаратами охоплюють широкий спектр підходів, що базуються на класичних методах теорії керування, оптимізаційних алгоритмах та інтелектуальних технологіях.

Окремим напрямком досліджень є застосування класичних методів оптимального управління, зокрема підходів, що базуються на принципі максимуму Понтрягіна та методах варіаційного числення.

У таких роботах задача управління рухом БПЛА формулюється як задача мінімізації функціоналу якості, що враховує витрати енергії, відхилення від заданої траєкторії та часові характеристики



© Кашкевич С. О., Миколюк Д. І., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

польоту. Проте практичне застосування цих методів ускладнюється необхідністю розв'язання крайових задач для систем високої розмірності.

У дослідженнях, присвячених адаптивному управлінню, значна увага приділяється методам ідентифікації параметрів системи в режимі реального часу.

Зокрема, використовуються підходи, що базуються на рекурсивних алгоритмах оцінювання та фільтрації (наприклад, фільтр Калмана), які дозволяють враховувати невизначеність параметрів моделі. Однак інтеграція таких методів у бортові системи БПЛА потребує додаткових обчислювальних ресурсів.

Сучасні дослідження також охоплюють використання гібридних підходів, які поєднують класичні методи теорії керування з елементами машинного навчання.

У таких системах нейронні мережі використовуються для апроксимації складних нелінійностей або прогнозування стану середовища, тоді як основний контур керування реалізується на основі аналітичних моделей. Попри перспективність цього підходу, він також супроводжується підвищенням складності системи.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень показує, що більшість підходів до управління БПЛА або мають високу обчислювальну складність, або не забезпечують достатньої точності опису динаміки руху. Це підтверджує доцільність використання фазового підходу як компромісного рішення між точністю та ефективністю.

У роботах [1–3] розглядаються питання побудови ефективних систем підтримки прийняття рішень та застосування біоінспірованих алгоритмів для задач оптимізації маршрутів, що дозволяє враховувати обмеження середовища та підвищувати ефективність використання ресурсів.

У дослідженнях [4–6] основну увагу приділено методам ройового інтелекту та колективної поведінки БПЛА.

Зокрема, розглядаються моделі децентралізованого управління, які забезпечують стійкість системи до втрати окремих агентів та дозволяють реалізувати адаптивну взаємодію в умовах невизначеності. Проте такі підходи здебільшого орієнтовані на рівень групової координації та не враховують детально динаміку руху окремого апарата.

Роботи [7–9] присвячені розвитку методів оптимізації та управління в умовах обмежених ресурсів. У них розглядаються підходи до розподілу обчислювального навантаження між бортовими та наземними системами, а також методи підвищення надійності інформаційних каналів.

Однак зазначені дослідження не враховують у повному обсязі динамічні характеристики руху БПЛА.

У працях [10–12] досліджуються нейромережеві підходи та методи обробки даних, які дозволяють підвищити точність прогнозування та адаптації систем керування.

Проте їх застосування супроводжується значним зростанням обчислювальної складності, що обмежує можливість використання в реальному часі на борту БПЛА.

Окрему групу становлять роботи [13–15], у яких розглядаються питання надійності інформаційно-керуючих систем та побудови математичних моделей складних технічних об'єктів.

У цих дослідженнях підкреслюється важливість використання формалізованих моделей, що забезпечують баланс між точністю опису та обчислювальною ефективністю.

Таким чином, аналіз літературних джерел показує, що існує протиріччя між точністю моделей управління та їх обчислювальною складністю. Це обумовлює необхідність розробки підходів, які дозволяють зменшити розмірність задачі без втрати інформативності, що і визначає актуальність використання фазових координат у задачах адаптивного управління БПЛА.

Забезпечення автономності та адаптивності БПЛА вимагає вирішення складних задач планування маршрутів та обробки масивів даних в режимі реального часу.

Звідси випливає, необхідність розробки методів, здатних враховувати динамічні зміни трафіку та мінімізувати витрати енергії [5–6]. Однак постає проблема обчислювальних ресурсів в процесі реалізації адаптивного управління.

**2. Матеріали і методи.** Використання фазових координат дає змогу перейти від складних моделей із надлишковою кількістю змінних до компактного представлення динаміки руху БПЛА, зосередженого на ключових параметрах: швидкості, просторовій орієнтації та положенні в земній системі координат. Такий підхід створює передумови для побудови адаптивних алгоритмів управління, здатних ефективно реагувати на зміну умов польоту без суттєвого зростання обчислювальних витрат.

З урахуванням зазначеного, у роботі як базову прийнято загальноприйняту модель управління рухом літального апарата, подану у векторній формі, на основі якої надалі здійснюється перехід до спрощеної моделі руху БПЛА з використанням фазових координат.

З теоретичної точки зору задача управління рухом БПЛА належить до класу задач керування динамічними системами, які описуються системами нелінійних диференціальних рівнянь. У загальному

випадку повна модель руху літального апарата включає значну кількість змінних стану, що описують як поступальний, так і обертальний рух, а також взаємодію з зовнішнім середовищем.

Проте використання повних моделей у реальному часі є обчислювально витратним, що обмежує їх застосування в бортових системах. У зв'язку з цим широко застосовуються методи редукації моделі, які дозволяють перейти до меншої кількості змінних при збереженні основних динамічних властивостей системи.

Одним із таких підходів є використання фазових координат, що дозволяють описати стан системи у вигляді фазового вектора, який включає лише ключові параметри руху. Такий опис є зручним для побудови систем управління, оскільки дозволяє безпосередньо формувати керуючі впливи на основі поточного стану системи.

Загальноприйнята модель управління рухом літального апарата, яка в запису векторної форми виглядає як:

$$\dot{x} = f(x, u, t), \quad t \in [t_0, t_k]; \quad x(t_0) = x_0.$$

На керування БПЛА накладаються обмеження такого виду:

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}, \quad t \in [t_0, t_k].$$

Для зменшення трудомісткості розв'язання задачі вибору вектору керування  $u(t)$ , пропонується використовувати спрощені моделі руху БПЛА, які в загальному випадку подаються у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= f_1(V, \theta, \psi, y, u); \quad t \in [t_0, t_k]; \\ \dot{\theta} &= f_2(V, \theta, \psi, y, u); \\ \dot{\psi} &= f_3(V, \theta, \psi, y, u); \\ \dot{x} &= V \cos \theta \cos \psi; \\ \dot{y} &= V \sin \theta; \\ \dot{z} &= V \cos \theta \sin \psi. \end{aligned}$$

Звідси  $V = V(t)$  – швидкість БПЛА в момент часу  $t \in [t_0, t_k]$ ;  $\theta = \theta(t)$  та  $\Psi = \Psi(t) - (t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$  – координати БПЛА в нормальній земній системі координат з центром в точці розташування відповідного комплексу автоматизованого контролю. При порівнянні рівнянь маємо, що фазовий вектор БПЛА складається з координат  $V, \theta, \Psi, x, y, z$ .

Початкові умови для цієї системи диференціальних рівнянь мають вигляд:

$$\begin{aligned} V(t_0) &= V_0; \quad \theta(t_0) = \theta_0; \quad \psi(t_0) = \psi_0, \\ x(t_0) &= x_0; \quad y(t_0) = y_0; \quad z(t_0) = z_0. \end{aligned}$$

Формування програмного управління БПЛА пропонується проводити в два етапи: визначення вектору  $u(t)$  непрямого управління БПЛА, формування вектору  $\Delta(t)$  прямого управління БПЛА, що описує закони зміни положення його органів управління, які обчислюються з використанням значень вектору  $u(t)$  фазових координат  $V(t), \theta(t), \Psi(t), x(t), y(t), z(t)$  моментних та конструктивних характеристик конкретного зразка БПЛА.

Для БПЛА з системою стабілізації вектор непрямого управління зазвичай має наступний вигляд:

$$u(t) = (P(t), \alpha(t), \beta(t), \gamma(t)),$$

де  $P(t)$  – сила тяги двигунів БПЛА,  $\alpha(t), \beta(t), \gamma(t)$  – кути атаки, ковзання і крену БПЛА в момент часу  $t \in [t_0, t_k]$ .

Вектор прямого управління БПЛА з класичною схемою польоту представлений як:

$$\Delta(t) = (\delta_p(t), \delta_B(t), \delta_E(t)),$$

де  $\delta_p(t)$  – закон зміни положення силової установки БПЛА;  $\delta_p(t), \delta_B(t), \delta_E(t)$  – закони відхилення рульових приладів висоти, напрямку БПЛА в момент часу  $t \in [t_0, t_k]$ .

Компоненти вектору пропонується обчислювати з використанням залежності такого виду:

$$\begin{aligned} \delta_p(t) &= \psi_1(P(t), V(t), y(t)); \\ \delta_B(t) &= \psi_2(\alpha(t), \beta(t), \gamma(t), m, p); \\ \delta_H(t) &= \psi_3(\alpha(t), \beta(t), \gamma(t), m, p); \\ \delta_E(t) &= \psi_4(\alpha(t), \beta(t), \gamma(t), m, p), \end{aligned}$$

де  $m$  – вектор моментних коефіцієнтів та їх похідних конкретного зразка БПЛА;  $p$  – вектор конструктивних характеристик.

Для спрощення методів розв'язання завдань управління льотними етапами БПЛА на вищезазначених етапах пропонується використовувати комплекс допоміжних систем координат, представлених на рис. 1.

З математичної точки зору перехід до фазових координат дозволяє розглядати рух БПЛА як еволюцію фазового вектора у фазовому просторі станів. Такий підхід є класичним у теорії динамічних систем та дозволяє використовувати апарат фазових траєкторій для аналізу поведінки системи.

Фазовий простір системи визначається множиною всіх можливих значень змінних стану, а кожна точка цього простору відповідає певному стану БПЛА. Рух апарата у часі описується фазовою траєкторією, яка є розв'язком системи диференціальних рівнянь.

Важливою перевагою фазового підходу є можливість аналізу стійкості системи без необхідності повного розв'язання рівнянь руху. Зокрема, можна досліджувати поведінку системи в околі стаціонарних точок та оцінювати її реакцію на зовнішні збурення.

Крім того, фазове представлення дозволяє спростити задачу синтезу управління.

Замість безпосереднього керування координатами положення апарата, керування формується у просторі станів, що дозволяє враховувати взаємозв'язки між швидкістю, орієнтацією та положенням.

У задачах адаптивного управління це має особливе значення, оскільки зміна умов польоту відображається у зміні фазової траєкторії.

Таким чином, керування може формуватися як функція відхилення поточного стану від бажаної фазової траєкторії.

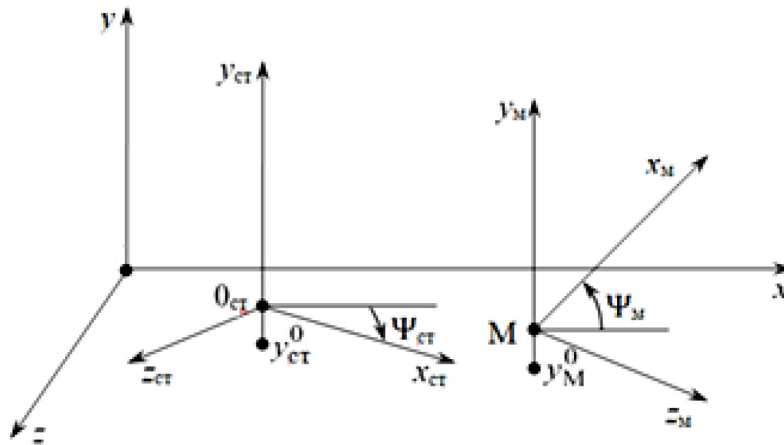


Рис. 1. Комплекс допоміжних систем координат

Імітаційне моделювання руху БПЛА виконано з використанням спрощеної математичної моделі у фазових координатах з урахуванням обмежень на керування та динамічних збурень зовнішнього середовища.

Як видно з рис. 2, запропонована модель забезпечує стійке відпрацювання заданих режимів руху в умовах дії зовнішніх збурень.

Отримані результати імітаційного моделювання підтверджують адекватність запропонованої математичної моделі адаптивного управління рухом БПЛА на основі фазових координат.

Результати свідчать про коректне відпрацювання заданих програмних траєкторій та стабільну поведінку системи керування за наявності зовнішніх збурень.

У процесі моделювання було використано фазовий опис стану БПЛА, що включає швидкісні, кутові та просторові координати, а керування формувалося у вигляді непрямого вектору, який задає закони зміни основних параметрів руху.

Такий підхід дозволив забезпечити узгодженість між програмним керуванням та кінематикою польоту без необхідності використання повних нелінійних моделей руху.

Результати симуляції демонструють, що застосування фазових координат забезпечує відпрацювання швидкісних та кутових режимів, а також плавну зміну траєкторії польоту в земній системі координат.

При цьому система керування зберігає працездатність за умов обмежень на керуючі впливи та змін параметрів зовнішнього середовища, що підтверджує її адаптивні властивості.

На рис. 3 наведено приклад польотної місії БПЛА, сформованої в середовищі Mission Planner на основі результатів імітаційного моделювання.

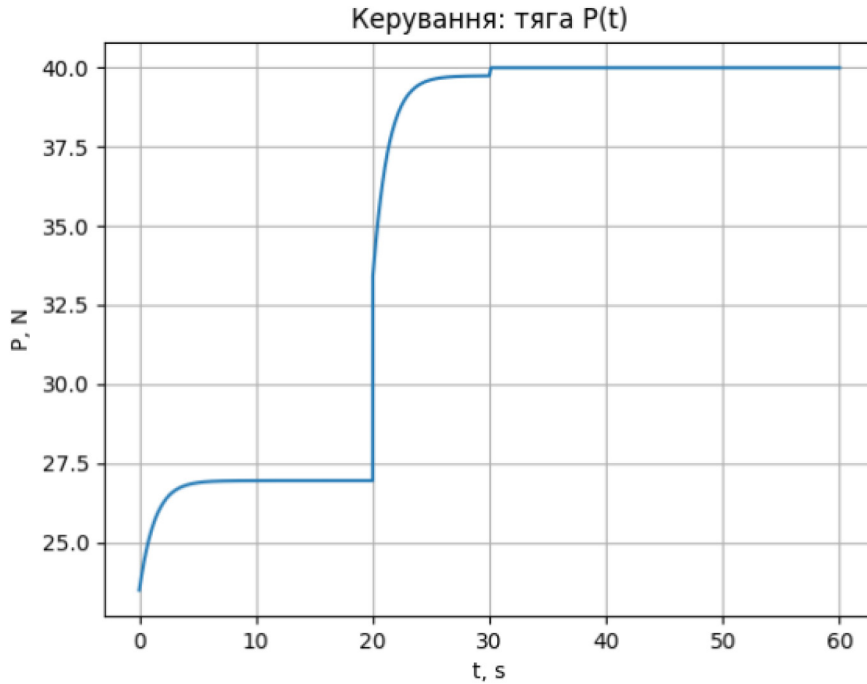


Рис. 2. Результат імітаційного моделювання

Сформована траекторія в середовищі Mission Planner відповідає програмному керуванню, отриманому в результаті імітаційного моделювання, та відображає коректний перехід між етапами зльоту, маршрутизації та повернення апарата.

Отримані результати демонструють узгодженість між математичною моделлю у фазових координатах, результатами імітаційного моделювання та прикладною реалізацією польотної місії, що свідчить про доцільність використання запропонованого підходу.

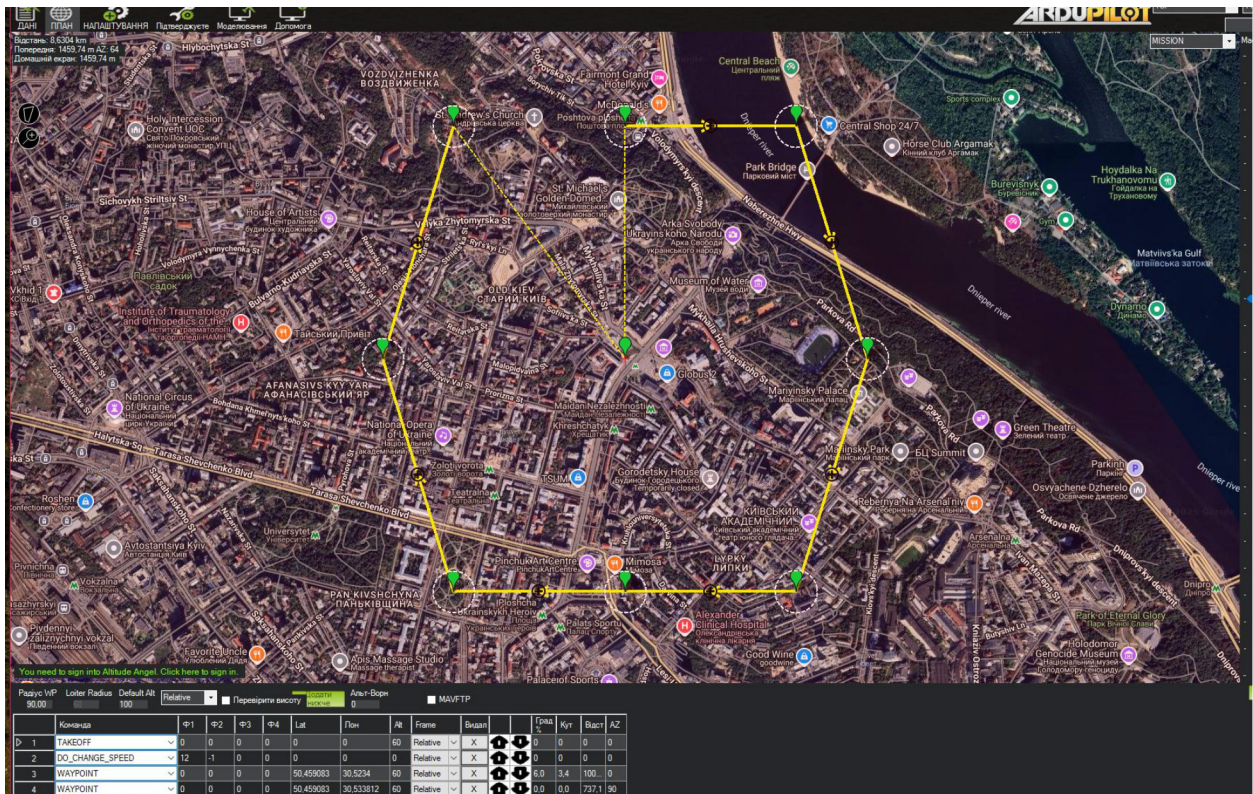


Рис. 3. Реалізація програмної траєкторії польоту БПЛА в середовищі Mission Planner

**3. Результати і обговорення.** Методологічною основою дослідження є системний підхід до аналізу та синтезу систем управління БПЛА. Було використано методи математичного моделювання динаміки руху БПЛА у фазових координатах, чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, а також імітаційного моделювання для аналізу поведінки системи керування.

У роботі розглянуто актуальну проблематику підвищення ефективності управління рухом БПЛА в умовах динамічних змін зовнішнього середовища та обмежених обчислювальних ресурсів бортових систем.

Аналіз сучасних підходів до управління БПЛА показав, що використання повних нелінійних моделей руху та інтелектуальних алгоритмів, зокрема нейромережових і ройових методів, супроводжується значним зростанням обчислювальної складності, що обмежує їх застосування в режимі реального часу. Було запропоновано підхід який дозволяє описати стан літального апарата, зберігаючи фізичну інтерпретованість основних параметрів руху та зменшуючи розмірність задачі керування.

Використання фазового представлення створює передумови для формування програмного та адаптивного керування без перевантаження бортових обчислювальних модулів.

На основі запропонованої математичної моделі виконано імітаційне моделювання руху БПЛА, яке дозволило дослідити динаміку основних параметрів польоту, зокрема швидкісних, кутових та просторових характеристик.

Практична перевірка результатів моделювання здійснювалася шляхом формування польотної місії та її реалізації в середовищі Mission Planner, що дозволило підтвердити можливість інтеграції запропонованого підходу з існуючими автопілотами та програмними засобами планування польотів.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання фазових координат для побудови математичних моделей адаптивного управління рухом БПЛА.

З точки зору теорії оптимального управління отримані результати можна інтерпретувати як реалізацію квазі-оптимального керування, при якому досягається компроміс між точністю відпрацювання траєкторії та обчислювальними витратами. Використання фазових координат дозволяє зменшити розмірність задачі оптимізації, що спрощує обчислення керуючих впливів у реальному часі.

Крім того, запропонований підхід забезпечує робастність системи до зовнішніх збурень, оскільки керування формується на основі поточного стану системи, а не лише заданої програми руху. Це дозволяє компенсувати вплив невизначених факторів середовища без необхідності повного перебудування моделі.

**4. Висновки.** Наукова новизна полягає у розробці математичної моделі адаптивного управління рухом БПЛА на основі фазових координат, яка забезпечує зменшення обчислювальної складності процесу керування. З позицій теорії керування ефективність системи управління визначається її здатністю забезпечувати стійкість, керованість та спостережуваність у змінних умовах зовнішнього середовища. У задачах управління БПЛА ці властивості ускладнюються наявністю зовнішніх збурень, обмежень на керуючі впливи та невизначеності параметрів системи.

Використання фазових координат дозволяє представити систему у компактному вигляді, що спрощує аналіз її динаміки та синтез законів управління. При цьому адаптивність системи досягається за рахунок формування керуючих впливів на основі поточного фазового стану, що дозволяє оперативно реагувати на зміну умов польоту.

В ході дослідження було запропоновано та обґрунтовано математичну модель адаптивного управління рухом безпілотного літального апарата з використанням фазових координат. Результати імітаційного моделювання та практичної реалізації польотної місії в середовищі Mission Planner підтверджують адекватність моделі, її стійкість та придатність до використання в задачах програмного й адаптивного управління.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

**Фінансування.** Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

**Доступність даних.** Дані, що підтримують результати дослідження, доступні за запитом до авторів або частково представлені у відкритих джерелах, зазначених у списку літератури.

**Використання даних штучного інтелекту.** Під час підготовки даної роботи технології штучного інтелекту використовувалися виключно як допоміжний інструмент для перевірки мовного оформлення тексту. Усі наукові результати, ідеї та висновки належать авторам.

**Внесок авторів.** Світлана Кашкевич: формування наукової ідеї дослідження, розробка математичної моделі адаптивного управління рухом БПЛА, постановка задачі, виконання теоретичних досліджень та узагальнення результатів. Дмитро Миколюк: реалізація імітаційного моделювання, програмна реалізація алгоритмів у середовищі Mission Planner, проведення експериментальних досліджень та обробка отриманих результатів.

## References:

1. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). Decision support systems: mathematical support. Kharkiv : TECHNOLOGY CENTER PC, 202. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9>
2. Кашкевич С. О., Нечипорук О. П., Апенько Н. В., Брановицька І. В. (2025). Метод оптимізації маршрутів на основі поведінки змії в системах обміну даними БПЛА. *Інформаційні технології та суспільство*. № 4 (19). С. 78–82. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.4.13>
3. Tamer, K. A., Sova, O., Shaposhnikova, O., Yashchenok, V., Stanovska, I., Shostak, S., Rudenko, O., Petruk, S., Matsyi, O., & Kashkevich, S. (2024). Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>
4. Таршин, В. А., Компанієць, О. М., Котляренко, С. Є., Дужий, Р. В. (2023). Розвиток методології управління роями БПЛА на основі ройового інтелекту. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. Вип. 19 (26). С. 109–115.
5. Компанієць, О. М., Дмитрієв, А. Г., Шамаков, В. В., Ушань, В. М. (2024). Управління роєм безпілотних літальних апаратів на полі бою методами ройового інтелекту. *Системи озброєння і військова техніка*. № 2 (78). С. 73–80. <https://doi.org/10.30748/soivt.2024.78.08>
6. Іваненко, Ю. В. (2023). Огляд методів керування безпілотними літальними апаратами / Ю. В. Іваненко, О. С. Ляшенко, Т. В. Філімончук. *Системи управління, навігації та зв'язку*. С. 26–30.
7. Yakymiak, S., Vdovytskyi, Y., Artabaiev, Y., Degtyareva, L., Vakulenko, Y., Nevhad, S., Andronov, V., Lazuta, R., Shapoval, P., & Artamonov, Y. (2023). Development of the solution search method using the population algorithm of global search optimization. *European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 4 (123), pp. 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281007>
8. Polozhentsev, A. A., & Sydorenko, V. M. (2024). IT threat management method for critical information infrastructure facilities. *Science-Intensive Technologies*, 2(62), 143–153.
9. Two-Channel Precision Regulator for Electric Drive of Optical Fiber Winding Mechanism of Avionics Sensory Elements. Lysenko, O., Tachinina, O., Ponomarenko, S., Guida, O., Kutepov, V. *Lecture Notes in Networks and Systems* Open source preview, 2025, 298–310.
10. Литвиненко, О. Є. (2022). Декомпозиційний метод обчислення вагових коефіцієнтів бінарної нейронної мережі / О. Є. Литвиненко, Д. П. Кучеров, М. М. Глибовець. *Кібернетика та системний аналіз*, Т. 58, № 6. С. 45–53.
11. Gnatyuk, S., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., Fesenko, A., Akatayev, N., Zhilkishbayeva, G. (2020). Method of cybersecurity level determining for the critical information infrastructure of the state. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2616. P. 332–341. Retrieved from: <https://ceur-ws.org/Vol-2616/paper28.pdf>
12. T. Dong and T. Huang. (2020). Neural Cryptography Based on Complex-Valued Neural Network. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, Vol. 31, No. 11, 4999–5004.
13. Ластівка, О. І., Нечипорук, О. П. (2025). Дослідження ефективності модуляційних методів для забезпечення якості передачі даних в інформаційних мережах. *Технічна інженерія*. № 2 (96). С. 101–107. [https://doi.org/10.26642/ten-2025-2\(96\)-101-107](https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-101-107)
14. Mohammed, B. A., Stanovska, I., Kashkevich, S., Lebedynskyi, A., Vakulenko, Y., Protas, N., Klyuchak, O., Lastivka, O., Semeniuk, A., Kivshar, O. (2025). Development of a methodological approach for assessing the condition of complex organizational and technical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/4 (134), 47–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326468>
15. Ali Al-Ammouri. (2022). Development of a mathematical model of reliable structures of information-control systems / Ali Al-Ammouri, Iryna Lebid, Marina Dekhtiar, Ievgenii Lebid, Hasan Al-Ammori. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 5/9, Issue (119) P. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265953>

## Відомості про авторів

Англ.	Укр.
Kashkevych Svitlana Senior Lecturer in the Department of Intelligent Cybernetic Systems, Kyiv Aviation Institute 1 Lyubomyr Huzar Avenue, Kyiv, 03058 svitlana.kashkevych@npp.kai.edu.ua ORCID: 0009-0007-2406-8535	Кашкевич Світлана Олександрівна Старший викладач кафедри інтелектуальних кібернетичних систем, Київський авіаційний інститут просп. Любомира Гузара, 1, Київ, 03058 svitlana.kashkevych@npp.kai.edu.ua ORCID: 0009-0007-2406-8535
Mykolyuk Dmytro Postgraduate Student Department of Intelligent Cybernetic Systems, Kyiv Aviation Institute 1 Lyubomyr Huzar Avenue, Kyiv, 03058 6208858@stud.kai.edu.ua ORCID: 0009-0003-3998-6110	Миколук Дмитро Іванович аспірант Кафедри інтелектуальних кібернетичних систем, Київський авіаційний інститут просп. Любомира Гузара, 1, Київ, 03058 6208858@stud.kai.edu.ua ORCID: 0009-0003-3998-6110

Дата надходження статті: 20.03.2026

Дата надходження виправленої версії статті: 08.04.2026

Дата прийняття статті: 17.04.2026

Дата публікації статті: 01.06.2026