

М. Ю. Костяк, О. Ю. Синявський

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

## СИНТЕЗ СИГНАЛУ УПРАВЛІННЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БПЛА МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

**Анотація. Актуальність.** Необхідність захисту каналу зв'язку при управлінні БПЛА від засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад для розширення можливостей їх використання. **Об'єкт дослідження:** сигнали управління каналів зв'язку БПЛА. **Мета статті:** розробка методу синтезу сигналу управління каналів зв'язку БПЛА із використанням апарату динамічного програмування. **Результати дослідження.** У статті запропоновано метод динамічного програмування при синтезі сигналів управління каналу зв'язку БПЛА. Розроблений метод дозволяє обчислювати параметри сигналу управління як для дискретного, так й безперервного часу спостереження. Такий підхід дозволяє враховувати обмеження на сигнал управління у дискретному або безперервному часі, тобто враховувати дію засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад для локального сектору функціонування каналу зв'язку БПЛА. **Висновки.** Запропонований метод динамічного програмування синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА пропонується використовувати для забезпечення стійкого та надійного управління БПЛА при дії засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад.

**Ключові слова:** БПЛА; засіб; захищеність; інформація; канал зв'язку; математична модель; синтез; спостереження; радіоелектронна протидія; радіотехнічні завади; управління.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При використанні БПЛА на сьогодні актуальним завданням є забезпечення коректного та надійного управління польотом, яке, як правило, забезпечується через канал зв'язку [1, 2]. Надійне управління польотом БПЛА забезпечується шляхом передавання / приймання необхідної інформації у реальному масштабі часу про значення параметрів польоту [3]. До таких значень параметрів польоту належать вектори дійсних прискорень, швидкості, радіус-вектори центру мас, а також вектору кутової швидкості та кутів тангажу, ристання й крену [4, 5]. При цьому таку інформацію необхідно отримувати із потрібними точністю та тактом (періодом) оновлення.

На сьогодні широкого розповсюдження знайшли засоби радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад, які суттєво обмежують як дальність дії БПЛА, так й можливість їх використання щодо функціонального призначення [6, 7]. Такі засоби виявляють канали зв'язку та їх придушують за рахунок впливу на сигнал управління. Тому актуальним завданням є синтез сигналів управління БПЛА, які є стійкими засоби радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад [7, 8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [3, 4] розглянуто систему управління БПЛА за допомогою оператора при використанні захищених частот. У роботах [6, 9, 10] показано, що на сьогодні перспективним напрямом є використання системи управління БПЛА типу Wi-Fi FPV (використання потокового відео у режимі реального часу). При цьому розрізняють: управління на частоті 2,4 ГГц (БПЛА може відлетіти на відстань до 1 км не втрачаючи сигналу управління); управління на (5,0...5,4) ГГц (5G Wi-Fi, цифрове) – якість передачі відео на цій частоті краща, ніж на 2,4 ГГц, та дозволяє досягти більшої дальності польоту (5...7 км). При цьому канал управління більш захищений за рахунок цифрового шифрування; управління на 5.8 ГГц (аналогове) – якість передачі відео на

частоті краща, ніж у попередніх випадках, дозволяє досягти більшої дальності польоту (до 10 км), але має низький рівень заводо захищеності. У роботах проведено порівняння частот управління БПЛА при використанні навігаційних радіосигналів системи GPS (приблизно 1,0...2,0 ГГц) та типу Wi-Fi FPV. Результати порівняння свідчать про простоту використання засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад у діапазоні (0,9...3,0) ГГц. При цьому блокуються сигнали GPS і Wi-Fi FPV (частота 2,4 ГГц).

Отже, з метою збільшення захищеності каналів зв'язку БПЛА пропонується синтезувати сигнали управління складної нестандартизованої форми.

**Метою роботи** є розробка методу синтезу сигналу управління каналів зв'язку БПЛА із використанням апарату динамічного програмування.

### Основний матеріал

Для синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА пропонується використання методу динамічного програмування [11, 12]. Математична задача синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА може бути сформульована наступним чином. Необхідно знайти функцію (параметри сигналу)  $u(t)$ , для якої функціонал  $\Psi = \int_0^T \psi(x_\alpha, u, t) dt$  приймає мінімальне значення. В цьому функціоналі параметри  $x_\alpha$  залежать від параметрів сигналу управління  $u(t)$  через систему диференціальних рівнянь  $\dot{x} = \phi(x_\beta, u, t)$ .

Метод динамічного програмування є ефективним при накладанні обмежень на синтезовану функцію. Для нашого випадку такі обмеження накладаються на сигнал управління  $u(t)$  у вигляді обмежень на його рівень типу  $|u(t)| \leq U_{max}$ . Для задачі синтезу параметрів сигналів управління каналу зв'язку БПЛА за показник якості приймаємо значення чутливості  $\Psi$  на каналі приймача БПЛА

$$\Psi = S = \int_0^T \sum_{i=1}^m b_i^2(t, \{u\}) dt, \quad (1)$$

де  $b_i(t, \{u\})$  – коефіцієнти чутливості відповідно значень  $z_i$  – засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад при сигналі управління  $u(t)$ .

Для спрощення розрахунків і розуміння фізичного змісту синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА пропонується замість мінімуму чутливості  $\Psi$  використовувати максимум функції потужності сигналу на приймачі БПЛА  $S$ .

Тоді замінімо величини  $\psi(x_a, u, t)$  величиною  $\sum_{i=1}^m b_i^2(t, \{u\})$ . Тоді для величини потужності  $S$  отримаємо

$$S = \int_{\gamma=r-m+1}^r \sum_{i=1}^2 \zeta_{\gamma}^2 dt.$$

Представимо функцію  $H$  у вигляді:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_{\gamma}^2 + \sum_{\gamma=1}^r \mu_{\gamma} \phi_{\gamma}. \quad (2)$$

Значення змінних  $\zeta_{\gamma}$  і  $\mu_{\gamma}$  представляють собою координати і імпульси сигналу управління, та розраховуються згідно системи Гамільтона [13, 14]

$$\dot{\zeta}_{\gamma} = -\partial H / \partial \mu_{\gamma}; \quad (3)$$

$$\dot{\mu}_{\gamma} = -\partial H / \partial \zeta_{\gamma}. \quad (4)$$

Для виразів (3) і (4) граничні умови формуються у вигляді виразів

$$\zeta_{\gamma}(0) = 0; \quad \mu_{\gamma}(T) = 0. \quad (5)$$

Сигнал управління  $u(t)$  у дискретний час залежить від змінної  $\zeta_{\gamma}$  при мінімумі функції  $H$  виразу (2):

$$H(\zeta_{\gamma}, u, t) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Із перетворень виразів (3) і (4) відносно формули (2), можна записати, що функція сигналу управління  $u(t)$  виразу (6) належить області обмеження рівня сигналу  $|u(t)| \leq U_{max}$ , та знаходиться після розв'язання рівняння

$$\partial H / \partial u = 0. \quad (7)$$

Розглянемо приклад синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА із врахуванням постійної часу  $T_0$  каналу зв'язку [15]. Рівень сигналу управління обмежено умовою  $|u(t)| \leq U_{max}$ . Передатну функцію приймача каналу зв'язку БПЛА можна записати у вигляді виразу  $\frac{k}{T_0 p + 1}$ . Тоді сигнал управління  $u(t)$  на виході приймача каналу зв'язку БПЛА  $x(t)$  представлено у вигляді рівняння

$$\dot{x} = [k \cdot u - x] / T_0. \quad (8)$$

Значення параметрів каналу зв'язку БПЛА  $b(t)$ :

$$b(t) = \partial x(t) / \partial T_0. \quad (9)$$

Для обчислення значень  $b(t)$  проведено диференціювання рівняння (8) за змінною  $T_0$ .

Тоді можна записати вираз

$$\dot{b} = -\frac{1}{T_0^2} [k \cdot u - x] - \frac{b}{T_0}. \quad (10)$$

Порівняння отриманих формул (8) і (9) дозволяє записати

$$\zeta_1 = x; \quad \zeta_2 = b; \quad \phi_1 = \frac{1}{T_0} [k \cdot u - \zeta];$$

$$\phi_2 = -\frac{1}{T_0^2} [k \cdot u - \zeta] - \frac{\zeta_2}{T_0}.$$

Вираз (2) для  $H$  у цьому випадку перетворюємо до вигляду

$$H = -\frac{1}{2} \zeta_2^2 + \mu_1 \frac{k \cdot u - \zeta_1}{T_0} - \mu_2 \left[ \frac{k \cdot u - \zeta_1}{T_0^2} + \frac{\zeta_2}{T_0} \right]. \quad (12)$$

Згідно виразу (6) розрахуємо параметри сигналу управління  $u(t)$ , при яких функція  $H$  має мінімальне значення. Величина сигналу управління має обмеження на рівень сигналу  $|u(t)| \leq U$ , тоді мінімум функції  $H$  для  $u(t)$

$$u(t) = U \operatorname{sign} \left[ \frac{k}{T_0^2} \mu_2 - \frac{k}{T_0} \mu_1 \right] = U \operatorname{sign}(\mu_2 - T_0 \mu_1). \quad (13)$$

Вираз (4) для змінних  $\mu_1$  і  $\mu_2$  перетворимо до вигляду

$$\dot{\mu}_1 = \frac{\partial H}{\partial \zeta_1} = \frac{1}{T_0} \mu_1 - \frac{1}{T_0^2} \mu_2;$$

$$\dot{\mu}_2 = -\frac{\partial H}{\partial \zeta_2} = \zeta_2 + \frac{1}{T_0} \mu_2 = b + \frac{1}{T_0} \mu_2. \quad (14)$$

Отримані вирази (8), (10), (12)–(14) є математичною основою синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА  $u(t)$ .

При цьому граничні умови сигналу управління мають вигляд

$$x(0) = b(0) = 0; \quad \mu_1(T) = \mu_2(T) = 0. \quad (15)$$

Із виразу (11) видно, що сигналу управління  $u_{opt}(t)$  представляє собою кусково-постійну функцію, максимальний і мінімальний рівень якої дорівнює  $\pm U$ . Рівні сигналу управління мають розриви, які знаходяться у точках перемикання рівнів. Запропоновані формули (8), (10), (13), (14) дозволяють розрахувати дискретний час зміни рівнів сигналу час перемикання. Фізичний зміст рівнів перемикання – дискретний час, при якому функція  $\mu_2(t) - T_0 \mu_1(t)$  змінює знак.

Розроблена математична основа синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА у вигляді рівнянь (8), (10), (12)–(14) із урахуванням граничних умов згідно виразу (15) дозволяє при часі дії сигналу управління  $T$  (при  $T > T_0$ ) отримати декілька рішень. Ці рішення залежать від кількості та розміщення точок перемикання.

Тоді для отримання остаточного рішення задачі визначення параметрів сигналу управління  $u_{opt}(t)$  пропонується, спочатку, знайти усі рішення, а, потім, визначити рішення, яке відповідає максимуму для функції потужності  $S$ .

Для методу динамічного програмування цікавим є випадок, коли функція  $u(t)$  є імпульсною. Такий випадок можливо розглянути при використанні імпульсного управління БПЛА для забезпечення потрібного рівня прихованості операторів. Для такого випадку при використанні методу динамічного програмування у точці  $t = T$  знаходиться оптимум (максимум або мінімум) функції

$$C(t) = \int_t^T \psi(x_\alpha, u, t) dt.$$

Для розрахунку використаємо вираз

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \min_{\{u\}} H. \quad (16)$$

Рівняння (16) є аналогом рівняння  $\partial \dot{C} / \partial t = -H$ . Функція  $C$  описується виразом  $\dot{C}: C = -\dot{C} + const$ , функція  $\Psi(x_\alpha, u, t)$  відповідає функції Лагранжа, а значення змінних  $\mu_\gamma$  – це імпульси імпульсного сигналу управління. Замість змінних  $\mu_\gamma$  формули для  $H$  використаємо рівняння  $\mu_\gamma = -\partial C / \partial \zeta_\gamma$ . Тоді для початкової умови  $C(T) = 0$  для змінної  $C(t)$  отримаємо

$$C(t) = \frac{1}{2} \int_t^T \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2 dt.$$

Рівняння (16) перетворимо до вигляду

$$\begin{aligned} \frac{\partial C(t)}{\partial t} = & -\frac{1}{2} \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2 - \\ & - \max_{\{u\}} \sum_{\gamma=1}^r \frac{\partial C(t)}{\partial \zeta_\gamma} \phi_\gamma(\zeta_\gamma, u, t), \end{aligned} \quad (17)$$

де  $C(\zeta_\gamma, T) = 0$  – початкова умова.

Для імпульсного сигналу управління для дискретного часу  $t_1, t_2, \dots, t_s$  метод динамічного програмування доцільно використовувати у програмних засобах. Тоді вираз (17) має вигляд

$$\begin{aligned} & C(t_{s-k})[\zeta_\gamma(s-k)] = \\ & = \frac{1}{2} \sum_{\gamma=r-m+1}^r \zeta_\gamma^2(s-k) \Delta t + \sup_{\{u(s-k)\}} C(t_{s-k+1}) \times \\ & \times \{ \zeta_\gamma(s-k) + \Delta t \phi_\gamma[\zeta_\gamma(s-k), u(s-k)] \}. \end{aligned}$$

Отриманий вираз дозволяє розрахувати параметри сигналу управління у дискретний час  $t_{s-k}$  залежно від змінних  $\zeta_\gamma(s-k)$ :

$$u_{omn}(s-k) = u_{omn}[\zeta_\gamma(s-k)]. \quad (18)$$

Змінні  $\zeta_\gamma(s-k)$  можна обчислити із виразу

$$\begin{aligned} \zeta_\gamma(s-k+1) = & \zeta_\gamma(s-k) + \\ & + \Delta t \phi_\gamma[\zeta_\gamma(s-k), u_{omn}(\zeta_\gamma(s-k))] \end{aligned} \quad (19)$$

при з початковою умовою згідно рівняння (5).

Рішення виразу (19) із урахуванням формули (18) дозволяє розрахувати параметри сигналів управління каналу зв'язку БПЛА  $u_{omn}(t)$  від часу.

## Висновки

Запропонований вираз (18) пропонується застосувати для розрахунку параметрів сигналів

управління каналу зв'язку БПЛА при безперервному контролі характеристик польоту. При такому випадку інтеграл формули (1) для змінної  $S$  замінюється інтегральною сумою.

Запропонований метод динамічного програмування при застосуванні у каналі зв'язку БПЛА програмних засобів має головну перевагу – дозволяє проводити розрахунки циклічних програм. Це дозволяє на кожному етапі при обчисленні використовувати тільки значення однієї функції  $u_{omn}(\zeta_\gamma)$ , але при значній кількості змінних  $\zeta_\gamma$  (характерно для випадку контролю декількох БПЛА в одному секторі, тобто контролі значної кількості характеристик польоту) об'єм обчислень суттєво збільшується, що потребує збільшення технічної потужності каналу зв'язку БПЛА.

Метод динамічного програмування містить недолік – наявність декількох рішень, не завжди оптимальних. При цьому необхідно не втратити оптимальне рішення. Тому при розрахунках необхідно враховувати не тільки змінні  $u(s-k)$ , які характеризують максимум функції  $C_{s-k+1}$ , а й проміжні значення, для яких ця функція наближається до максимуму – змінні  $u(s-k)$ . Після обчислення всіх можливих рішень необхідно розрахувати таке, яке характеризує максимум функції  $S - C_0[\zeta_\gamma(0)] = C_0(0)$ .

Метод динамічного програмування при синтезі сигналів управління каналу зв'язку БПЛА  $u_{omn}(t)$  дозволяє обчислювати параметри сигналу для дискретного часу, то це дозволяє враховувати обмеження на сигнал управління у дискретному часі, тобто враховувати дію засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад для локального сектору функціонування каналу зв'язку БПЛА. Такі випадки розглядають накладання обмежень не на сигнал управління  $u(t)$ , а на сигнал  $x_i(t)$  на виході приймача каналу зв'язку БПЛА. Якщо вплив здійснюється одночасно на сигнал управління  $u(t)$  і сигнал на виході приймача каналу зв'язку БПЛА  $x_i(t)$ , тоді обчислення параметрів сигналу управління потребує розв'язання задачі з обмеженими вхідними даними. Запропонований метод динамічного програмування синтезу сигналів управління каналу зв'язку БПЛА пропонується використовувати для забезпечення стійкого та надійного управління БПЛА при дії засобів радіоелектронної протидії та радіотехнічних завад.

**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.

**Використання засобів штучного інтелекту.** Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасимов С. В., Гричанюк А. М., Журавльов О. О. Дослідження високоточних систем навігації літальних апаратів за наземними орієнтирами. 36. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків. 2017. Вип. 5 (54). С. 48-53. URL: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/issue/archive/2>
2. Беляєвський Л.С. Теоретичні основи радіонавігації та радіонавігаційних систем. К.: КМУЦА, 1997. 442 с. URL: <https://dokumen.pub/9e89bac0efee1cd81ed76d635b9fe15a.html>

3. Герасимов С. В., Чернявський О. Ю., Нанівський Р. А., Ільків І. М., Смичок В. Д. Комплектування полігону навчально-тренувальними комплексами для підготовки операторів безпілотних летальних апаратів. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2023. № 2 (20). С. 63-72. <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2023.20.63-72>
4. Yevseiev S., Kuzniyetsov O., Herasimov S. et. al. Development of an optimization method for measuring the Doppler frequency of a packet taking into account the fluctuations of the initial phases of its radio pulses. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 2/9 (110). 2021. Pp. 6-15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229221>
5. Zumbege J. F., Heflin M. B., Jefferson D. C., Watkins M. M., Webb F. H. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. Geoph Research. Vol. 102, No B3. 1997. Pp. 5005-5017. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96jb03860>
6. Герасимов С. В. Модель оцінки похибки обробки інформації у навігаційних системах крилатих ракет в умовах невідомості. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків, 2019. № 2 (35). С. 151-157. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.19>
7. Сучасне озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації. Довідник учасника ООС / [С. П. Корнійчук, О. В. Турінський, Г. В. Певцов, та ін.]; за заг. ред. С. П. Корнійчука. Х.: ДІСА ПЛІОС, 2020. 1220 с. URL: [https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2022/06/2\\_5263006830929386204.pdf](https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2022/06/2_5263006830929386204.pdf)
8. Аврутов В. В., Аврутова І. В., Попов В.М. Випробування приладів і систем. Види випробувань та сучасне обладнання. Київ : НТУУ “Київський політехнічний інститут”, 2009. 64 с. URL: [https://cions.kpi.ua/Arhiv/vyprob\\_sec.pdf](https://cions.kpi.ua/Arhiv/vyprob_sec.pdf)
9. Герасимов С.В., Чернявський О.Ю., Томчук О.А., Болкот П.А., Мартиненко С.А. Обладнання полігону навчально-тренувальними комплексами для збільшення дальності дії систем управління безпілотних апаратів. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2024. № 1 (21). С. 77-86. <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2024.21.77-86>
10. Асавалюк А. В., Герасимов С. В., Рошчупкін Є. С. Похибки визначення повного вектора швидкості в єдиній прямокутній системі координат системою оглядових станцій радіолокації з різною точністю. Системи озброєння і військова техніка. Харків, 2017. Вип. 2 (50). С. 53-56. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soiyt\\_2017\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soiyt_2017_2_13)
11. Herasimov S. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities / S. Herasimov, Yu. Shapran, M. Stakhova // Системи обробки інформації. 2018. Вип. 1. С. 148-154. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2018\\_1\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2018_1_23)
12. Xu Guochang. GPS. Theory, algorithms and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 2003. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-72715-6>
13. Synergy of building cybersecurity systems: monograph / S. Yevseiev, V. Ponomarenko, O. Laptiev, O. Milov and others. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 2021. 188 p. [https://papers.ssrn.com/sol3/cf\\_dev/AbsByAuth.cfm?per\\_id=4700333](https://papers.ssrn.com/sol3/cf_dev/AbsByAuth.cfm?per_id=4700333)
14. Yevseiev S., Milevskiy S., Sokol V. and others. Development of functionality principles for the automated data transmission system through wireless communication channels to ensure information protection. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. № 4(9) (130). С. 18-33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310547>
15. Herasimov S, Borysenko M., Roshchupkin E. and etc. Spectrum Analyzer Based on a Dynamic Filter, J Electron Test. 2021. Pp. 357-368. <https://doi.org/10.1007/s10836-021-05954-0>

Received (Надійшла) 22.11.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.01.2026

Publication date (Дата публікації) 27.02.2026

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Костяк Марина Юрїївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри захисту інформації, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна;

**Maryna Kostiak** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Protection, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine;

e-mail: [maryna.y.kostiak@lpnu.ua](mailto:maryna.y.kostiak@lpnu.ua); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-6667-7693>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57686638700>.

**Снявський Орест Юрїївич** – аспірант кафедри захисту інформації, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна;

**Orest Syniavskiy** – PhD student, of the Department of Information Protection Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine;

e-mail: [orest.y.syniavskiy@lpnu.ua](mailto:orest.y.syniavskiy@lpnu.ua); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0004-0202-6148>.

#### Discrete-casual modeling of elementary functions of operations controlled by information

Maryna Kostiak, Orest Syniavskiy

**Abstract. Relevance.** The need to protect the communication channel when controlling UAVs from electronic countermeasures and radio interference to expand the possibilities of their use. **Object of research:** control signals of UAV communication channels. **Purpose of the article.** development of a method for synthesizing the control signal of UAV communication channels using a dynamic programming device. **Research results.** The article proposes a dynamic programming method for synthesizing control signals of UAV communication channels. The developed method allows calculating the parameters of the control signal for both discrete and continuous observation time. This approach allows taking into account restrictions on the control signal in discrete or continuous time, i.e., taking into account the effect of electronic countermeasures and radio interference for the local sector of operation of the UAV communication channel. **Conclusions.** The proposed method of dynamic programming of synthesis of control signals of the UAV communication channel is proposed to be used to ensure stable and reliable control of the UAV under the influence of electronic countermeasures and radio interference.

**Keywords:** UAV; means; security; information; communication channel; mathematical model; synthesis; observation; electronic countermeasures; radio interference; control.