

УДК 621.38

О.М. Сотніков¹, О.І. Тимочко¹, О.Б. Танцюра¹, О.В. Федін²¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МОДЕЛЬ ОПИСУ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Наведені результати розробки формалізованої моделі процесу функціонування комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації. Визначені фактори, що призводять до формування багатовекторної вирішальної функції комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації. Здійснено уточнення моделі поточного зображення, що формується окремими каналами за інформативними ознаками, в залежності від просторового положення безпілотного літального апарата. Враховано вплив тримірної форми об'єктів поверхні візування на ефективну антенну температуру радіометричного каналу, що дозволило здійснити уточнення моделі опису радіометричного поточного зображення поверхні візування в залежності від інформативних ознак зображень. Уточнено модель процесу формування вирішальної функції комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації. Отримано співвідношення для опису поточних зображень поверхні візування в радіометричному та телевізійному каналах комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації. Наведено вираз, що описує процес формування вирішальної функції комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації.

Ключові слова: комбінована кореляційно-екстремальна система навігації, поточне зображення, поверхня візування, вирішальна функція.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз факторів, що впливають на формування вирішальної функції кореляційно-екстремальною системою навігації літального апарата. Ефективне застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) в умовах сучасних військових дій різної інтенсивності визначається, з одного боку, льотно-технічними показниками самих БпЛА та тактико-технічними характеристиками (ТТХ) радіоелектронного обладнання, а з іншого боку – можливостями противника з їх виявлення та знищення, або виведення всіма можливими способами з ладу радіоелектронного обладнання (РЕО), що призначене для рішення задач навігації БпЛА, зв'язку, передачі даних і контролю [1, 2].

Рішення задачі високоточного місця визначення БпЛА у поєднанні з вимогами до завадозахищеності та можливості функціонування у будь-яких умовах оперативного-тактичної обстановки успішно здійснюється комбінованою оптико-електронною та радіометричною кореляційно-екстремальною системою навігації (КЕСН) [1, 2].

Місце визначення БпЛА з використанням комбінованих КЕСН необхідно здійснювати в першу чергу у зв'язці інформативних параметрів системи «тримірна форма об'єктів на поверхні візування (ПВ) – датчики візування – геометричне положення БпЛА з урахуванням його випадкової зміни» в умовах впливу:

- різних типів перешкод та спотворень ПВ, які можуть мати природний або штучний характер;
- середовища розповсюдження (СР) радіохвиль та впливу перешкод на стан СР;
- поривів вітру, повітряних ям і турбулентностей на просторове положення БпЛА.

Ефективність функціонування КЕСН БпЛА визначається вирішальною функцією (ВФ) (командою на корекцію просторового положення БпЛА) та оцінюється за параметрами точності та ймовірності місця визначення.

Ймовірність місця визначення БпЛА з використанням КЕСН на i -му сеансі прив'язки визначається виразом

$$P_{M_i} = P_{ПЛ_i} \cdot P_{K_i}, \quad (1)$$

де $P_{ПЛ_i}$ – ймовірність правильної локалізації об'єкта прив'язки (ОП) на поточному зображенні (ПЗ) ПВ;

$P_{K_i} = P_{му} \cdot P_n \cdot P_{нсу}$ – ймовірність виконання корекції траєкторії польоту БпЛА на k -му сеансі прив'язки, яка визначається наступними параметрами:

$P_{му}$ – ймовірність впливу погодних умов на систему управління (СУ) БпЛА;

P_n – ймовірність впливу перешкод на функціонування СУ БпЛА;

$P_{нсу}$ – ймовірність безвідмовної роботи СУ БпЛА.

Згідно з [3–5] показник точності (похибка місця визначення) КЕСН характеризується величиною середньоквадратичної похибки (СКП) відхилення істинних координат БПЛА після виконання k -ї корекції відносно заданих.

Показник точності КЕСН БПЛА можна представити виразом

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{ПЛ_i}^2 + \sigma_{П_k}^2 + \sigma_{СУ_K}^2}, \quad (2)$$

де $\sigma_{ПЛ_i} = f(\sigma_{ЕЗ}, \sigma_{x_i y_i z_i})$ – СКП локалізації ОП на ПЗ при k -му сеансі прив'язки, яка залежить від точності виготовлення еталонного зображення (ЕЗ) $\sigma_{ЕЗ}$ та похибок визначення просторового положення БПЛА $\sigma_{x_i y_i z_i}$, що виникають під впливом випадкових факторів;

$\sigma_{П_k}$ – СКП визначення координат після виконання корекції на k -му сеансі прив'язки КЕСН;

$\sigma_{СУ_K}$ – СКП відпрацювання сигналів управління після проведення корекції траєкторії польоту БПЛА.

Вплив випадкових факторів, що призводять до виникнення похибок визначення просторового положення БПЛА $\sigma_{x_i y_i z_i}$ потребує розробки відповідних методів їх урахування на формування ВФ КЕСН та місця визначення БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що ймовірність $P_{ПЛ_i}$ визначається багатьма факторами [6, 8, 9]. Деякі фактори є дуже суттєвими не тільки для виконання місця визначення БПЛА, але і для ведення повітряної розвідки. До них необхідно віднести тримірну форму об'єктів ПВ, а також вплив нестабільності просторового положення БПЛА, які визначають якість ПЗ, що формується датчиками КЕСН та є одночасно результатом ведення повітряної розвідки. Ці фактори незважаючи на результати ряду робіт [6] не враховані при визначенні результату оцінки ймовірності $P_{ПЛ_i}$. Ця ймовірність також визначається сформованим заздалегідь ЕЗ, яке для комбінованої КЕСН повинне враховувати особливості виділення інформативних ознак відповідними датчиками КЕСН.

Необхідність врахування тримірної форми об'єктів ПВ, особливо в умовах зміни геометрії візування, обумовлена виникненням на зображеннях об'єктонасичених ПВ, що характерно для розвиненої інфраструктури, тіней та розмитостей контурів. Ці фактори, як і швидка зміна просторового положення БПЛА, що обумовлена поривами вітру, повітряними ямами та повітряними потоками, також можуть сприяти спотворенню ВФ та виникненню декількох екстремумів, що в свою чергу призведе до зниження

ефективності функціонування КЕСН та інтегрованих з ними засобів повітряної розвідки та цілевказівок.

У відповідності з вимогами, що висуваються до систем навігації БПЛА, проведення досліджень, спрямованих на визначення можливості застосування комбінованих КЕСН для навігації БПЛА з урахуванням відповідних факторів впливу, потребує уточнення моделі опису процесу функціонування комбінованої КЕСН.

Метою статті є розробка уточненої моделі опису процесу функціонування КЕСН БПЛА.

Основна частина

Уточнення моделі опису процесу функціонування КЕСН БПЛА будемо здійснювати з урахуванням:

- середньоквадратичних похибок, викликаних роботою безплатформних інерційних систем навігації (БІСН);

- впливу тримірної форми об'єктів ПВ на результат виміру яскравості телевізійним датчиком $B_{Я}$, а також радіояскравісної температури радіометром $\Delta T_{АЕФ}$;

- випадкової зміни просторового положення БПЛА, обумовленої поривами вітру, повітряними ямами та атмосферними турбулентностями, яку не може миттєво компенсувати БІСН.

Вплив СКП БІСН в моделі врахуємо залежністю тілесного кута діаграми спрямованості антени (ДСА) Ω_A від просторового положення БПЛА та його зміни, що визначається кутами γ', θ', ψ' ,

$$\Omega_A = \gamma', \theta', \psi', \quad (3)$$

де $\gamma' = \gamma \pm \Delta\gamma$ – поточне значення кута крену;

$\theta' = \theta \pm \Delta\theta$ – поточне значення кута тангажа;

$\psi' = \psi \pm \Delta\psi$ – поточне значення кута рискання.

Вплив тримірної форми об'єктів ПВ на результат виміру яскравості телевізійним датчиком $B_{Я}$, а також радіояскравісної температури $\Delta T_{АЕФ}$ радіометром обумовлює необхідність уточнення цих параметрів шляхом урахування внеску в їх інтегральні значення окремих сторін.

Відповідно до моделі опису процесу функціонування комбінованої КЕСН зображення ПВ доцільно описувати з використанням єдиного показника якості. Таким показником може бути інформативний параметр, що вимірюється відповідним датчиком комбінованої КЕСН. У нашому випадку інформативними параметрами для телевізійного (ТВ) зображення є яскравість та контраст, а для радіометричних (РМ) зображень радіотеплова температура та радіотепловий контраст.

Розглянемо окремо для кожного каналу КЕСН підхід щодо опису ПВ, які формуються датчиками

різної фізичної природи. Зображення ПВ за допомогою телевізійного датчика може бути представлено у кольоровому вигляді. Але обробка таких зображень повинна здійснюватися за окремими кольоровими складовими. Тому для забезпечення єдності представлення інформації про ПВ елементи телевізійного зображення будемо описувати градаціями сірого через параметр яскравості.

Яскравість, що приймається телевізійним датчиком КЕСН від об'єкта ПВ, розміщеного в точці (i, j) у момент часу t , відповідно до [7] представимо у наступному вигляді

$$B_{Я}(i, j, t, \varepsilon, \mu, \bar{\omega}) = E(i, j, t, \varepsilon, \mu, \bar{\omega}) r_{Я}(i, j, t, \varepsilon, \mu, \bar{\omega}), \quad (4)$$

де $E(i, j, t, \varepsilon, \mu, \bar{\omega})$ – спектральне поле освітленості, що створюється елементом зображення (i, j) в момент часу t , який характеризується електрофізичними параметрами ε, μ (діелектрична та магнітна проникності);

$r_{Я}(i, j, t, \varepsilon, \mu, \bar{\omega})$ – спектральний коефіцієнт яскравості;

$\bar{\omega} = \|\varphi \ \phi \ \omega \ \psi \ E_{np} / E_{роз}\|$ – вектор умов спостереження і освітлення, який визначається наступними параметрами:

φ та ϕ – кути спостереження елемента ПВ;

ω та ψ – кути освітлення елемента ПВ;

E_{np} та $E_{роз}$ – випадкові поля освітленості, що створюються прямою і розсіяною радіацією.

Відповідно до обраного інформативного параметра ідеалізована модель ТВ зображення ПВ (без урахування шумів) може бути представлена в матричній формі

$$S_{ТВ} = \left\| S_{ТВ,ij} \right\|_{\substack{i=1..M \\ j=1..N}}, \quad (5)$$

де $S_{ТВ}(i, j) = f(B_{Я})$.

Ідеалізовану модель РМ зображення багатопроменевої системи представимо у матричному вигляді [7]

$$S_{PM} = \left\| S_{PM,ij} \right\|_{\substack{i=1..M \\ j=1..N}}, \quad (6)$$

де $S_{PM}(i, j) = f(T_{A_{e\phi}})$.

Структура моделі опису процесу функціонування комбінованої КЕСН відповідно до представлених вище міркувань буде мати вигляд, наведений на рис. 1.

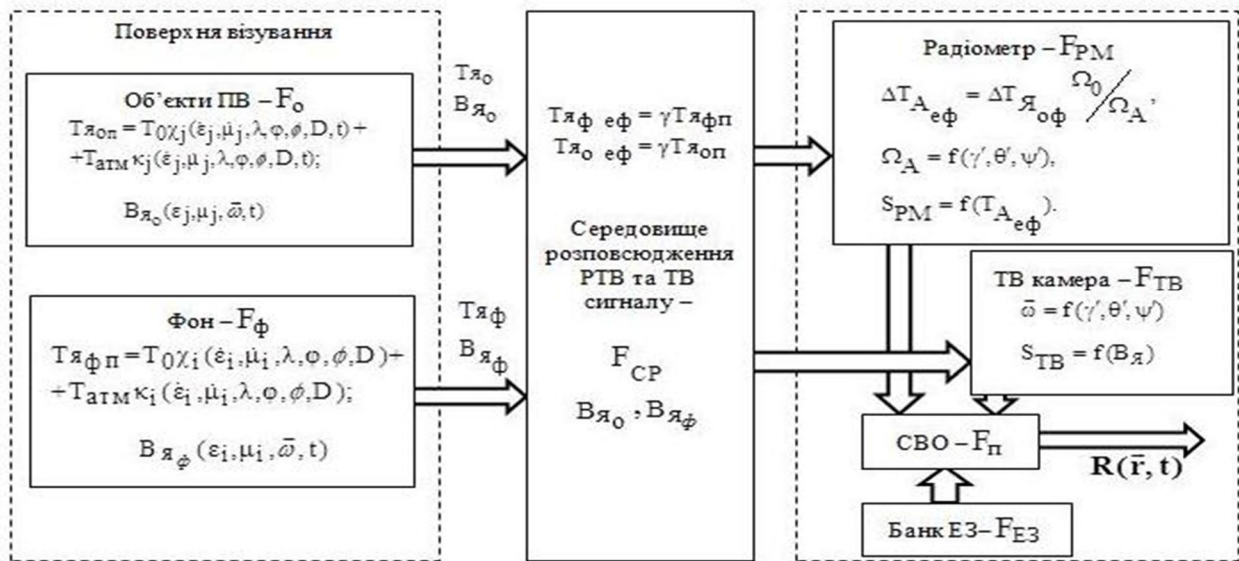


Рис. 1. Структурна схема моделі опису процесу функціонування комбінованої КЕСН

У наведеній моделі використані наступні позначення: $F_0; F_{\phi}; F_{CP}; F_{PM}; F_{ТВ}; F_{ЕЗ};$

$F_{П}$ – оператори, що описують об'єкт прив'язки ПВ, фон ПВ, середовище розповсюдження сигналів, радіометр та телевізійну камеру КЕСН, еталонне зображення та алгоритм порівняння ПЗ з ЕЗ; СВО – система вторинної обробки.

У наведеній моделі не враховано вплив різного роду перешкод на середовище розповсюдження

сигналів та датчики одержання інформації, а також властивих шумів систем первинної обробки інформації. Також у моделі не показано вплив алгоритмічних перешкод, які призводять до зміни ПВ (використання маскування, радіопоглинальних та відбивальних матеріалів тощо). Ці перешкоди призводять до спотворення вирішальної функції $R(\vec{r}, t)$ та, відповідно, до погіршення основних ТТХ комбінованої КЕСН. Але у відомих моделях, що

проаналізовані в ході досліджень та наведені в роботах [8, 9], ці перешкоди були враховані та був досліджений їх вплив на ВФ. Тому з метою спрощення моделі ці фактори впливу не враховуються. Враховуються лише ті фактори, які були визначені вище та відносяться до КЕСН БпЛА.

$$R(\vec{r}, t) = F_{II} \left\{ \begin{array}{l} S_{EЗPM}; F_{PM} \left\{ \left\{ F_{CP} \left\{ \begin{array}{l} F_0(T_0 + \delta T; \chi_j(\dot{\varepsilon}_j, \dot{\mu}_j, \lambda, \varphi, \phi, D, t) + \delta\chi_j; T_{атм} + \delta T_{атм}) \\ F_\phi(T_0 + \delta T; \chi_i(\dot{\varepsilon}_i, \dot{\mu}_i, \lambda, \varphi, \phi, D, t) + \delta\chi_i; T_{атм} + \delta T_{атм}) \end{array} \right\}; m(t); n(t) \right\} \\ S_{EЗТВ}; F_{ТВ} \left\{ \left\{ F_{CP} \left\{ \begin{array}{l} F_0(B_{Я_0}(\varepsilon_j, \mu_j, \bar{\omega}, t)) \\ F_\phi(B_{Я_\phi}(\varepsilon_j, \mu_j, \bar{\omega}, t)) \end{array} \right\}; m(t); n(t) \right\} \end{array} \right\} \right\}, \quad (7)$$

де ПЗ, що формується РМ каналом:

$$S_{PM} = f \left(F_{PM} \left\{ F_{CP} \left\{ \begin{array}{l} F_0(T_0 + \delta T; \chi_j(\dot{\varepsilon}_j, \dot{\mu}_j, \lambda, \varphi, \phi, D, t) + \delta\chi_j; T_{атм} + \delta T_{атм}) \\ F_\phi(T_0 + \delta T; \chi_i(\dot{\varepsilon}_i, \dot{\mu}_i, \lambda, \varphi, \phi, D, t) + \delta\chi_i; T_{атм} + \delta T_{атм}) \end{array} \right\}; n(t) \right\} \right); \quad (8)$$

ПЗ, що формується ТВ каналом:

$$S_{ТВ} = f \left(F_{ТВ} \left\{ F_{CP} \left\{ \begin{array}{l} F_0(B_{Я_0}(\varepsilon_j, \mu_j, \bar{\omega}, t)) \\ F_\phi(B_{Я_\phi}(\varepsilon_j, \mu_j, \bar{\omega}, t)) \end{array} \right\}; n(t) \right\} \right). \quad (9)$$

У представлених співвідношеннях:

$T_0 + \delta T$ – термодинамічна температура об'єкта і фону та її варіації;

$\chi_j + \delta\chi_j$ – випромінювальна здатність об'єкта і фону та її варіації;

λ – довжина хвилі випромінювання;

D – форма об'єкта візування;

t – час експозиції;

$T_{атм} + \delta T_{атм}$ – радіотеплова температура стовпа атмосфери та її варіації;

$B_{Я_0}$ та $B_{Я_\phi}$ – яскравість об'єкта та фону.

Таким чином, відповідно до виразів (7, 8, 9) формалізовані моделі опису процесу функціонування комбінованої КЕСН, що описують процес формування ВФ, враховують фактори впливу, що обумовлені як тримірною формою об'єктів ПВ, зміною просторового положення БпЛА, так і похибками БІСН. У той же час ці моделі безпосередньо не вказують порядок формування ВФ окремими каналами та КЕСН в цілому. При цьому необхідно зазначити, що ВФ може бути сформована в залежності від стану оперативного-тактичної обстановки в районі прив'язки за трьома сценаріями:

1. При k -й прив'язці функціонують обидва канали, спочатку формування ВФ здійснюється радіометричним каналом, потім місцеположення БпЛА уточнюється за допомогою оптико-електронного датчика.

Відповідно до рис. 1 формалізовану модель опису процесу формування ВФ з урахуванням впливу мультиплікативних перешкод $m(t)$ на середовище розповсюдження сигналів, а також власних шумів $n(t)$ у каналах обробки сигналів можна представити виразом:

2. Умови роботи телевізійної камери не дозволяють формувати ПЗ, прив'язка здійснюється радіометричним каналом.

3. Прив'язка здійснюється лише за допомогою оптико-електронного датчика. Це можливо для забезпечення потрібних ТТХ при незначній висоті польоту БпЛА та в умовах відсутності впливу або незначного впливу середовища розповсюдження на проходження оптичних сигналів.

Важливо зазначити, що співвідношення (8) та (9) для опису ПЗ обох каналів безвідносно до інформативного параметра, в загальному випадку не відрізняються. Ця обставина дозволяє зробити висновок про доцільність формування єдиного еталона для ТВ та РМ каналів комбінованої КЕСН.

Загалом представлена уточнена модель процесу формування ПЗ ПВ в РМ та ТВ каналах комбінованої КЕСН є основою для розробки методу формування унімодалної вирішальної функції КЕСН БпЛА.

Висновки

Проаналізовано вплив факторів, що призводять до формування багатоекстремальної ВФ комбінованої КЕСН. Здійснено уточнення моделей ПЗ ПВ в РМ та ТВ каналах комбінованої КЕСН, а також процесу формування ВФ комбінованої КЕСН.

На відміну від існуючих, уточнена модель враховує вплив тримірної форми об'єктів візування, просторове положення і орієнтацію БпЛА та їх випадкові зміни, викликані похибками роботи БІСН. Вплив додаткових факторів негативного впливу

дозволив отримати уточнені вирази для опису ПЗ ПВ в РМ та ТВ каналах комбінованої КЕСН, а також уточнити процес формування ВФ комбінованою КЕСН.

Співвідношення для опису ПЗ ПВ у РМ та ТВ каналах комбінованої КЕСН дають змогу в подальшому для розробки методів формування унімодальної ВФ КЕСН та еталонних зображень для комбінованих КЕСН.

Список літератури

1. Воздушная разведка наземных целей беспилотными летательными аппаратами / Л.М. Артюшин, Ю.К. Ребрин, В.Б. Толубко, А.Ю. Уваров, Ю.М. Черных. – К.: НАОУ, 2004. – 244 с.; Боевое использование разведывательных БПЛА США и других стран НАТО / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах их выявления. Серия: Технические средства разведывательных служб зарубежных государств // ЕИБ ВИНИТИ. – 2002. – № 5. – С. 12–15.
2. Аналитический обзор. Некоторые итоги боевых действий авиации НАТО в Югославии. – 2000. – С. 23.
3. Мосалев В. Подразделение БЛА «Феникс» сухопутных войск Великобритании // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – № 8. – С. 18–19.
4. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты. Боевые. Разведывательные / Н.Я. Василин. – Минск: Попурри, 2003. – 273 с.

5. Савенков А. Разработка высокоточных всепогодных систем наведения малоразмерных средств поражения объектов ВВТ // Оборонная техника. – 1990. – № 9. – С. 18–19.

6. Бойове застосування високоточних засобів ураження і особливості боротьби з ними: навч. посіб. / В.І. Ткаченко, С.П. Ярош, Є.Б. Смірнов та ін., за ред. В.І. Ткаченка. – Х.: ХУПС, 2016. – 272 с.

7. Sotnikov A. A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects / A. Sotnikov, V. Tarshyn, N. Yeromina, S. Petrov, N. Antonenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, № 9 (87). – P. 68–74.

8. Сотников А.М. Обобщенная модель процесса функционирования матричных радиометрических корреляционно-экстремальных систем навигации миллиметрового диапазона / А.М. Сотников, А.Н. Быков, Я.Н. Кожушко / Системы управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ навігації і управління, 2009. – Вип. 13(11). – С. 13–17.

8. Сотников А.М. Анализ условий и требований к получению информации о поверхности визирования при формировании базы данных и подготовке эталонных изображений / А.М. Сотников, Н.С. Еремина, Ю.В. Самсонов / Системы управління, навігації та зв'язку. – Полтава, ПНТУ № 4 (36). – 2015. – С. 66–69.

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Ю.П. Сальник, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.М. Сотников, А.И. Тимочко, А.Б. Танцюра, А.В. Федин

Приведены результаты разработки формализованной модели процесса функционирования комбинированной корреляционно-экстремальной системы навигации. Определены факторы, которые приводят к формированию много-экстремальной решающей функции комбинированной корреляционно-экстремальной системы навигации. Произведено уточнение модели текущего изображения, которое формируется отдельными каналами по информативным признакам, в зависимости от пространственного положения беспилотного летательного аппарата. Учтено влияние трехмерной формы объектов поверхности визирования на эффективную антенную температуру радиометрического канала, что позволило совершить уточнение модели описания радиометрического текущего изображения в зависимости от информативных признаков изображений. Уточнено модель процесса формирования решающей функции комбинированной корреляционно-экстремальной системы навигации. Получены соотношения для описания текущих изображений поверхности визирования в радиометрическом и телевизионном каналах комбинированной корреляционно-экстремальной системы навигации. Представлено выражение, описывающее процесс формирования решающей функции комбинированной корреляционно-экстремальной системы навигации.

Ключевые слова: комбинированная корреляционно-экстремальная система навигации, текущее изображение, поверхность визирования, решающая функция.

MODEL OF DESCRIPTION OF THE PROCESS OF FUNCTIONING OF COMBINED CORRELATION-ON-EXTREMAL SYSTEM OF NAVIGATION OF THE UNBEILED FLYING AP PARAT

A. Sotnikov, A. Timochko, A. Tancyra, O. Fedin

The results of the development of a formalized model of the process of functioning of a combined correlation-extreme navigation system are presented. The factors that lead to the formation of a multi-extremal decision function of a combined correlation-extreme navigation system are determined. The model of the current image, which is formed by separate channels according to informative features, is made more precise, depending on the spatial position of the pilotless flying device. A block diagram of the description of the process of functionalization of a combined correlation-extreme navigation system is presented. The influence of the three-dimensional shape of the sighting surface objects on the effective antenna temperature of the radiometric channel was taken into account, which allowed the refinement of the radiometric current image description model.

depending on the informative signs of the images. The model of the formation process of the solving function of the combined correlation-extreme navigation system is clarified, taking into account the influence of the three-dimensional shape of the sighting objects and random changes in the spatial position of the flying apparatus. Relations are obtained for describing the current images of the sighting surface in the radiometric and television channels of a combined correlation-extreme navigation system, taking into account the three-dimensional shape of the objects of interference and random changes in the spatial position of the aircraft caused by the turbulence of the atmosphere. An expression describing the process of formation of the solving function of a combined correlation-extreme navigation system is presented. Variants of the scenario for the formation of a decisive function are presented depending on the conditions of the operational-tactical situation. The expediency of forming a single standard for television and radiometric channels of a combined correlation-extreme navigation system is substantiated.

Keywords: combined correlation-extreme navigation system, current image, sighting surface, decision function.

УДК 623.55.02

О.І. Тимочко¹, С.В. Герасимов¹, В.О. Лабунець², О.К. Климович³

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

²Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ

³Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ОЦІНЮВАННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ РАДІОКАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА У МІСЬКИХ УМОВАХ

Розглядається метод оцінювання завадозахищеності каналу радіозв'язку безпілотних літальних апаратів при діях у міських умовах для випадків розташування джерел навмисних завад на будинках, спорудах тощо. Стійкий радіозв'язок між підрозділами у міських умовах забезпечується шляхом урахування тривимірності діаграми спрямованості антен та висот ймовірного розташування джерел навмисних завад. Програмна реалізація запропонованого методу дозволяє розв'язати задачу побудови максимальної за розміром зони стійкого радіозв'язку для конкретної оперативної обстановки.

Ключові слова: радіоелектронне придушення, радіозавади, канал радіозв'язку, діаграма спрямованості.

Постановка проблеми

Оцінювання можливостей протистояння засобам радіопридушення каналів радіозв'язку є обов'язковим заходом при плануванні та під час виконання завдань правоохоронної діяльності. Сучасні засоби постановки навмисних завад (НЗ) мають всі необхідні технічні характеристики для їхнього застосування в умовах безпосереднього контакту протиборчих сторін, особливо при виконанні завдань правоохоронної діяльності у міських умовах, в умовах прямої видимості, яка обмежується сотнями метрів. Це робить необхідним для забезпечення стійкого радіозв'язку використання додаткових засобів захисту від навмисних завад (ДЗЗНЗ) у вигляді нестандартних скритих мобільних екранів та направлених антен, наприклад, розташованих на безпілотних літальних апаратах (БПЛА) [1, 2].

Обмежений оперативний простір, особливо при виконанні завдань правоохоронної діяльності в міських умовах, вимагає точного визначення можливих варіантів розташування радіозасобів відносно

засобів постановки НЗ. Оптимальна орієнтація ДЗЗНЗ з діаграмами спрямованості (ДС) нестандартної форми дозволяє збільшити зони стійкого радіообміну, які при цьому, як правило, мають неправильну форму [2]. Практика використання ДЗЗНЗ показує, що досягти достатнього рівня стійкості каналів радіозв'язку при впливі навмисних завад можливо лише у певному просторі, єдиним шляхом визначення якого є імітаційне моделювання [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що недоліком методу побудови зони досяжності, запропонованого у роботах [2, 3], є відсутність врахування різних висот ймовірного розташування джерел навмисних завад, які можуть знаходитись в будинках, спорудах і т. ін., що є цілком ймовірним у міських умовах. Урахування тривимірності ДС антен дозволить підвищити точність орієнтації ДЗЗНЗ, як по азимуту, так і по куту місця та більш точно розв'язати задачу побудови зони досяжності, у межах якої забезпечується стійкий радіозв'язок між підрозділами при виконанні завдань правоохоронної діяльності.