

УДК 621.396.96

В.А. Таршин, О.М. Сотніков, Р.Г. Сидоренко

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## РОЗРОБКА ТИПОВИХ МОДЕЛЕЙ ОПИСУ ЗОБРАЖЕНЬ ПОВЕРХНІ ВІЗУВАННЯ В УМОВАХ ЇЇ СПОТВОРЕННЯ

*Отримана сукупність моделей опису типових поверхонь візування районів прив'язки кореляційно-екстремальних систем наведення у залежності від зміни параметрів геофізичних полів Землі під впливом маскувальних, імітувальних перешкод, а також при застосуванні противником заходів щодо зменшення помітності об'єктів прив'язки, що призводять до структурних змін поверхні візування. Розроблена сукупність моделей опису зображень поверхні візування, що представлена як елемент моделі процесу формування комбінованої кореляційно-екстремальної системи наведення, яка функціонує в умовах спотворення поверхні візування.*

**Ключові слова:** кореляційно-екстремальна система наведення, керований засіб поразення, поверхня візування.

### Вступ

Ефективне застосування високоточних керованих засобів поразення (КЗП) для ураження захищених, замаскованих об'єктів на поверхні візування (ПВ) визначається можливістю точного визначення його просторового положення на кінцевій ділянці траєкторії. Забезпечення автономності і скритності рішення задачі місцеположення КЗП, облік особливостей вирішуваних завдань по ураженню об'єктів, змін оперативного-тактичної і фоново-цільової обстановки в районі застосування можливо при використанні кореляційно-екстремальних систем наведення (КЕСН). Рішення задачі високоточного визначення місцеположення КЗП в умовах ведення бойових дій супроводжується змінами ПВ, які пов'язані із зміною фоново-об'єктового складу, застосуванням перешкод і засобів маскуванню. Тому створення сучасних КЕСН КЗП повинне передбачати розробку моделей опису зображень поверхні візування в умовах сезонних, добових, погодних змін ПВ, дії перешкод і виконання заходів оперативного і тактичного маскуванню [1, 2].

**Постановка проблеми.** По відношенню до систем наведення (СН) КЗП можуть застосовуватися заходи щодо спотворення ПВ. Застосування цих заходів здійснюється для зниження ефективності СН. Спотворюючі фактори, які призводять до зміни інформації про ПВ, отримувану одним з датчиків не впливають на якість інформації про ПВ, яка отримується іншим типом датчика. Наприклад, при застосуванні кутових відбивачів для імітації окремих об'єктів для РЛ датчика практично не впливає на якість інформації про ПВ у оптичному діапазоні. У той же час, застосування спеціальних покриттів, розробці та дослідженню характеристик яких присвячені роботи [4, 5] дозволяють забезпечувати спотворення ПВ у широкому частотному діапазоні.

Таким чином, різні ділянки ПВ відрізняються одна від одної за фоново-об'єктовим складом, а також сукупністю спотворень, що впливають на неї. Для розробки методів формування унімодалної (вирішальної функції) ВФ у комбінованих КЕСН як команди на корекцію траєкторії польоту КЗП, не зважаючи на тип ПВ та відміни об'єктів на ній, необхідно мати моделі, які описують ПВ та, у відповідності з узагальненою моделлю процесу формування ВФ комбінованої КЕСН, являють собою вихідні дані для формування поточних зображень (ПЗ) у КЕСН. Побудова моделей опису ПВ повинна ґрунтуватися загальних принципах, які визначають опис ПВ будь-якого типу.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Моделі опису ПВ, що представлені у роботах [6 – 9] передбачають застосування у КЕСН датчиків одного типу. У таких системах, як правило, використовуються певний тип інформативного параметра, відповідно до якого здійснюється формування ВФ КЕСН. Можливість комплексного спостереження наземних об'єктів розглядається у роботі [10], однак, моделі опису ПВ розглядаються окремо для кожного датчика. На відміну від раніше розглянутих, для систем комбінованого типу, які здійснюють місцевизначення на ПВ різного фоново-об'єктового складу, у тому числі, при наявності спотворень, обумовлених як природними так штучними факторами, а також в умовах слабкої контрастності ПВ, необхідно забезпечити однакове представлення інформації на виході датчиків різної фізичної природи (ДРФП) для здійснення подальшого формування ВФ системою вторинної обробки.

**Метою статті** є розробка типових моделей опису зображень поверхні візування для КЕСН КЗП в умовах сезонних, добових, погодних змін ПВ, дії перешкод і виконання заходів оперативного і тактичного маскуванню.

## Основний матеріал

Узагальнена модель опису ПВ з урахуванням спотворень є елементом моделі процесу формування ВФ. Так само, як і при розробці моделі процесу формування ВФ комбінованої КЕСН, модель опису ПВ будемо розглядати на різних етапах його формування. Вихідними для розробки моделей опису ПВ з урахуванням різних типів спотворень будемо вважати моделі, які відповідають підмножинам  $\Phi_{01}$ ,  $\Phi_{02}$ ,  $\Phi_{03}$ .

Результат впливу спотворень на ПВ описується виразом:

$$S'_{ПВ}(t) = \mathbf{B}_{ПВ}(t, S_{ВЗ}), \quad (1)$$

де  $\mathbf{B}_{ПВ}(t, S_{ВЗ}) = \|\mathbf{B}_{ПВ}(i, j, t, S_{ВЗ}(i, j))\|$  – оператор, який описує зміни яскравості у кожному елементі зображення ПВ;

$t$  – момент отримання зображення ПВ, який характеризує інтервал часу від отримання вихідного зображення (ВЗ) ( $S_{ВЗ}(t_0)$ ) до моменту прив'язки КЕСН КЗП у заданому районі.

У загальному випадку оператор  $\mathbf{B}_{ПВ}$  визначається усіма параметрами, від яких залежить вимірюваний ДРФП інформативний параметр. Однак, з позицій системи вторинної обробки, вхідною інформацією якої є  $S'_{ПВ}(t)$ , при усуненні решти спотворень, які не розглядаються у рамках поставленої задачі, елемент оператора  $\mathbf{B}_{ПВ}(i, j, t, S_{ВЗ}(i, j))$  характеризує лише зміну яскравості у залежності від положення елемента розділення на зображенні та поточного часу. При цьому, оскільки інформація про наслідки спотворення зображення ПВ у момент його отримання відсутня то  $\mathbf{B}_{ПВ}(i, j, t, S_{ВЗ}(i, j))$  є випадковою функцією, статистичні характеристики якої заздалегідь можуть бути не відомі.

Для мінімізації можливих спотворень ПВ необхідно забезпечити можливість отримання ПЗ згідно з виразом

$$S'_{ПВ}[\Delta t_{\Pi} = (t - t_0) \rightarrow \min] = \mathbf{B}_{ПВ} \circ S_{ВЗ}, \quad (2)$$

де  $\circ$  – позначає операцію поелементного (адамарового) множення оператора  $\mathbf{B}_{ПВ}$  та матриці ВЗ  $S_{ВЗ}$ ;

$\Delta t_{\Pi} = (t - t_0)$  – інтервал часу між отриманням ВЗ та здійсненням прив'язки по сформованому на його основі еталонного зображення (ЕЗ).

При виконанні умови  $\Delta t_{\Pi} \rightarrow \min$ , елементи оператора  $\mathbf{B}_{ПВ}(i, j) \rightarrow 1$ , тобто отриманого спотворення характеризуються малими приростами яскравості елементів зображень, а сама модель має вигляд

$$S'_{ПВ} \approx \|\mathbf{B}_{ПВ}(i, j) \cdot S_{ВЗ}(i, j)\| = \left\| \mathbf{B}_{ПВ}(i, j) \left[ \sum_{v=1}^V F_{O_v}(i, j) + \sum_{w=1}^W F_{\Phi_w}(i, j) \right] \right\|. \quad (3)$$

Таке представлення моделі опису має місце тоді, коли між моментом отримання ВЗ від засобів розвідки та ПЗ від ДРФП проходить малий інтервал часу  $\Delta t_{\Pi}$ , або природні зміни ПВ відбуваються достатньо повільно, а штучні спотворення ПВ відсутні.

У випадках, коли умови  $\Delta t_{\Pi} \rightarrow \min$  та  $\mathbf{B}_{ПВ}(i, j) \rightarrow 1$  при  $(i, j) \in S'_{ПВ}$  не виконуються, фактори, що призводять до спотворення ПВ, описуються виразом (1) та можуть суттєво впливати на ефективність функціонування КЕСН.

Відповідно до узагальненої моделі опису ПВ (1), оператор  $\mathbf{B}_{ПВ}$  характеризує усю сукупність спотворень, які присутні на зображенні ПВ, однак для простоти опису та аналізу впливу таких спотворень на результат формування ВФ КЕСН будемо додатково вважати, що зображення ПВ піддається впливу лише одного спотворюючого фактора. Справедливість такого припущення обумовлена також тим, що при використанні для формування ВФ малого, порівняно з поточним, еталонного зображення, безпосередній вплив на якість формування кореляційного піка обумовлений ділянкою місцевості що знаходиться навколо області ПВ, обраної для прив'язки. Спотворенням решти ділянок у більшості випадків можна зневажати, якщо для них відсутнє співпадіння спотворень з ЕЗ.

Після формування зображення ПВ, отриманого для будь-якого датчика КЕСН, при відсутності інформації про можливі наслідки спотворення інформативних полів, отриманих для інших ДРФП, спотворення можуть бути класифіковані за масштабом змін, що відбулися на ПВ. Відповідно до цього модель (1) може бути конкретизована для випадків стаціонарних та локальних спотворень ПВ.

Під впливом оператора  $\mathbf{B}_{ПВ}$  на зображенні ПВ відбувається зміна яскравості у кожному елементі зображення. У такому випадку модель спотвореного зображення ПВ для кожного елемента розділення може бути представлена у вигляді

$$S'_{ПВ}(i, j) = \sum_{v=1}^V [F_{O_v}(i, j) + \Delta F_{O_v}(i, j)] + \sum_{w=1}^W [F_{\Phi_w}(i, j) + \Delta F_{\Phi_w}(i, j)], \quad (4)$$

де  $\Delta F_{O_v}(i, j)$ ,  $\Delta F_{\Phi_w}(i, j)$  – спотворення яскравості елементів розділення ПВ, які відповідають областям існування об'єктів і фонів, відповідно.

У таких умовах спотворене зображення ПВ можна представити моделлю

$$S'_{ПВ} = \left\| \sum_{v=1}^V F_{O_v}(i, j) + \sum_{w=1}^W F_{\Phi_w}(i, j) \right\| + S_{\Pi}, \quad (5)$$

для якої  $S_{\Pi} = \|\Delta F(i, j)\|$  являє собою матрицю з ненульовими, у загальному випадку елементами.

Оскільки вплив стаціонарних приблизно однаковий для об'єктів та фонів, то можна записати, що

$$\Delta F(i, j) = \sum_{v=1}^V \Delta F_{O_v}(i, j) \approx \sum_{w=1}^W \Delta F_{\Phi_w}(i, j), \quad (6)$$

тобто, зміни об'єктів і фонів відбуваються за однаковими законами.

Можливі ситуації впливу стаціонарних спотворень на ПЗ будемо описувати множиною  $\Phi_1$ . При цьому також будемо враховувати вплив спотворюючих факторів стаціонарного характеру на різних етапах формування ПЗ.

Перш за все до таких змін будемо відносити зміну умов спостереження ПВ, яку будемо умовно позначати підмножиною  $\Phi_{11}$ , зміну вологості –  $\Phi_{12}$  та вплив шумів некритичної інтенсивності безпосередньо на приймальний тракт ДРФП –  $\Phi_{13}$ . Результат впливу спотворень, обумовлених підмножинами  $\Phi_{11}$ ,  $\Phi_{12}$  і  $\Phi_{13}$  на зображення ПВ з різним фоново-об'єктовим складом, обумовлює виникнення ситуації  $G_{11}(\Phi_0)$

$$G_{11}(\Phi_0) = \Phi_0 \cup \Phi_{11}, \quad (7)$$

де 1 – позначає номер можливого варіанту відмін ПЗ від ВЗ ( $k=1$ ).

Зміни ПВ раніше розглядалися у роботі [11], однак це стосувалося спотворень оптичних зображень, для усунення яких передбачається застосування інваріантних до варіацій яскравості і контрасту методів та алгоритмів обробки. Однак, такі ситуації мають місце при описі спотворень радіометричних, радіолокаційних та інфрачервоних зображень на виході ДРФП.

Слід зазначити, що критичність та некритичність інтенсивності шумів на ПЗ визначається можливістю формування унімодальної ВФ. У відомих роботах відсутні оцінки впливу шумів різної інтенсивності на точність та імовірність прив'язки КЕСН на поверхнях різного фоново-об'єктового складу. Так само відсутні оцінки, які б визначали межі застосування відомих методів формування унімодальної ВФ в умовах різного фоново-об'єктового складу при застосуванні ДРФП. Це вимагає проведення додаткових досліджень щодо забезпечення високоточного наведення КЗП з КЕСН з розглянутих моделей опису зображень ПВ.

На відміну від стаціонарних локальні спотворення у відомих роботах практично не розглядалися та їх вплив на результат формування ВФ КЕСН глибоко не досліджувався.

У роботі [11] автором використовуються різні підходи до опису екрануючих спотворень природного і антропогенного характерів, які засновані на відмінності їх статистичних характеристик, однак після отримання зображення району прив'язки ста-

тистичні характеристики таких спотворень не мають важливого значення. При цьому важливими є інші характеристики спотворень, такі як розмір області спотворення, ступінь близькості до тих чи інших об'єктів або фонів.

Модель ПВ в умовах локальних спотворень так само може бути описана у рамках моделі процесу формування ВФ виходячи з виразів (1) (4).

Однак сама характеристика спотворень буде відрізнятися від (6).

При цьому у рамках сформованого зображення ПВ існують неспотворені та спотворені області. Для неспотворених областей зображення ПВ  $V_{ПВ}(i, j) = 1$ , а для спотворених –  $V_{ПВ}(i, j) \neq 1$ . Причому, згідно з [1, 3], спотворення здійснюються так, що окремі об'єкти частково або повністю можуть набувати ознак фонів, а також елементи фонів можуть набувати ознак об'єктів, що характеризує появу хибних цілей.

У такому випадку елемент зображення ПВ з локальними спотвореннями може описуватися таким виразом:

$$S'_{ПВ}(i, j) = \begin{cases} \sum_{v=1}^{V_1} F_{O_v}(i, j) + \sum_{w=1}^{W_1} F_{\Phi_w}(i, j), & \text{при відс. спотв.,} \\ \sum_{w=W_1+1}^W F_{O_w}(i, j), & \text{для } (i, j) \in (R_{\Phi_{W_1}}, \dots, R_{\Phi_W}), \\ \sum_{v=V_1}^V F_{\Phi_v}(i, j), & \text{для } (i, j) \in (R_{O_{V_1}}, \dots, R_{O_V}), \end{cases}$$

де  $\sum_{w=W_1+1}^W F_{O_w}(i, j)$  – характеризують елементи фонів зображення, які через спотворення набувають властивостей об'єктів;

$\sum_{v=V_1}^V F_{\Phi_v}(i, j)$  – характеризують елементи об'єктів зображення, які через спотворення набувають властивостей фонів.

Сама модель зображення ПВ з локальними спотвореннями буде мати вигляд:

$$S'_{ПВ} = \left\| \begin{cases} \sum_{v=1}^{V_1} F_{O_v}(i, j) + \sum_{w=1}^{W_1} F_{\Phi_w}(i, j), & \text{при відс. спотв.,} \\ \sum_{w=W_1+1}^W F_{O_w}(i, j), & \text{для } (i, j) \in (R_{\Phi_{W_1}}, \dots, R_{\Phi_W}), \\ \sum_{v=V_1}^V F_{\Phi_v}(i, j), & \text{для } (i, j) \in (R_{O_{V_1}}, \dots, R_{O_V}). \end{cases} \right\|$$

Локальні спотворення, які виникають на ПВ, будуть впливати на результат формування поточно-

го зображення. Причому вагомим буде вплив спотворень у тих ситуаціях, коли області спотворення співпадають з областями ПВ, які обрані для прив'язки КЕСН.

У таких випадках важливим є характер спотворень, який визначається зазначеною моделлю, розмір спотвореної області по відношенню до розмірів області прив'язки КЕСН та час існування спотворень.

## Висновки

Таким чином, розроблена сукупність моделей опису типових ПВ районів прив'язки КЕСН КЗП у залежності від зміни параметрів геофізичних полів Землі під впливом маскувальних, імітувальних перешкод, що призводять до структурних змін ПВ, а також при застосуванні противником заходів щодо зменшення помітності об'єктів прив'язки.

Розроблена сукупність моделей опису ПВ представлена як елемент моделі процесу формування комбінованої КЕСН, яка функціонує в умовах спотворення ПВ.

## Список літератури

1. Особенности боевого применения высокоточных средств поражения и способы повышения эффективности борьбы с ними / И.П. Кибалко; под общ. ред. Ю.Н. Черног. – Минск: 1034 ЦВВиИ, 2008. – 102 с.
2. Методичні рекомендації з організації та проведення маскування та ведення противника в оману в Повітряних Силах Збройних Сил України / Командування Повітряних Сил Збройних Сил України – Вінниця, 2014. – 78 с.
3. Высокоточное оружие: Электронный справочник. – Военная академия Республики Беларусь.

4. Сотников А.М. Оценка отражающих свойств наземных и воздушных объектов с пассивной защитой на основе композитных радиоизотопных покрытий / А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НГУ», 2009. – Вип. 1(9). – С. 70-74.

5. Сотников А.М. Исследование излучательных свойств наземных объектов с пассивной защитой на основе композитных радиоизотопных покрытий / А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко // Зб. наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 3(22). – С. 69-75.

6. Быков В.Н. Моделирование процесса функционирования высокоточной системы управления летательных аппаратов / В.Н. Быков // Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова. – К.: НАНУ. – 2004. – Вип. 25. – С. 3-12.

7. Белоглазов И.Н. Основы навигации по геофизическим полям / И.Н. Белоглазов, Г.И. Джанджжава, Г.П. Чигрин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 328 с.

8. Сотников А.М. Проблемы и перспективы развития навигационного обеспечения летательных аппаратов / А.М. Сотников, В.А. Таршин // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 3(36). – С. 68-74.

9. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных летательных аппаратов / Под. ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.

10. Баглицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баглицкий. – Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.

11. Щербинин В.В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов / В.В. Щербинин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 230 с.

Надійшла до редколегії 6.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОПИСАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ВИЗИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ИСКАЖЕНИЯ

В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко

Получена совокупность моделей описания типичных поверхностей визирования районов привязки корреляционно-экстремальных систем наведения в зависимости от изменения параметров геофизических полей Земли под воздействием маскировочных, имитирующих помех, а также при применении противником мероприятий по уменьшению заметности объектов привязки, которые приводят к структурным изменениям поверхности визирования. Разработана совокупность моделей описания изображений поверхности визирования, которая представлена как элемент модели процесса формирования комбинированной корреляционно-экстремальной системы наведения, которая функционирует в условиях искажения поверхности визирования.

**Ключевые слова:** корреляционно-экстремальная система наведения, управляемое средство поражения, поверхность визирования.

## DEVELOPMENT MODELS DESCRIPTION IMAGES OF SURFACE BORESIGHTING IN THE CONDITIONS ITS DISTORTION

V.A. Tarshyn, A.M. Sotnikov, R.G. Sydorenko

The aggregate of models description typical surfaces boresighting districts of attachment cross-correlation-extreme navigation system depending on the change of parameters geophysical fields Earth is got under act camouflage, imitating hindrances, and also at application of measures an opponent on diminishing noticeableness of objects attachments which result in structural changes the surface boresighting. The aggregate of models description images surface boresighting, which is presented as an element of model process forming of the combined cross-correlation-extreme navigation system, which functions in the conditions distortion surface boresighting, is developed.

**Keywords:** cross-correlation-extreme navigation system, guided decimator, surface boresighting.