

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ, СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК, ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ, ДЕСАНТНО-ШТУРМОВИХ ВІЙСЬК ТА ІНШИХ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ

УДК 681.324

¹Бекіров Алі Енверович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-6155-0597>

¹Бойко Микола Михайлович

<https://orcid.org/0000-0003-3671-3486>

¹Корепанов Василь Вячеславович

<https://orcid.org/0000-0002-6006-9312>

²Радько Олег Віталійович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ОПТИКО-ЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ

У статті розглядається актуальне питання підвищення ефективності бортового прицільного обладнання винищувальних повітряних суден в умовах ближнього маневреного бою. Проводиться аналіз існуючих напрямків покращення характеристик засобів виявлення та супроводження повітряних цілей. Проводиться розрахунок характеристик квантової оптико-локаційної станції КОЛС-29 літака МіГ-29. На основі отриманих результатів проводиться аналіз ефективності рішення задачі прицілювання у ближньому маневреному бою. Будується імітаційна модель перспективної оптико-локаційної станції та проводиться оцінювання її тактико-технічних характеристик.

Ключові слова: КОЛС-29, обробка зображень, зона огляду, кутові координати.

Вступ

Сьогодні авіація залишається одним із найпотужніших засобів для здійснення уражень противника. Ефективність здійснення таких завдань пов'язана, в тому числі, з можливостями повітряних суден по протидії засобам ППО противника, а також по веденню дієвого повітряного бою. Сучасні напрямки розвитку бортового обладнання винищувальної авіаційної техніки передбачають збільшення дальності виявлення та ураження повітряних цілей. Це дозволяє уникати зустрічі з противником у ближньому маневреному бою та здійснювати ураження цілей поза зоною їх приладової видимості. Але в той же час, досвід останніх збройних конфліктів показує, що навіть в умовах значної переваги у чисельності парку винищувальної авіації та її технічних характеристик, ближній маневрений бій залишиться актуальним [1].

Застосування авіаційних засобів ураження в ближньому маневреному бою потребує швидкодіючого бортового обладнання виявлення та супроводження повітряних цілей. Актуальним

напрямок розробки нових та модернізації існуючих систем прицілювання є застосування методів цифрової обробки зображень, сформованих в інфрачервоному та видимому діапазоні [2].

Матеріали та методи

Останні дослідження в області підвищення ефективності застосування авіаційних засобів ураження в ближньому маневреному бою присвячені, в тому числі, розробці перспективних нашоломних систем цілевказівки (НСЦ). Одночасно з виведенням комплексної прицільної інформації, НСЦ дозволяють формувати лінію візування повітряної цілі льотчиком з подальшим перерахунком положення цілі в літакову систему координат та передачу отриманих даних в бортову систему управління озброєнням [3-4].

Іншим напрямком досліджень є розробка бортових оптичних локаційних станцій, які одночасно працюють в оптичному та інфрачервоному діапазоні. Телевізійна та тепловізійна камера виконують однакову функцію – сканують закабінний простір з метою виявлення повітряних цілей. Застосування методів цифрової

обробки для аналізу сформованих зображень дозволяє не тільки здійснювати супроводження та визначення координат повітряних цілей але й здійснювати розпізнавання типів літальних апаратів [5-6].

Для оптико-локаційних станцій, які є на озброєнні винищувальної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України критичними є характеристики, які визначають максимальні та мінімальні дальності виявлення та швидкості супроводження цілей.

Мета статті - провести порівняльний аналіз характеристик квантової оптико-локаційної станції КОЛС-29 та імітаційної моделі перспективної оптико-локаційної станції.

Результати

Вимоги до тактико-технічних характеристик бортового прицільного обладнання критично підвищуються в умовах ведення ближнього маневреного бою. Ближній маневрений бій характеризуються швидкою зміною обстановки і відносно невеликими відстанями між повітряним судном і ціллю. З позиції виконання завдання виявлення і супроводження, функціонування бортового прицільного обладнання здійснюється в умовах динамічних змін взаємного положення винищувача і цілі [7].

Кутова швидкість ω_t цілі відносно винищувача при взаємному русі з різницею курсів $\Delta\varphi = \pm 90^\circ$ (рис.1) без врахування власної швидкості повітряного судна можливо розрахувати на основі виразу:

$$\omega_t = \frac{V_t \cdot \alpha}{d \sqrt{2} \cdot \cos \alpha}$$

Тут V_t - швидкість цілі, α - зона огляду бортового прицільного обладнання по азимуту, d - дальність до цілі, S - шлях, який проходить ціль за час t .

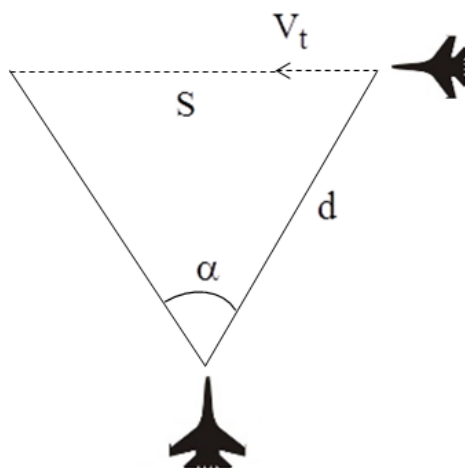


Рисунок 1. Схема взаємного положення винищувача і повітряної цілі

На рис 2. наведено графік залежності дальності до цілі та кутової швидкості повітряної цілі при умові руху цілі зі швидкістю $V_t = 400$ км/год.

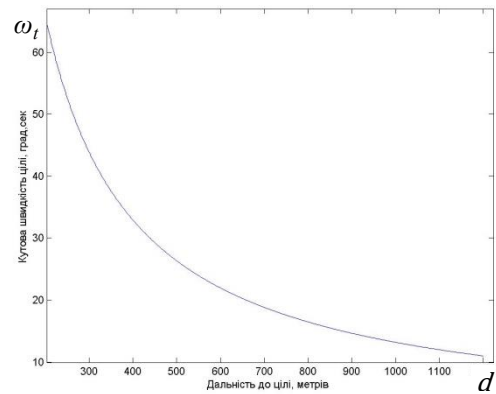


Рисунок 2. Залежність кутової швидкості повітряної цілі від дальності

З аналізу значень графіку на рис. 2 можна зробити висновок, що кутова швидкість повітряної цілі у ближньому маневреному бою приймає значення, що забезпечує проходження максимальної зони огляду бортового обладнання за короткий проміжок часу. Для випадку застосування квантової оптико-локаційної станції при супроводженні цілі, максимальна кутова швидкість лінії візування цілі в режимі автосупроводження складає 30 градусів за секунду. Відповідно до значень на графіку при визначених курсах, зрив автосупроводження цілі буде здійснюватись на дальності приблизно 450 метрів. Для запобігання зриву необхідно забезпечити додаткове маневрування повітряним судном, що створює додаткове навантаження на льотчика [8].

На рис. 3 представлено графік залежності часу проходження повітряною ціллю зони огляду бортового прицільного обладнання по азимуту ($\alpha = \pm 30^\circ$) від дальності до неї.

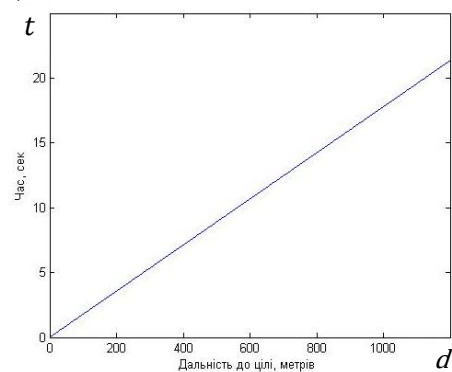


Рисунок 3. Залежність часу проходження зони огляду від дальності до цілі

Джерело: розроблено авторами

Значення результатів розрахунків показують, що при відстані до 400 метрів час проходження повітряною ціллю всієї зони огляду винищувача приймає значення менше 5 секунд. Враховуючи, що тривалість циклу повного огляду квантової оптико-локаційної станції КОЛС-29 складає $t_l = 2,5$ секунди, ймовірність виявлення повітряної цілі в таких умовах є незначною.

Зона огляду α по азимуту формується шляхом

механічного відхилення скануючого дзеркала у горизонтальній площині. Для оптичного каналу КОЛС-29 з фокусною відстанню $f=87$ мм та оптичним діаметром $d_m=82$ мм, значення кутового поля α_m буде дорівнювати:

$$\alpha_m = 2 \arctg \frac{d_m}{2f} \cdot \frac{\pi}{180} = 0,4 \text{ (град.)}$$

Кутові значення зони огляду КОЛС-29 обмежені по азимуту $\alpha = \pm 30^\circ$, по куту місця $\beta = \pm 15^\circ$. В цьому випадку площа простору, в якій здійснюється пошук цілі в передній напівсфері винищувача буде дорівнювати:

$$S = 4 \cdot d \cdot \text{tg}(\alpha) \cdot \text{tg}(\beta) \text{ (м)},$$

де d - дальність до перетину проекції повздожної вісі повітряного судна до площини.

На рис 4. представлено графік залежності площі зони огляду квантової оптико-локаційної станції від дальності до потенційної цілі з координатами $\alpha=0^\circ, \beta=0^\circ$.

На основі аналізу проведених оцінок ефективності функціонування бортових прицільних пристроїв при рішенні задач виявлення цілей в умовах ближнього маневреного повітряною бою виявлено наступні обмеження:

- обмежена зона огляду простору при рішенні задачі виявлення та супроводження повітряної цілі;
- недостатня кутова швидкість лінії візування цілі, яка значно менше кутової швидкості повітряної цілі на визначених курсах в ближньому маневреному бою;
- значна тривалість повного циклу огляду зони.

Для локалізації виявлених обмежень пропонується спроектувати та провести оцінювання моделі оптико-локаційної станції із застосуванням методів цифрової обробки зображень.

Значний розвиток програмних та апаратних засобів, а також розробка нових методів та алгоритмів машинного розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях сприяє покращенню характеристик бортового прицільного обладнання в оптичному та інфрачервоному спектрі випромінювання. Особливості ведення ближнього

маневреного бою з візуальним контактом з повітряною цілю дозволяє використовувати цифрові зображення закабінного простору в передній напівсфері повітряного судна для виявлення цілей [9].

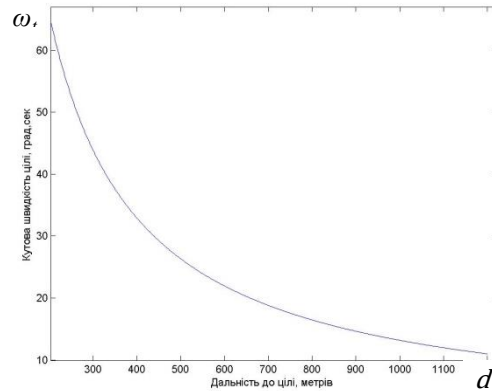


Рисунок 4. Залежність площі зони огляду квантової оптико-локаційної станції від дальності до потенційної цілі з координатами $\alpha=0^\circ, \beta=0^\circ$.

Сучасні методи машинного розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях засновані на детектуванні границь однорідних областей, що відповідає контурам об'єктів. Обробка цифрового зображення передбачає застосування ковзаючого двомірного фільтра з різними коефіцієнтами. Найбільш розповсюдженими є оператори Собеля, Прюїта, Робертса та Канні, які відрізняються коефіцієнтами двомірного фільтра. Вихідними даними зображення після обробки оператором є двомірна матриця, значення елементів якої показують градієнт яскравості для елементів вихідного зображення. Наступний етап обробки передбачає здійснення бінарзації вихідного зображення з різним порогом чутливості, що відповідає ступеню чіткості контурів об'єкту [10].

Для проведення оцінювання ефективності з використанням методів машинного розпізнавання, при рішенні задач виявлення візуально видимих цілей в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink побудовано модель оптико-локаційної станції. Модель станції представлена на рис. 5.

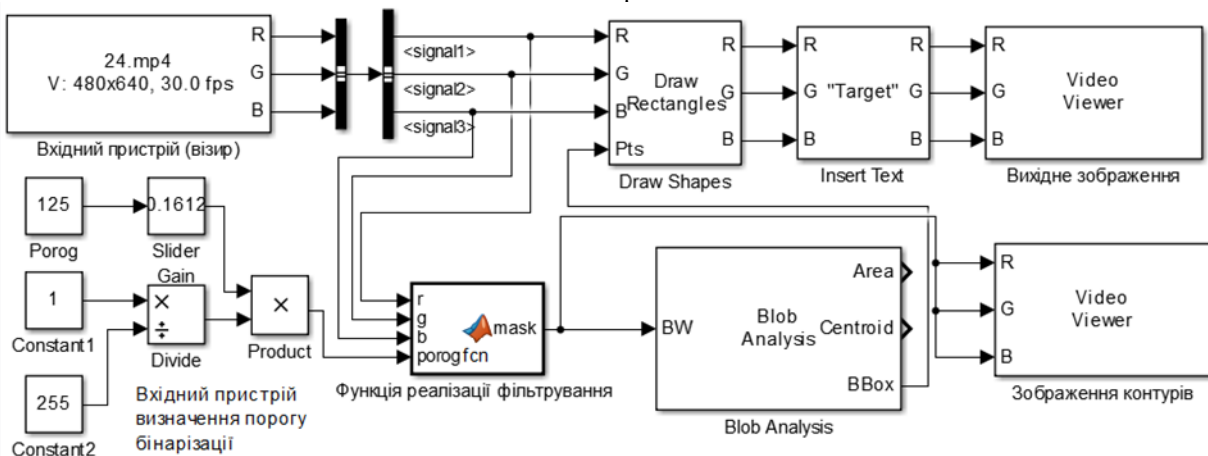


Рисунок 5. Модель оптичної локаційної станції

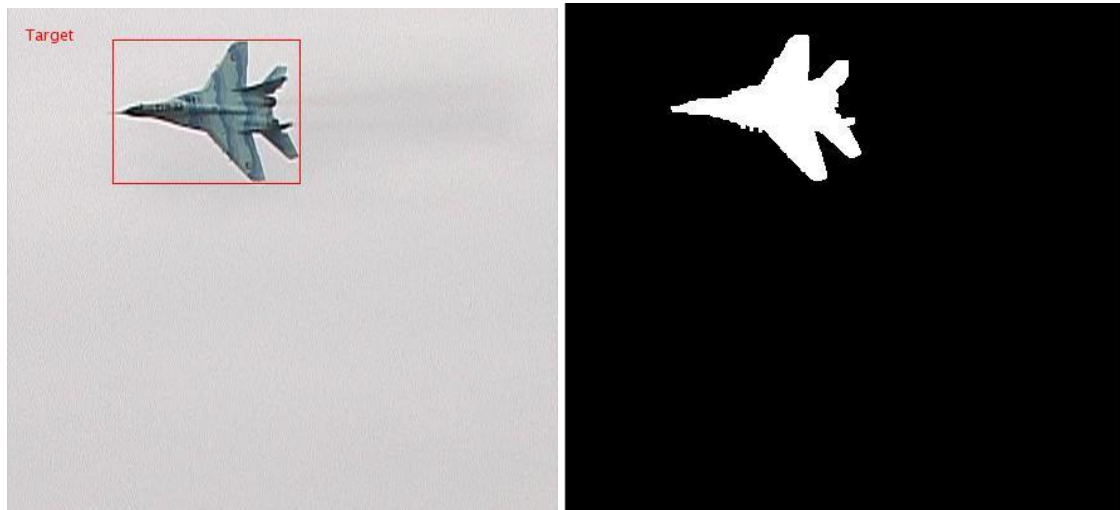
При побудові моделі використовуються набори алгоритмів обробки із пакету розширення Image Processing Toolbox. Модель включає наступні функціональні частини:

- вхідний пристрій, призначений для зчитування файлу з потоком статичних зображень і представленням його у вигляді трьох окремих кольорових компонент;
- вхідний пристрій визначення порогу, який здійснює визначення ступеню бінаризації вхідного зображення після фільтрації;
- функція реалізації фільтрування, яка здійснює обробку вхідного зображення оператором Собеля по кожній кольоровій компоненті окремо;
- вихідне зображення, на якому візуалізується детектована повітряна ціль.

При проведенні розрахунків оцінки ефективності запропонованої моделі оптичної локаційної станції у якості вхідного відеоінформаційного ресурсу використовується потік динамічних зображень, сформованих приймальним пристроєм з наступними характеристиками (Nikon KeyMission 170):

- фокусна відстань - 2,4 мм;
- кут огляду по азимуту – 170°;
- кут огляду по - 120°;
- розрізняльна здатність - 4096×3072 елементів.

На рис. 6 зображено результати виявлення повітряної цілі на основі детектування границь однорідних областей цифрового зображення кабінного простору повітряного судна.



а б
Рисунок 6. Візуалізація результатів виявлення :
а – повітряна ціль; б – контури повітряної цілі

Час обробки одного кадру вхідного динамічного відеопотоку, що відповідає тривалості циклу повного огляду простору, на ПЕОМ (тактова частота процесора 1,6 ГГц, ОЗУ-1024 Мб) дорівнює $t_2=9,8 \cdot 10^{-6}$ с.

З врахуванням збільшеної зони огляду, у порівнянні з КОЛС-29, пропонується розрахувати швидкість сканування повної зони огляду v за формулою (1). Швидкість сканування в даному випадку вимірюється у градусах за секунду та визначається за формулою:

$$v = \frac{\alpha \cdot \beta}{t} = \frac{(\alpha_{max} + \alpha_{min}) \cdot (\beta_{max} + \beta_{min})}{t} = 720. \quad (1)$$

Швидкість сканування для моделі оптичної локаційної станції для приймального пристрою із зазначеними характеристиками буде приймати значення:

$$v = \frac{\alpha \cdot \beta}{t} = 2,08 \cdot 10^9.$$

Тепер пропонується провести розрахунок значення кутового поля α_m для моделі оптичної локаційної станції. Для розрахунку значення α_m необхідно визначити, яке кутове поле припадає на один елемент просторового представлення зображення по азимуту на основі виразу (2):

$$\alpha_m = \frac{\alpha}{N} = \frac{170}{4096} = 0,041. \quad (2)$$

Значення α_m вимірюється у градусах на елемент просторового представлення зображення.

Обговорення

На основі порівняльного аналізу характеристик імітаційної моделі оптичної локаційної станції та КОЛС-29 можна зробити висновок, що у разі використання оптичних приймачів з прийнятними характеристиками, досягається значна перевага по наступних показниках: розмір зони огляду простору, кутова швидкість лінії візування, час

повного циклу огляду простору та розрізнявальна здатність по кутових координатах.

Висновки

В статті розглянуто актуальний напрямок покращення характеристик бортових оптичних засобів виявлення повітряних цілей у ближньому маневреному бою.

Розглянуто сучасні напрямки покращення характеристик бортових оптичних засобів виявлення і супроводження повітряних цілей: розробку нашоломних систем цілевказівки та цифрова обробку телевізійних та тепловізійних зображень.

Проведено розрахунок характеристик квантової оптико-локаційної станції КОЛС-29 літака МіГ-29. На основі аналізу отриманих результатів визначено, що в умовах ближнього маневреного бою, значення зони огляду, кутових швидкостей супроводження цілей та часу циклу повного огляду простору не повною мірою забезпечують вимоги щодо ефективного ураження повітряних цілей.

Для оцінювання ефективності використання методів машинного розпізнавання при виявленні об'єктів в умовах візуальної видимості спроектовано та побудовано математичну імітаційну модель оптико-локаційної станції в середовищі Simulink.

Проведено оцінювання характеристик імітаційної моделі оптичної локаційної станції. На основі результатів проведеного порівняльного аналізу виявлено перевагу перспективної оптико-локаційної станції відносно КОЛС-29 за наступними показниками: розмір зони огляду простору, кутова швидкість лінії візування та час повного циклу огляду простору.

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації щодо застосування підрозділів ЗС України в АТО : метод. посіб. / За

редакцією А.М. Алімпієва. – Харків: ХУПС, 2014. Випуск № 1-2014 р. – 131 с.

2. Логінов В.В., Ященко В.Ж., Березанський В.Г., Кав'юк В.В., Фененко О.О. Досвід та особливості застосування авіації Повітряних Сил Збройних Сил України при проведенні антитерористичної операції – Харків, 2016. – С. 2.

3. Белоусов В.В., Тузіков С.А., Кузнецов О.Л., Лукашук О.В., Олещук М.М. Визначення характеристик відбивання та розсіювання міліметрових хвиль поверхнею літака в режимах активної радіолокації та пасивної радіотеплолока-ції. Системи озброєння і військова техніка. 2021. № 1(65). С. 60-69. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.08>.

4. Розрахунок і конструювання оптико-електронних приладів : навч. посібник / А. С. Литвиненко, Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бе-кетова, 2021. – 139 с. ISBN 978-966-695-558-9.

5. Айвазян С.А. Комплексная автоматизированная визирная система перспективных авиационных комплексов / С.А. Айвазян //Двойные технологии. и др. – 2013. – № 3. – С. 57-59.

6. Калашник-Рибалко М.А., Калашник Г.А. Удосконалення методу синтезу оптимально розподіленої структури інтегрованого комплексу бортового обладнання літального апарату за показниками функціональної стійкості. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 1(42). С. 34-40. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.05>.

7. Система управління озброєнням МіГ-29. Під ред. Войчука.- К: КВВАІУ, 2001р.

8. Суханов О.Ю. Методика вимірювання дальності до цілі при відмові лазерного далекоміра літака-винишувача МіГ-29 / О.Ю. Суханов, А.Е. Бекіров, О.М. Баранік, І.О. // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 4(60). – С. 47-52.

9. Гонсалес Р.С. Числова обробка зображень / Р.С. Гонсалес, С.Л. Еддинс – Москва: Техносфера, 2005. – 680 с. – ISBN 5-94836-028-8.

10. М. Шлезингер, В. Главач. Десять лекцій по статистическому и структурному распознаванию // Киев, Наукова думка, 2004. 536 с.

EVALUATION OF THE SIMULATION MODEL CHARACTERISTICS OF THE PROSPECTIVE OPTICAL LOCATION STATION

¹Ali Bekirov (candidate of technical sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-6155-0597>

¹Mykola Boyko

<https://orcid.org/0000-0003-3671-3486>

¹Vasyl Korepanov

<https://orcid.org/0000-0002-6006-9312>

²Oleg Radko (candidate of technical sciences, associate professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

¹*Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

²*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

The article deals with the topical issue of improving the effectiveness of on-board aiming equipment of fighter aircraft in the conditions of close maneuvering combat. An analysis of existing directions for improving the characteristics of air targets detecting and tracking means is carried out. The calculation of the characteristics of the quantum optical location station KOLS-29 of the MiG-29 aircraft is carried out. On the basis of the obtained results, an analysis of the effectiveness of the solution to the aiming problem in close maneuvering combat is carried out. A simulation model of a promising optical location station is being built and its tactical and technical characteristics are being evaluated.

Keywords: KOLS-29, image processing, viewing area, angular coordinates.

References

1. Metodichni rekomendatsiyi schodo zastosuvannya pidrozdiliv ZS Ukraini v ATO : metod. posib. / Za redaktsiEyu A.M. AllimpIEva. – Harkiv: HUPS, 2014. Vipusk № 1-2014 r. – 131 s.
2. LogInov V.V., Yaschenok V.Zh., Berezanskiy V.G., Kav'yuk V.V., Fenenko O.O. Dosvid ta osoblivosti zastosuvannya avlatsiyi Povitryanih Sil Zbroynih Sil Ukraini pri provedenni antiteroristichnoyi operatsiyi – Harkiv, 2016. – S. 2.
3. Belousov V.V., Tuzikov S.A., Kuznetsov O.L., Lukashuk O.V., Oleschuk M.M. Vznachennya charakteristik vidbivannya ta rozsluyuvannya millimetrovih hvil poverhneyu litaka v rezhimakh aktivnoyi radiolokatsiyi ta pasivnoyi radioteploloka-tsiyi. Sistemi ozbroenyya i vlyskova tehnika. 2021. № 1(65). S. 60-69. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.65.08>.
4. Rozrahunok i konstruyuvannya optikoelektronnih priladiv : navch. posibnik / A. S. Litvinenko, G. O. Petchenko, O. M. Lyashenko, O. M. Didenko ; Harkiv. nats. un-t mIsk. gosp-va im. O. M. Beketova. – Harkiv : HNUMG im. O. M. Beketova, 2021. – 139 s. ISBN 978-966-695-558-9
5. Ayvazyan S.A. Kompleksnaya avtomatizirovannaya vizirnaya sistema perspektivnyih aviatsionnyih kompleksov / S.A. Ayvazyan // Dvoynye tehnologii. i dr. – 2013. – №. 3. – S. 57-59.
6. Kalashnik-Ribalko M.A., Kalashnik G.A. Udoshkalennya metodu sintezu optimalno rozpodlenoYi strukturi Integrovanogo kompleksu bortovogo obladdannya litalnogo aparatu za pokaznikami funktsionalnoYi stlykostI. Nauka i tehnika Povitryanih Sil Zbroynih Sil Ukraini. 2021. № 1(42). S. 34-40. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.05>.
7. Sistema upravlinnya ozbroenyyam MIG-29. Pid red. Voychuka.- K: KVVAIU, 2001r.
8. Suhanov O.Yu. Metodika vimiryuvannya dalnosti do tsiliv pri vidmovi lazernogo dalekomira litaka-vinischuvacha MIG-29 / O.Yu. Suhanov, A.E. Bekirov, O.M. Baranik, I.O. // Sistemi ozbroenyya i vlyskova tehnika. – 2019. – № 4(60). – S. 47-52.
9. Gonsales R.S. Chislova obrobka zobrazen / R.S. Gonsales, S.L. Eddins – Moskva: Tehnosfera, 2005. – 680 s. – ISBN 5-94836-028-8
10. M. Shlezinger, V. Glavach. Desyat lektsiy po statisticheskomu i strukturnomu raspoznavaniyu // Kiev, Naukova dumka, 2004. 536 s.