

О.Ю. Суханов, А.Е. Бекіров, І.О. Максимов

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ ПРИ ВІДМОВІ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЕКОМІРА ЛІТАКА-ВИНИЩУВАЧА МІГ-29

У статті розглядається актуальне питання визначення дальності до повітряних цілей. Аналізується робота локаційного та навігаційного обладнання для визначення шляхової швидкості літака та граничних кутових координат цілі. Проводиться аналіз недоліків лазерного далекоміра квантової оптико-локаційної станції літака МіГ-29 при визначенні параметрів повітряної цілі. Для усунення розглянутих недоліків пропонується напрямок, який передбачає розробку методики визначення дальності до візуально видимої повітряної цілі на основі врахування взаємного положення цілі та літака. Сформульовані основні вирази для обчислення дальності до цілі на основі параметрів, які визначаються бортовим обладнанням.

Ключові слова: лазерний далекомір, дальність до цілі, квантова оптико-локаційна станція.

Вступ

Постановка проблеми. До теперішнього часу актуальним залишається питання визначення дальності до повітряних цілей. Існує ряд основних недоліків бортових засобів визначення дальності до цілі. Насамперед це обмежений час роботи обладнання. В статті розглядається альтернативна методика визначення дальності до цілі на основі існуючого бортового обладнання.

Методика заснована на використанні інформації про пройдений шлях, яка отримується при інтегруванні прискорень по трьом площинам від інформаційного комплексу вертикалі та курсу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досвіду застосування літаків-винищувачів Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗСУ) в умовах інтенсивної експлуатації із застосуванням системи управління озброєння показує, що для забезпечення ефективного виконання завдання прицілювання та застосування авіаційних засобів ураження (АЗУ) необхідно забезпечити своєчасне визначення параметрів цілі з високою точністю.

Серед основних завдань системи управління озброєнням літака-винищувача є: пошук, виявлення та захоплення цілі, визначення параметрів з подальшим застосуванням АЗУ. Для забезпечення виконання вказаних завдань бортове обладнання повітряного судна (ПС) включає системи та комплекси, на основі яких вирішується завдання забезпечення АЗУ інформації про цілі. Функціонування бортового обладнання розглядається на основі роботи прицільного обладнання системи управління озброєння літака МіГ-29 [1].

Обладнання визначення параметрів повітряної цілі в даному випадку представляється наступними комплексами:

1. Радіолокаційний прицільний комплекс РЛПК-29.

2. Квантова оптико-локаційна станція КОЛС - 29 у складі оптико-електронної прицільної системи.

Радіолокаційний прицільний комплекс РЛПК -29 призначений для автоматичного виявлення, виміру координат при супроводженні на проході повітряних цілей, автоматичного або ручного захвату та безперервного супроводження однієї цілі на основі використання радіолокаційних сигналів. Застосування РЛПК-29 супроводжується випроміненням потужного імпульсного сигналу в діапазоні СВЧ. З одного боку застосування РЛПК забезпечує виявлення цілей на великих відстанях. З іншого боку, робота РЛПК значно знижує радіолокаційну помітність ПС [2–3].

Іншим засобом виявлення повітряних цілей у складі системи управління озброєння літака МіГ-29 є квантова оптико-локаційна станція КОЛС-29, яка призначена для:

1) автономного всеракурсного пошуку та виявлення повітряних цілей в зоні огляду розмірами по азимуту 60° та по куту місця 30° з часом повного циклу 2,5 с. (рис. 1–2);

2) автоматичного супроводження та виміру кутових координат повітряних цілей по азимуту в межах $\pm 30^\circ$, по куту місця від -15° до $+30^\circ$;

3) визначення дальності до повітряних цілей (з вірогідністю правильного виміру 0,92) - від 0,3 до 3 км з точністю $\delta=3$ м; до наземних цілей – від 0,3 до 5 км з точністю $\delta=10$ м [7].

Виявлення та вимір координат ПЦ у КОЛС-29 заснований на прийманні власного інфрачервоного випромінення об'єктів.

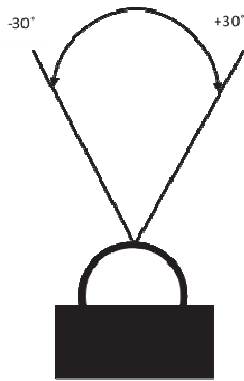


Рис. 1. Зображення граничних кутів виявлення цілі КОЛС-29 по азимуту

Тобто фактично що квантова оптико-локаційна станція КОЛС-29 є пасивним пристроєм. Для виміру дальності цілі у складі КОЛС-29 використовується лазерний далекомір (ЛД), який забезпечує врахування часу затримки когерентного лазерного імпульсу між моментами часу випромінювання та приймання сигналу далекоміром [6; 12].

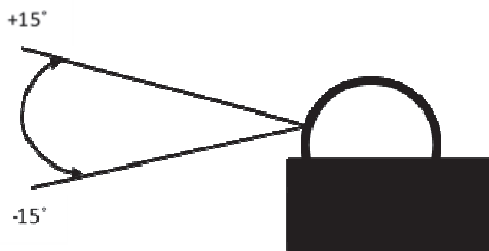


Рис. 2. Зображення граничних кутів виявлення цілі КОЛС-29 по куту місця

Досвід застосування лазерного далекоміра в умовах довготривалого пошуку та виявлення цілей показав наступні проблемні недоліки [9]:

1. Обмежений час напрацювання на відмову, який пов'язаний з функціонуванням лазерного далекоміра на граничних температурних режимах.
2. Обмежений час безперервної роботи лазерного далекоміру у черговому режимі та режимі визначення дальності.
3. Значне зниження дальності, яка може бути виміряна ЛД в складних метеоумовах при значній щільності гідрометеорів.

В той же час, ефективність вирішення задачі застосування АЗУ в першу чергу пов'язана з інформаційним забезпеченням системи управління зброєю (СУЗ) інформації про дальність до цілі. Це пов'язано з тим, що зняття дозволу на пуск керованих ракет у СУЗ відбувається тільки у випадку, коли дальність до цілі менша граничної дальності польоту ракети. Іншими словами, необхідно забезпечити виконання наступної умови:

$$D_u \leq D_{\max}, \quad (1)$$

де D_u – поточна дальність до цілі;

D_{\max} – максимальна дальність польоту ракети.

Враховуючи сформульовані обмеження при функціонуванні ЛД одночасно в умовах високої значимості інформації про дальність до цілі, актуальним напрямком є розробка альтернативної технології вимірювання дальності до повітряних цілей [4].

Мета статті – розробка технології вимірювання дальності до цілі при відмові лазерного далекоміру літака-винищувача МіГ-29.

Виклад основного матеріалу

У складі бортового обладнання літака МіГ-29 є системи, які забезпечують визначення висотно-швидкісних параметрів. Основним вимірювачем навігаційної інформації є інформаційний комплекс вертикалі і курсу ІК-ВК-80-6, який визначає кути крену, тангажу та курсу, складових абсолютної лінійної швидкості літака по трьох осях. До складу ІК-ВК-80-6 входить блок управління та зв'язку БУС-3, який виконує інтегрування значень лінійних прискорень для отримання складових лінійних швидкостей V_x , V_y та V_z по трьох осях на основі виразів:

$$V_x = V_{x0} + \int_0^t a_x(t) dt;$$

$$V_y = V_{y0} + \int_0^t a_y(t) dt;$$

$$V_z = V_{z0} + \int_0^t a_z(t) dt,$$

де V_{x0} , V_{y0} та V_{z0} – початкові значення складових лінійних швидкостей, які відповідають точці вильоту.

Розраховані на основі інтегрування значення лінійних швидкостей передаються у вигляді біполярного двійкового 32-розрядного коду бортовим користувачам. В той же час КОЛС-29 забезпечує вимірювання кутового положення повітряної цілі по азимуту ϕ_y та куту місця ϕ_z на основі врахування напруги розузгодження U_{ϕ_y} та U_{ϕ_z} датчиків кутового положення скануючого дзеркала. Значення напруги U_{ϕ_y} та U_{ϕ_z} перетворюється у двійковий вигляд у блоці цифрових перетворювачів та передаються до бортової обчислювальної машини для вирішення задач прицілювань [8].

На основі зазначених параметрів, які визначаються за допомогою бортового обладнання, пропонується розробити автономну технологію визначення дальності до повітряної цілі в умовах відмови лазерного далекоміру. Механізм роботи технології пропонується розглядати на прикладі визначення

дальності при граничному куті положення цілі відносно літака $\alpha_2 = -30^\circ$. На рис. 3 зображено літак Q_{t_0} в момент часу t_0 до початку маневру для визначення дальності та той самий літак Q_{t_1} в момент часу t_1 після закінчення маневру. Положення літака в момент часу t_0 характеризується граничним кутом азимуту α_2 , визначеному на основі квантової оптико-локаційної станції КОЛС-29 [11]. Положення літака в момент часу t_1 характеризується кутом азимуту α_1 . При цьому, завданням пілотування літального апарату є виконання переміщення літака з точки простору C в точку простору Z без зміни проекції дальності D до цілі таким чином, щоб відрізки OP та KH були еквівалентні $OP \approx KH$. Положення цілі R_{t_0} в момент початку маневру та цілі R_{t_1} характеризується точками простору відповідно P та H . Проекцію дальності до цілі D пропонується розглядати через рівнобедрений трикутник ΔBPC , тут кути $\angle PBC = \angle PCB = 30^\circ$, $PBC=PCB=30^\circ$. Основа BC трикутника ΔBPC представляється як шлях S_x , пройдений літаком з моменту часу t_0 до моменту часу t_1 по осі O_x [10].

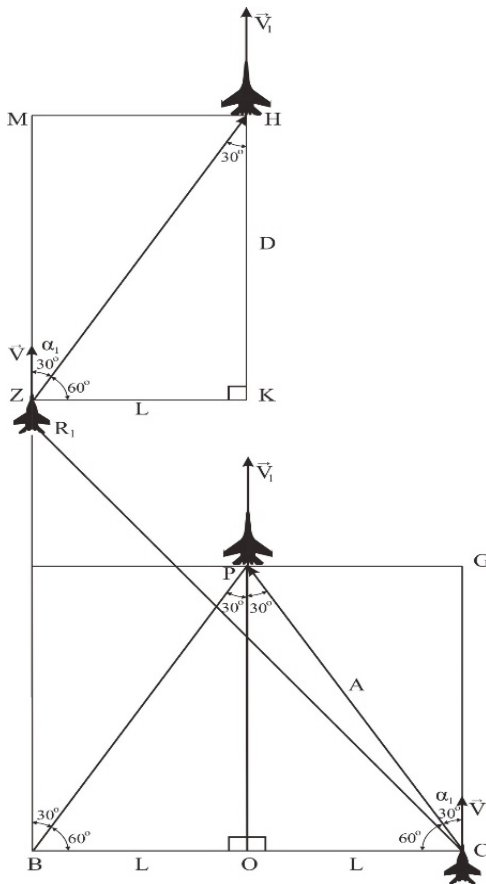


Рис. 3. Схематичне зображення автоматичного методу вимірювання дальності до цілі після маневру

Відстань BC обчислюється шляхом інтегрування значень миттєвої швидкості V_x між моментами часу t_0 та t_1 , отриманих основі інформаційного комплексу вертикалі і курсу ІК-ВК-80-6 по формули:

$$BC = S_x = \int_{t_0}^{t_1} V_x(t) dt, \quad (2)$$

- де S_x – переміщення по осі O_x ;
- V_x – швидкість руху по осі O_x ;
- t_0 – час початку маневру;
- t_1 – час закінчення маневру.

Розглянемо рівнобедрений трикутник ΔBCP : кути PBC та PCB – рівні, за відомими кутами, на основі вимірювання граничних кутів азимуту в лівому α_1 та правому α_2 положенні ПС, до початку маневру та після його виконання. На основі властивостей рівнобедреного трикутника - висота трикутника є бісектрисою та медіаною, значить відрізки BO та OC еквівалентні і можуть бути розраховані на основі формули:

$$L = BO = OC = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} V_x(t) dt. \quad (3)$$

Тепер розглянемо трикутник ΔZKH , який дорівнює трикутнику ΔBOP (еквівалентність за трьома кутами): він є прямокутним, тому що відрізок PO є бісектрисою, яка ділить розгорнутий кут $\angle PCB$ навпіл. Скористаємось означенням тангенсу для визначення висоти $D = OP = KH$ трикутника, яка уявляє собою проекцію дальності до цілі:

$$tg 60^\circ = \frac{D}{L}. \quad (4)$$

Перепишемо формулу (4) для отримання рівняння розрахунку величини відрізка D :

$$D = tg 60^\circ L. \quad (5)$$

Представимо формулу (5) з врахуванням формули (3). Звідси вираз для отримання D буде мати наступний вигляд:

$$D = \frac{\sqrt{3}}{2} \int_{t_0}^{t_1} V_x(t) dt. \quad (6)$$

Для розрахунку реальної дальності до цілі ZK використовується теорема Піфагора:

$$ZK = \sqrt{D^2 + L^2}.$$

Таким чином, на основі запропонованої технології можливо здійснити розрахунок дальності до цілі на основі існуючого бортового обладнання при відмові лазерного далекоміру квантової оптико-локаційної станції. З іншого боку, точність визначення дальності буде напряму залежати від здатнос-

ті льотчика візуально зберігати однаковою відстань до цілі в процесі маневру.

Висновки

Проведено аналіз бортових засобів визначення дальності до цілі. Серед основних недоліків існуючого обладнання є обмежений час роботи. Відмова лазерного далекоміру квантової оптико-локаційної станції створює умови, при яких не можливо застосувати авіаційні засоби ураження.

Запропоновано альтернативну методику визначення дальності на основі існуючого бортового обладнання.

Методика заснована на використанні інформації про пройдений шлях, яка отримується при інтегруванні прискорень по трьом площинам від інформаційного комплексу вертикалі та курсу.

Іншим параметром, який використовується в технології є азимутальні кути положення цілі відносно літака. Азимут цілі визначається на основі квантової оптико-локаційної станції. Методика передбачає виконання геометричних розрахунків з використанням визначених параметрів до виконання маневру пілотом та після нього.

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України “Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України № 343 від 05.07.2016” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1101-16/ed20160705>.
2. Суханов О.Ю. Бортові радіонавігаційні пристрої та системи. Ч. 1 / О.Ю. Суханов, В.Ж. Яценюк. – Х.: ХУПС, 2013. – 89 с.
3. Суханов О.Ю. Бортові радіонавігаційні пристрої та системи. Ч. 2. / О.Ю. Суханов, В.Ж. Яценюк, А.О. Красноручий. – Х.: ХУПС, 2015. – 280 с.
4. Климченко В.Й. Можливі варіанти використання авіаційних комплексів дальнього радіолокаційного виявлення і управління у Збройних Силах України / В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, О.М. Колеснік // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2012. – № 2(31). – С. 69-74.
5. Кириченко А.М. Вплив похибок азимутального виставлення інерціальних навігаційних систем на точність визначення навігаційних параметрів / А.М. Кириченко, А.В. Кучинська, С.Ю. Маренич // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2013. – № 1(34). – С. 69-73.
6. Меркулов В.И. Синтез оптимального комплексного радиолокационно-оптического измерителя при сопровождении воздушных целей / В.И. Меркулов, И.В. Забелин // Научные технологии. – 2009. – № 9(10). – С. 52-58.
7. Анализ зависимости зоны засветки приемника от параметров атмосферы и лазерного локатора в УФ спектральном диапазоне / П.А. Филимонов, М.Л. Белов, В.А. Городничев, С.Е. Иванов // Наука и образование. – 2016. – № 3. – С. 153-162.
8. Пискунов С.М. Імовірнісний фільтр супроводження цілей / С.М. Пискунов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2013. – № 1(34). – С. 90-92.
9. Комплексная автоматизированная визирная система перспективных авиационных комплексов / С.А. Айвазян, А.А. Есев, А.В. Ткачук, А.С. Солдатов, А.П. Зыкин. Двойные технологии // – 2013. – № 3(64). – С. 57-59.
10. Ясечко М.Н. Анализ электромагнитной совместимости средств функционального поражения с радиотехническими средствами / М.Н. Ясечко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2013. – № 1(34). – С. 101-103.
11. Ковалевський С.М. Метод розрахунку ефективної поверхні розсіяння малорозмірних повітряних об'єктів при однопозиційному та рознесеному прийомі сигналів в оглядових радіолокаційних станціях / С.М. Ковалевський, В.О. Тютюнник, Г.В. Худов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2015. – № 2(43). – С. 28-31.
12. Можливості виявлення повітряних цілей і виміру азимуту оглядовими радіолокаторами при використанні широкосмугових сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Лещенко, В.В. Чалий, І.В. Помогаєв // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2016. – № 2(47). – С. 71-75.

References

1. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2016), “Pro zatverdzhennya Pravit inzhenerno-aviacijnogo zabezpechennya derzhavnoi aviacii Ukraini № 343 vid 05.07.2016” [On Approval of the Rules for Engineering and Aviation Support of State Aviation of Ukraine No. 343 of July 5, 2016], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1101-16/ed20160705>.
2. Sukhanov, O.Yu. and Yashchenok, V.Zh. (2013), “Bortovi radionavichatsiyni prystroyi ta systemy. Chastyna 1” [Airborne radionavigation devices and systems. Part 1], Kharkivsky University of the Air Force, Kharkiv, 89 p.
3. Sukhanov, O.Yu., Yashchenok, V.Zh. and Krasnorutsky, A.A. (2015), “Bortovi radionavichatsiyni prystroyi ta systemy. Chastyna 2” [Airborne radionavigation devices and systems. Part 2], Kharkiv University of the Air Force, Kharkiv, 280 p.
4. Klymchenko, V.Y., Kamaltynov, H.H. and Kolesnik, O.M. (2012), “Mozhlyvi varianty vykorystannia aviatsiinykh kompleksiv dalnoho radiolokatsiynoho vyjavlennia i upravlinnia u Zbroinykh Sylakh Ukrainy” [Possible uses of long-range radar detection and control systems in the Armed Forces of Ukraine], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(31), pp. 69-74.

5. Kyrychenko, A.M., Kuchynska, A.V. and Marienych, S.Yu. (2013), “Vplyv pokhybok azymutalnoho vystavleniia inertsiialnykh navihatsiinykh system na tochnist vyznachenniia navihatsiinykh parametrov” [Influence of azimuthal errors of inertial navigation systems on the accuracy of determining navigation parameters], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1(34), pp. 69-73.
6. Merkulov, V.I. and Zabelin, I.V. (2009), “Sintez optimal'nogo kompleksnogo radiolokatsionno-opticheskogo izmeritelya pri soprovozhdenii vozdushnykh tseley” [Synthesis of the optimal complex Radar-optical meter while tracking the air targets], *High Technologies*, No. 9(10), pp. 52-58.
7. Filimonov, P.A., Belov, M.L., Gorodnichev, V.A. and Ivanov, S.E. (2016), “Analiz zavisimosti zony zasvetki priemnika ot parametrov atmosfery i lazernogo lokatora v UF spektral'nom diapazone” [Analysis of the dependence of the receiver illumination zone on the parameters of the atmosphere and the laser locator in the UV spectral range], *Science and Education*, No. 3, pp. 153-162.
8. Pyskunov, S.M. (2013), “Imovirnisnyi filtr suprovodzhennia tsilei” [A probabilistic filter of goal tracking], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1(34), pp. 90-92.
9. Ajvazyan, S.A., Esev, A.A., Tkachuk, A.V., Soldatov, A.S. and Zykin, A.P. (2013), “Kompleksnaya avtomatizirovannaya vizirnaya sistema perspektivnykh aviatsionnykh kompleksov” [Integrated automated sighting system of promising aircraft systems], *Dual Technologies*, No. 3(64), pp. 57-59.
10. Yasechko, M.N. (2013), “Analiz elektromahnytoi sovместymosti sredstv funktsionalnoho porazheniia s radiotekhnicheskymy sredstvamy” [Analysis of electromagnetic compatibility of functional lesions with radio technical means], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1(34), pp. 101-103.
11. Kovalevskiy, S.M., Tiutiunnik, V.O. and Khudov, H.V. (2015), “Metod rozrakhunku efektyvnoi poverkhni rozsiianiia malorozmirnykh povitrianykh obiektiv pry odnopozytisiiinomu ta roznesenomomu pryiomakh syhnaliv v ohliadovykh radiolokatsiinykh stantsiiaakh” [Method of calculation of the effective surface of dispersion of air objects of small size at the one-item and carried receptions of signals in survey radar stations], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(43), pp. 28-31.
12. Kovtunov, A.L., Leshchenko, S.P., Chalyi, V.V. and Pomohaiev, I.V. (2016), “Mozhlyvosti vyiavlennia povitrianykh tsilei i v ymiru azymutu ohliadovymy radiolokatoramy pry vykorystanni shyrokosmuhovykh syhnaliv” [The ability to detect and measuring azimuth air targets in surveillance radar using broadband signals], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(47), pp. 71-75.

Надійшла до редколегії 17.09.2019

Схвалена до друку 19.11.2019

Відомості про авторів:

Суханов Олександр Юрійович

кандидат технічних наук
доцент
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2370-1486>

Бекіров Алі Енверович

кандидат технічних наук
старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6155-0597>

Максимов Іван Олексійович

бакалавр курсант
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1285-2564>

Information about the authors:

Oleksandr Sukhanov

Candidate of Technical Sciences
Senior Lecturer
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2370-1486>

Ali Bekirov

Candidate of Technical Sciences
Senior Instructor
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6155-0597>

Ivan Maksymov

Bachelor Cadet
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1285-2564>

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ДО ЦЕЛИ
ПРИ ОТКАЗЕ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА САМОЛЕТА-ИСТРЕБИТЕЛЯ МИГ-29**

А.Ю. Суханов, А.Э. Бекіров, И.А. Максимов

В статье рассматривается актуальный вопрос определения дальности до воздушных целей. Анализируется работа локационного и навигационного оборудования для определения путевой скорости самолета и предельных угловых координат цели. Проводится анализ недостатков лазерного дальномера квантовой оптико-локационной станции самолета МиГ-29 при определении параметров воздушной цели. Для устранения рассмотренных недостатков предлагается

направление, предусматривающий разработку технологии определения дальности до визуально видимой воздушной цели на основе учета взаимного положения цели и самолета. Сформулированы основные выражения для вычисления дальности до цели на основе параметров, которые определяются бортовым оборудованием.

Ключевые слова: лазерный дальномер, дальность до цели, квантовая оптико-локационная станция.

METHODOLOGY OF DIMENSION MEASUREMENT TO THE PURPOSE OF REJECTION OF THE LASER RANGE FINDER OF THE MIG-29 MISSING FIGHTING

O. Sukhanov, A. Bekirov, I. Maksymov

Nowadays, fighter jet is one of the most frequently used types of armament for country border defence. The essential purpose of using fighters is air target hitting. It requires most accurate target distance value existing for effective situation control during air battle conducting. Among the main tasks of fighter armament control system are: seeking, detecting, locking the target on and parameters calculating for further using by airborne weapons. To ensure the fulfillment of these tasks, the airborne aircraft on-board equipment includes systems and complexes, on the basis of which the task of providing the airborne weapons with the purpose information is solved. The article deals with the actual question of determining the distance to the target in case of failure of the laser rangefinder of the MiG-29 fighter. The analysis of the functioning of the existing equipment for measuring the range is carried out, the main problem deficiencies are formed. To eliminate the shortcomings of this equipment, our direction provides the methodology development of determining the distance to a visually visible air target based on the relative position of the target and the aircraft. A method of measuring the distance to the target in case of failure of the laser rangefinder using the existing equipment and parameters that are determined by these systems is being developed. The main way to navigate is the informational vertical complex and the IK-VK-80-6 course, a certain value of the roll, pitch and course, and storage of absolute linear speed in three axes. This technology is less effective unlike using laser rangefinder. The reason is error accumulation of parameters that are being measured by used equipment. Though, the developed technology provides target distance measuring enough because of frequent laser rangefinder failures. The relevance of the subject matter is primarily related to the peculiarities of the execution of tasks by a fighter pilot in the conditions of the Operation of the joint forces in the East of Ukraine. On the basis of mathematical calculations, the analysis and comparison of the developed methods is carried out. The relevance of the combined method is determined.

Keywords: laser range finder, target range, quantum optical location station.