

**Journal of Scientific Papers “Social development & Security”**  
home page: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/>

Drannyk Pavlo, Kobzev Vladislav, Open'ko Pavlo, Rieznik Dmytro (2018) Otsiniuvannia tochnosti vyznachennia koordynat povitrianykh tsilei v khodi vyrishennia zavdan kompleksnoho kontroliu pratsezdatsnosti radiolokatsiinykh zasobiv zenitnykh raketnykh kompleksiv [Evaluation of accuracy of determination of coordinated air target in the time of solving tasks of integrated control of employability of surface-to-air missile system radar means]. *Social development & Security*. 6(8), 3–15. Retrieved from <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/76/76>

## **ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ В ХОДІ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Павло Дранник \*, Владислав Кобзев\*\*, Павло Опенько \*\*\*, Дмитро Резнік \*\*\*\***

\* Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,  
проспект Повітрофлотський, 28, м. Київ, 03049, Україна,  
e-mail: [pavchus@ukr.net](mailto:pavchus@ukr.net)  
к.військ.н., с.н.с.

\*\* Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,  
вул. Сумська, 77/79, м. Харків, 61023, Україна,  
e-mail: [vladiskob@ukr.net](mailto:vladiskob@ukr.net)  
к.т.н., с.н.с.

\*\*\* Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,  
проспект Повітрофлотський, 28, м. Київ, 03049, Україна,  
e-mail: [pavel.openko@ukr.net](mailto:pavel.openko@ukr.net)  
к.т.н.,  
начальник науково-дослідної лабораторії інституту авіації та протиповітряної оборони

\*\*\*\* Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,  
проспект Повітрофлотський, 28, м. Київ, 03049, Україна,  
e-mail: [rieznikdv@gmail.com](mailto:rieznikdv@gmail.com)  
к.військ.н.



### **Article history:**

Received: October, 2018  
1st Revision: October, 2018  
Accepted: December, 2018

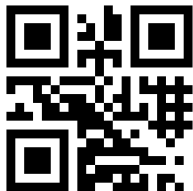
DOI:<http://doi.org/>

10.5281/zenodo.2539569

**Анотація:** В статті розглянуті питання обґрунтування рішень, які повинні прийматися щодо відповідності низки характеристик радіолокаційних засобів ЗРК. До характеристик, які розглядаються, відносяться характеристики, пов'язані з формуванням діаграми спрямованості антен, та певні граничні характеристики приймального пристрою. Запропоновано методику оцінювання точності визначення координат повітряних цілей радіолокаційними засобами ЗРК на етапі їхнього супроводження. Розроблена методика має на меті удосконалення методичного апарату випробувань радіолокаційних засобів ЗРК з використанням безпілотних літальних апаратів. Отримані математичні співвідношення для розрахунку кількісних характеристик координат повітряних цілей, які

мають випадковий характер, що надає можливість визначення показників точності визначення координат повітряних цілей об'єктами випробувань.

**Ключові слова:** система логістичного забезпечення, об'єкти контролю, координати повітряних цілей, контрольні льотні випробування, радіолокаційні засоби, зенітний ракетний комплекс.



Дранник П. А., Кобзев В. В., Опенько П. В., Резнік Д. В. Оцінювання точності визначення координат повітряних цілей в ході вирішення завдань комплексного контролю працездатності радіолокаційних засобів зенітних ракетних комплексів. *Social development & Security*. 2018. Вип. 6(8). С. 3–15.

URL: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/76/76>

## 1. Постановка проблеми

Досвід вирішення завдань військовими частинами Збройних Сил (ЗС) України свідчить про необхідність проведення в стислі терміни оцінки технічного стану радіолокаційних засобів зенітних ракетних комплексів (ЗРК). У разі відновлення працездатності відповідних зразків ЗРК у випадку пошкоджень, або після заміни окремих складових частин антенно-фідерної системи, особливо в польових умовах.

Характерною особливістю зразків ЗРК, які перебувають на озброєнні ЗС України, є опосередковане прийняття рішення про відповідність низки характеристик встановленим вимогам, що означає неможливість перевірки відповідності величин таких характеристик встановленим вимогам за допомогою штатних засобів контролю та виконання даних процедур з використанням непрямих методів через контроль інших параметрів, які з ними пов'язані [1]. В першу чергу це стосується характеристик, пов'язаних з формуванням діаграми спрямованості антен та деяких граничних характеристик приймального пристрою.

Так, до першої групи характеристик відносяться: правильність формування діаграми спрямованості антени (кутові координати, ширина), граничні кути відхилення променя, рівень бокових пелюстків, тощо. В радіолокаційних засобах ЗРК з фазовою антенною решіткою (ФАР) можуть бути проконтрольовані правильність роботи цифрового обчислювача фаз (за допомогою тестової програми) та пристроїв управління фазообертачів (через вимірювання величин струмів запису, зчитування, "обнулення"). При відповідності величин цих характеристик вимогам експлуатаційної документації приймається рішення, що діаграма спрямованості формується правильно. В радіолокаційних засобах ЗРК з дзеркальними антенами рішення про правильність формування діаграми спрямованості приймається у разі відсутності пошкоджень геометрії поверхні дзеркального відбивача.

До другої групи характеристик відносяться: гранична дальність виявлення (взяття на автосупроводження) цілі з заданою ефективною площею розсіювання; мінімальна радіальна швидкість цілі, при якій відбувається зрив з автосупроводження квазібезперервним сигналом, тощо. Рішення про відповідність таких характеристик вимогам також приймається опосередковано у разі проходження з позитивним результатом перевірок функціонального контролю приймальних пристроїв. Втім невідповідність параметрів контрольного сигналу заданим величинам (завищений рівень, зміна спектру) може призводити до прийняття помилкових рішень [2].

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Подальший розвиток системи логістичного забезпечення ЗС України передбачає рішення ряду принципово важливих задач, до яких відносяться вибір інформаційних

характеристик зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), що дозволить забезпечити формування вихідних даних про об'єкти контролю із заданою точністю і достовірністю; розробка вимог до структури та програмно-інформаційного забезпечення засобів контролю та діагностики технічного стану зразків ОВТ для виконання процедур аналізу логістичної підтримки відповідних систем озброєння та формування баз даних отриманих результатів [3, 4].

Відомі підходи до процедури проведення комплексної перевірки працездатності радіолокаційних засобів ЗРК з метою оцінки технічного стану виробу за допомогою об'єктного методу [5–7]. В даних умовах для антен, що формують складну діаграму спрямованості, визначались її горизонтальні перетини, для яких літак здійснював круговий обліт антени радіолокаційної станції на постійній для кожного проходу висоті. Цей метод характеризується великими витратами на організацію польоту, значним обсягом необхідних вимірів та розрахунків, складністю обробки результатів та значними організаційними труднощами. Проте сучасний досвід використання безпілотних літальних апаратів (БЛА) свідчить, що наряду з бойовим використанням їх можна застосовувати й для проведення контрольного об'єкту [8–10].

Сучасний розвиток безпілотної авіації, систем управління БЛА, систем навігації та визначення координат дозволяє здійснювати політ літальних апаратів за наперед заданою або дистанційно керованою траєкторією. При цьому сукупна вартість організації такого польоту, яка включає вартість літального апарату, його обладнання, наземної станції управління, завдяки застосуванню сучасних технологій суттєво знизилася за останні роки.

Авторами робіт [1, 2] показано, що застосування БЛА в системі логістичного забезпечення ЗС України дозволить проводити перевірку низки технічних характеристик радіолокаційних засобів ЗРК, заявлених в експлуатаційній документації, але неконтрольованих до цього прямими методами.

Отже, вирішення наведеної задачі забезпечує формування вихідних даних про об'єкти контролю із заданою достовірністю і точністю при зменшенні витрат часу, дозволяє підвищити ефективність технічного діагностування радіолокаційних засобів ЗРК, особливо після ремонту або отримання пошкоджень в ході бойових дій, з можливістю використання в подальшому програмно-інформаційних засобів контролю та діагностики технічного стану зразків ОВТ.

При цьому, необхідно враховувати, що реальному об'єкту ЗРК з використанням БЛА буде передувати розробка програм і методик відповідних контрольних льотних випробувань для визначення параметрів радіолокаційних засобів ЗРК, саме тому дослідження питання оцінювання точності визначення координат повітряних цілей радіолокаційними засобами ЗРК на етапі супроводження є актуальним завданням.

### **3. Постановка завдання**

**Мета статті.** Розробка методики оцінювання точності визначення координат повітряних цілей радіолокаційними засобами ЗРК на етапі супроводження під час удосконалення методичного апарату випробувань радіолокаційних засобів ЗРК з використанням безпілотних літальних апаратів для визначення параметрів радіолокаційних засобів ЗРК.

### **4. Виклад основного матеріалу**

З метою забезпечення відповідності системи логістичного забезпечення ЗС України вимогам сучасності, особливо в ході розробки нових та модернізації існуючих ЗРК ЗС України, запропонована методика оцінювання точності визначення координат повітряних цілей

радіолокаційними засобами ЗРК (далі – Методика). Призначена на використання органами логістичного забезпечення ЗС України при обґрунтуванні рішень про можливість (доцільність) подальшого використання радіолокаційних засобів ЗРК після:

проведення ремонту в стаціонарних умовах з заміною окремих складових частин антенно-фідерної та (або) приймальної систем;

отримання пошкоджень в результаті бойових дій;

відновлення працездатності в польових умовах внаслідок отримання пошкоджень антенно-фідерної та (або) приймальної систем в результаті бойових дій.

Наведена Методика має узагальнений характер і може бути уточнена для конкретного типу радіолокаційних засобів ЗРК в частині використовуваних елементів їх систем індикації, які є джерелом інформації про виміряні координати цілей та може бути використана як база для розробки аналогічних методик для оцінювання точності визначення координат цілей радіолокаційними засобами інших родів військ видів ЗС України.

Для оцінювання точності визначення координат радіолокаційними засобами ЗРК використовуються наступні вихідні дані:

$Ш_{РЛЗ}$	широта місцезнаходження радіолокаційного засобу ЗРК;
$Д_{РЛЗ}$	довгота місцезнаходження радіолокаційного засобу ЗРК;
$Н_{РЛЗ0}$	висота місцезнаходження радіолокаційного засобу ЗРК над рівнем моря;
$Ш_{Ц}$	широта місцезнаходження рухомої цілі;
$Д_{Ц}$	довгота місцезнаходження рухомої цілі;
$Н_{Ц0}$	висота місцезнаходження рухомої цілі над рівнем моря;
$\beta_{Ц}$	азимут, виміряний радіолокаційним засобом ЗРК;
$\varepsilon_{Ц}$	кут місця, виміряний радіолокаційним засобом ЗРК;
$r_{Ц}$	дальність до цілі, виміряна радіолокаційним засобом ЗРК;
$\beta_{рзРЛЗ}$	роздільна здатність радіолокаційного засобу ЗРК по азимуту;
$\varepsilon_{рзРЛЗ}$	роздільна здатність радіолокаційного засобу ЗРК по куту місця;
$r_{рзРЛЗ}$	роздільна здатність радіолокаційного засобу ЗРК по дальності.

В Методиці розглядаються трьохкоординатні радіолокаційні засоби ЗРК, які здійснюють визначення азимуту, кута місця та дальності до цілі. В усіченому виді ця методика може застосовуватись також для двохкоординатних радіолокаційних засобів.

В якості характеристики точності визначення конкретної координати в Методиці використовується дисперсія (середньоквадратичне відхилення) визначення цієї координати відповідним радіолокаційним засобом, яка розраховується як вибіркова дисперсія вимірюваної координати за формулою [11]:

$$D[\beta] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \beta_i - \beta_{сеп.i} \right)^2, \quad (1)$$

$$D[\varepsilon] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \varepsilon_i - \varepsilon_{сеп.i} \right)^2, \quad (2)$$

$$D[r] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( r_i - r_{сеп.i} \right)^2, \quad (3)$$

де  $D[\beta]$ ,  $D[\varepsilon]$ ,  $D[r]$  – дисперсія визначення азимуту, кута місця та дальності до цілі відповідно;

$\beta_i$ ,  $\varepsilon_i$ ,  $r_i$  – виміряна величина азимуту, кута місця та дальності до цілі відповідно в  $i$ -му часовому відліку;

- $\beta_{\text{сеп.}i}, \varepsilon_{\text{сеп.}i}, r_{\text{сеп.}i}$  – математичне сподівання (середнє значення) величини азимуту, кута місця та дальності до цілі відповідно в  $i$ -му часовому відліку;  
 $n$  – кількість часових відліків, за якими здійснюється оцінювання точності визначення координат.

Середньоквадратичне відхилення (СКВ) визначення координат розраховується як квадратний корінь з відповідної дисперсії [12]:

$$\sigma[\beta] = \sqrt{D[\beta]}, \quad (4)$$

$$\sigma[\varepsilon] = \sqrt{D[\varepsilon]}, \quad (5)$$

$$\sigma[r] = \sqrt{D[r]}. \quad (6)$$

Величини  $\beta_{\text{сеп.}i}, \varepsilon_{\text{сеп.}i}, r_{\text{сеп.}i}$  визначаються розрахунковим методом за даними супутникової навігації.

Рішення про можливість (доцільність) подальшого використання радіолокаційного засобу ЗРК приймається, якщо жодна з розрахованих величин СКВ визначення координат не перевищує роздільну здатність відповідної координати цього засобу. Тобто, подальше використання конкретного радіолокаційного засобу ЗРК доцільне, якщо виконуються всі нерівності

$$\sigma[\beta] \leq \beta_{\text{рзРЛЗ}}, \quad (7)$$

$$\sigma[\varepsilon] \leq \varepsilon_{\text{рзРЛЗ}}, \quad (8)$$

$$\sigma[r] \leq r_{\text{рзРЛЗ}}, \quad (9)$$

де  $\beta_{\text{рзРЛЗ}}$  – роздільна здатність радіолокаційного засобу ЗРК по азимуту;

$\varepsilon_{\text{рзРЛЗ}}$  – роздільна здатність радіолокаційного засобу ЗРК по куту місця;

$r_{\text{рзРЛЗ}}$  – роздільна здатність радіолокаційного засобу ЗРК по дальності.

Рішення про точність визначення координат можливо прийняти лише у порівнянні виміряних координат з еталонними. Оскільки виміряні координати є випадковою величиною, то в запропонованій Методиці в якості характеристики точності використовується характеристика розсіювання випадкової величини – дисперсія (середньоквадратичне відхилення) [11, 12].

Для спрощення практичної реалізації процесу оцінювання точності виміряні координати представляються у вигляді дискретних випадкових величин – відповідних масивів даних, які отримані у дискретні відліки часу. Тобто, характеристикою розсіювання випадкової величини є вибіркова дисперсія (середньоквадратичне відхилення). Для її розрахунку необхідне математичне сподівання випадкової величини в кожен відлік часу. З урахуванням того, що вимірюються координати рухомої цілі, в якості математичного сподівання використовується “еталонні” значення координат, які отримуються розрахунковим методом за даними супутникової навігації. Для цього на БЛА, що виконує роль повітряної цілі, встановлюється GPS-приймач, дані з якого про поточне місцезнаходження записуються для післяполітної обробки та (або) передаються на наземний пункт управління. Дані про місцезнаходження радіолокаційного засобу ЗРК також отримуються за допомогою GPS-приймача, який встановлений на цьому засобі.

Крім того, за допомогою цих GPS-приймачів виконується часова синхронізація даних про місцезнаходження цілі та виміряних радіолокаційним засобом координат у відповідних відліках часу.

Таким чином, вихідними даними для проведення розрахунків є:

географічні координати місцезнаходження радіолокаційного засобу ЗРК (широта  $Ш_{РЛЗ}$ , довгота  $Д_{РЛЗ}$ , висота над рівнем моря  $H_{РЛЗ_0}$ );

сукупність згрупованих за кожний відлік часу географічних координат рухомої цілі (широта  $Ш_{Ц}$ , довгота  $Д_{Ц}$ , висота над рівнем моря  $H_{Ц_0}$ );

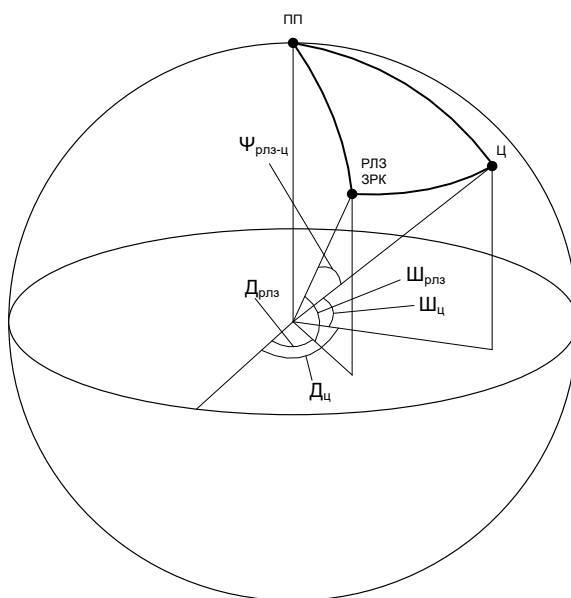
сукупність згрупованих за кожний відлік часу вимірних координат (азимут  $\beta_{Ц}$ , кут місця  $\varepsilon_{Ц}$ , дальність  $r_{Ц}$ ).

Далі, до окремого нагадування виклад матеріалу ведеться стосовно розрахунку середніх значень величин азимуту, кута місця та дальності до цілі в конкретному часовому відліку.

Оскільки дані про місцезнаходження радіолокаційного засобу ЗРК та цілі мають формат географічних координат, то для розрахунку “еталонних” величин координат, що виміряні радіолокаційним засобом ЗРК необхідно використовувати формули сферичної тригонометрії. Це виправдано тим, що розрахунки по даним, які отримані в результаті проектування на площину, вимагають переведення від географічних координат до прямокутної системи координат (з виконанням проекційних перетворювань) та можуть призводити до значних спотворень відстаней через особливості проекційних перетворювань у разі не зовсім вдалого вибору проекцій.

У розрахунках прийнято припущення, що Земля має форму сфери, радіус якої дорівнює 6372795 метрів, що забезпечить похибку розрахунків відстаней не більше 0,5 %.

Взаємне розташування об'єктів, кути між ними у просторі в графічному вигляді наведені на мал. 1 [5]. На цьому малюнку використовуються наступні скорочення: РЛЗ ЗРК – радіолокаційний засіб ЗРК, Ц – повітряна ціль (літальний апарат(БпЛА), який її імітує), ПП – північний полюс,  $\psi_{РЛЗ-Ц}$  – кут між напрямками на радіолокаційний засіб ЗРК та ціль.



Мал. 1. Графічне представлення взаємного розташування об'єктів у просторі

Величина кута  $\psi_{РЛЗ-Ц}$  між напрямками на радіолокаційний засіб ЗРК та ціль розраховується за допомогою формули гаверсинусів [13]

$$\psi_{P_{ЛЗ}-Ц} = 2 \arcsin \left[ \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta Ш}{2} \right) + \cos Ш_{P_{ЛЗ}} \cos Ш_{Ц} \sin^2 \left( \frac{\Delta Д}{2} \right)} \right], \quad (10)$$

де  $\Delta Ш$ ,  $\Delta Д$  – різниці між відповідними географічними координатами, тобто  $\Delta Ш = Ш_{Ц} - Ш_{P_{ЛЗ}}$ ,  $\Delta Д = Д_{Ц} - Д_{P_{ЛЗ}}$ .

Відстань  $r_{Цпр}$  між радіолокаційним засобом ЗРК та проекцією цілі на поверхню, яка відповідає  $H_{P_{ЛЗ0}}$ , з урахуванням відносно малої величини кута  $\psi_{P_{ЛЗ}-Ц}$ , що утворюється з центру Землі до цих точок, розраховується за формулою:

$$r_{Цпр} = R_3 \sin(\psi_{P_{ЛЗ}-Ц}) \approx R_3 \psi_{P_{ЛЗ}-Ц}, \quad (11)$$

де  $R_3$  – радіус Землі.

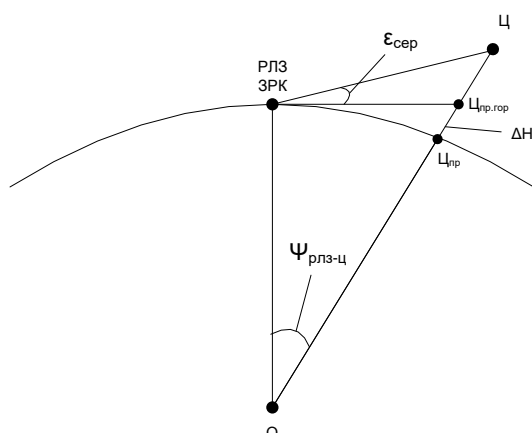
Розмірність величин кутових координат для розрахунків за формулами (10), (11) повинна бути в радіанах.

З аналізу мал. 1 робимо висновок, що радіолокаційний засіб ЗРК, ціль та північний полюс є вершинами утвореного сферичного трикутника. Для визначення кута між північним полюсом, радіолокаційним засобом ЗРК та ціллю, який є згідно прийнятих позначень азимутом  $\beta_{сер}$ , використовується сферична теорема косинусів [14].

Формула для розрахунку  $\beta_{сер}$  має вигляд

$$\beta_{сер} = \arccos \left[ \frac{\cos \left( \frac{\pi}{2} - Ш_{Ц} \right) - \cos \psi_{P_{ЛЗ}-Ц} \cos \left( \frac{\pi}{2} - Ш_{P_{ЛЗ}} \right)}{\sin \psi_{P_{ЛЗ}-Ц} \sin \left( \frac{\pi}{2} - Ш_{P_{ЛЗ}} \right)} \right]. \quad (12)$$

Для визначення кута місця  $\varepsilon_{сер}$  в загальному випадку також враховується кривизна Землі. Взаємне розташування радіолокаційного засобу ЗРК, цілі, центру Землі, кутів між ними у площині, яку вони утворюють в графічному вигляді наведені на мал. 2. На цьому малюнку додатково до раніше введених використовуються наступні скорочення:  $Цпр$  – проекція цілі на поверхню, яка відповідає  $H_{P_{ЛЗ0}}$ ,  $Цпр.гор$  – проекція цілі на площину, яку утворюють радіолокаційний засіб ЗРК та його лінія горизонту,  $\Delta H_3$  – похибка, яку вносить кривизна Землі,  $O$  – центр Землі.



Мал. 2. Графічне представлення взаємного розташування об'єктів у площині

З трикутників, які утворюються на мал. 2, з достатньою для практики точністю можна вивести рівняння:

$$Ц_{np.зop} R_3^2 + r_{Цnp}^2 + \Delta H_3^2 = (R_3 + \Delta H_3)^2. \quad (13)$$

Після необхідних перетворень (13) формула для розрахунку  $\Delta H_3$  має вигляд:

$$\Delta H_3 = \frac{r_{Цnp}^2}{2R_3}. \quad (14)$$

З урахуванням наведеного формула для розрахунку  $\varepsilon_{cep}$  має вигляд

$$\varepsilon_{cep} = \arctg \left[ \frac{H_{Ц} - H_{ПЛЗ0} - \Delta H_3}{\sqrt{r_{Цnp}^2 + \Delta H_3^2}} \right]. \quad (15)$$

Величина  $r_{cep}$  розраховується за формулою:

$$r_{cep} = \frac{\sqrt{r_{Цnp}^2 + \Delta H_3^2}}{\cos \varepsilon_{cep}}. \quad (16)$$

Розраховані в  $i$ -му часовому відліку величини азимуту  $\beta_{cep,i}$ , кута місця  $\varepsilon_{cep,i}$  та дальності  $r_{cep,i}$  до цілі зіставляються з відповідними вимірними радіолокаційним засобом ЗРК величинами та здійснюється розрахунок показників точності (формули (1)-(6)).

Розраховані показники точності перевіряються згідно з критерієм про можливість (доцільність) подальшого використання радіолокаційного засобу ЗРК (формули (7)-(9)).

Структурна схема Методики оцінювання точності визначення координат радіолокаційними засобами ЗРК наведена на мал. 3.

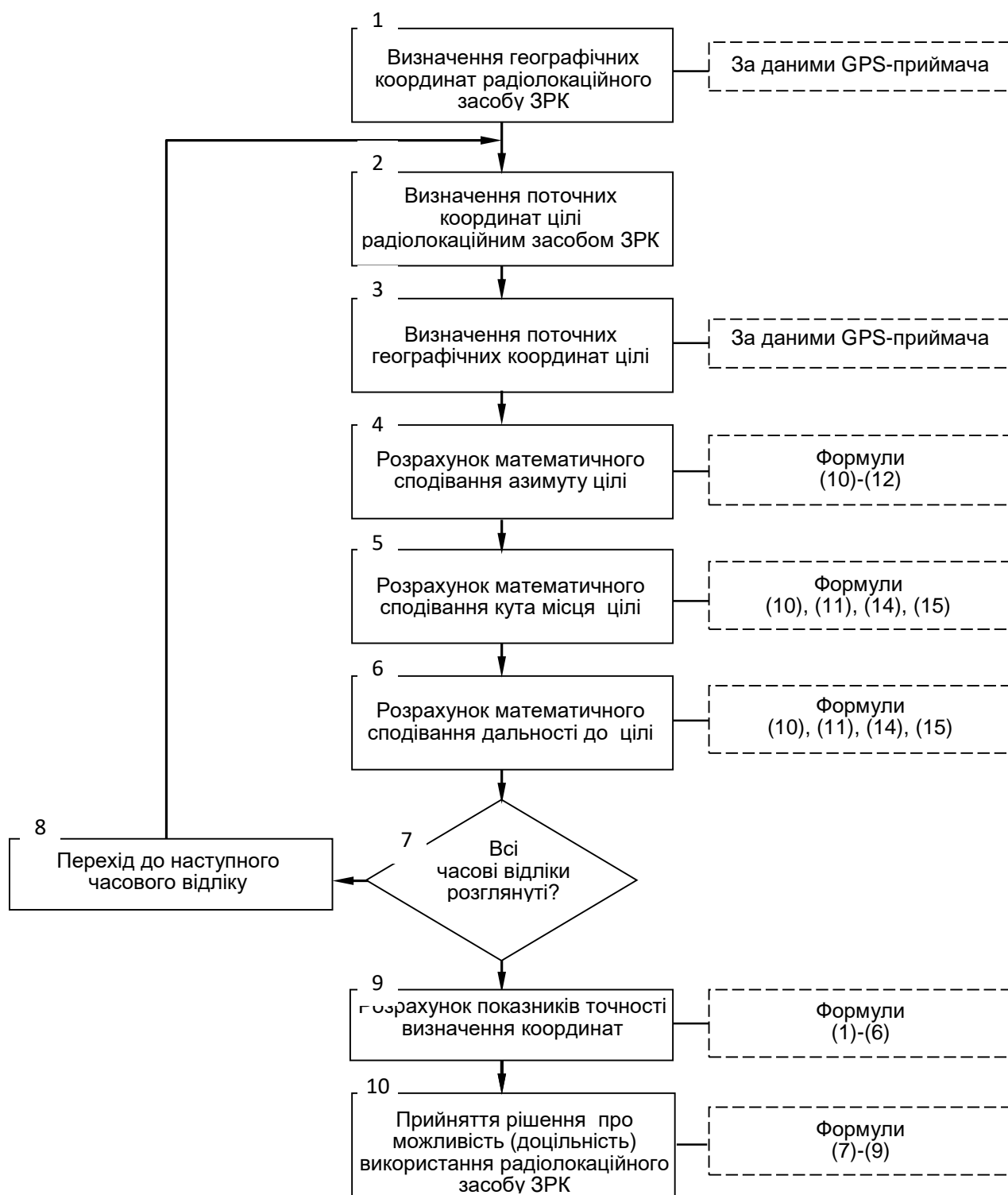
**Висновки й перспективи подальших досліджень.** В ході удосконалення методичного апарату контрольних льотних випробувань з використанням БПЛА для визначення параметрів радіолокаційних засобів ЗРК у роботі розроблена методика оцінювання точності визначення координат повітряних цілей радіолокаційними засобами ЗРК на етапі супроводження.

В розробленій Методиці розглядаються трьохкоординатні радіолокаційні засоби ЗРК, які здійснюють визначення азимуту, кута місця та дальності до цілі, в якості характеристики точності визначення відповідної конкретної координати використовується дисперсія (середньоквадратичне відхилення) визначення цієї координати відповідним радіолокаційним засобом, яка розраховується як вибіркова дисперсія вимірюваної координати.

Отримано математичні співвідношення для розрахунку математичного сподівання координат повітряних цілей (азимуту, кута місця та дальності до цілі), за допомогою запропонованих співвідношень можуть бути розраховані показники точності визначення координат повітряних цілей.

Реалізація розробленої Методики має практичне значення на етапі прийняття рішення про можливість (доцільність) використання радіолокаційного засобу ЗРК після відновлення працездатності в польових умовах.





Мал. 3 Структурна схема методики оцінювання точності визначення координат радіолокаційними засобами ЗРК

**Author details (in Russian)**

**ОЦЕНИВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В ХОДЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Павел Дранник \***, **Владислав Кобзев\*\***, **Павел Опенько \*\*\***, **Дмитрий Резник \*\*\*\***

*\* Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского,  
пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,  
e-mail: pavchuc@ukr.net  
к.воен.н., с.н.с.*

*\*\* Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба,  
ул. Сумська, 77/79, г. Харьков, 61023, Украина,  
e-mail: vladiskob@ukr.net  
к.т.н., с.н.с.*

*\*\*\* Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского,  
пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,  
e-mail: pavel.openko@ukr.net  
к.т.н.,*

*\*\*\*\* Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского,  
пр-т Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,  
e-mail: rieznik\_dv@ukr.net  
к.воен.н.*

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы обоснования решений, которые должны приниматься на соответствие ряда характеристик радиолокационных средств ЗРК. К характеристикам, которые рассматриваются, относятся характеристики, связанные с формированием диаграммы направленности антенн, и определенные предельные характеристики приемного устройства. Предложена методика оценки точности определения координат воздушных целей радиолокационными средствами ЗРК на этапе их сопровождения. Разработанная методика имеет целью совершенствования методического аппарата испытаний радиолокационных средств ЗРК с использованием беспилотных летательных аппаратов. Полученные математические соотношения для расчета количественных характеристик координат воздушных целей, которые носят случайный характер, что дает возможность определения показателей точности определения координат воздушных целей объектами испытаний.

**Ключевые слова:** система логистического обеспечения, объекты контроля, координаты воздушных целей, контрольные летные испытания, радиолокационные средства, зенитный ракетный комплекс.

**Author details (in English)**

**EVALUATION OF ACCURACY OF DETERMINATION OF COORDINATED AIR TARGET IN THE TIME OF SOLVING TASKS OF INTEGRATED CONTROL OF EMPLOYABILITY OF SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM RADAR MEANS**

**Pavlo Drannyk \***, **Vladislav Kobzev \*\***, **Pavlo Open'ko \*\*\***, **Dmytro Riezniuk \*\*\*\***

\* *The National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy,*  
28, Vozduhoflotsky av., Kyiv, 03049, Ukraine,  
e-mail: pavchyc@ukr.net  
Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Reseacher

\*\* *Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,*  
77|79, Sumskaya st., Kharkiv, 61023, Ukraine  
e-mail: vladiskob@ukr.net  
Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Reseacher

\*\*\* *The National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy,*  
28, Vozduhoflotsky av., Kyiv, 03049, Ukraine,  
e-mail: pavel.openko@ukr.net  
Candidate of Technical Sciences (Ph.D.)

\*\*\*\* *National University of Defense of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskiy,*  
28, Vozduhoflotsky av., Kyiv, 03049, Ukraine,  
e-mail: rieznikdv@gmail.com  
Candidate of Technical Sciences (Ph.D.)

**Abstract:** *The article deals with the issues of substantiation of the decisions to be made regarding the correspondence of a number of characteristics of the radar equipment of the SAM. The characteristics include the characteristics associated with the formation of the antenna directivity pattern and certain boundary characteristics of the receiving device. There are proposed method of estimation of the accuracy to determination of the coordinates of air targets by radar means of the radar equipment at the stage of their support. There are made method of estimation of the accuracy to determination of the coordinates of air targets by radar means of the SAM at the stage of their support is proposed. The mathematical relations are obtained for calculating the quantitative characteristics of the coordinates of the air targets. Its are of an occasional nature, which makes it possible to determine the accuracy of determining the coordinates of air targets by test objects.*

**Keywords:** *logistic support system, control objects, coordinates of air targets, pilot flight tests, radar means, surface-to-air missile system.*

### **Використана література**

1. Опенько П. В., Дранник П. А., Кобзев В. В., Зубрицький Г. М. Обґрунтування підходів щодо використання безпілотних літальних апаратів для контролю параметрів радіолокаційних засобів ЗРК. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони.* 2016. № 1(25). С. 82–86.

2. Опенько П. В., Ткачов В. В., Кобзев В. В., Васильєв В. А. Застосування безпілотних літальних апаратів для контролю параметрів радіолокаційних засобів зенітних ракетних комплексів. *Наука і оборона.* 2017. № 3/4. С. 61-65.

3. Мірненко В. І., Пустовий С. О., Яблонський П. М., Авраменко О. В. Порівняння ефективності технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, що експлуатуються за технічним станом, для моделей дифузійно-монотонного і дифузійно-немонотонного розподілів відмов. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони.* 2015. № 2(23). С. 88–93.

4. Опенько П. В., Крижний А. В., Дранник П. А. Перспективи розвитку системи технічного

забезпечення зенітних ракетних військ. *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем*. 2015. № 10. С. 148–157.

5. Неупокоев Ф. К. Противовоздушный бой. Москва : Воениздат, 1989. 262 с.

6. Бердышев В.П. Радиолокационные системы. Москва : “Проспект”, 2015. 400 с.

7. Толкачев А., Шишлов А. Технологии радиолокации. Москва : Вече, 2010. 153 с.

8. Классен В., Просвиркин И., Левитан Б., Топичев С. Измерение параметров излучения крупноапертурных антенн с помощью беспилотного летательного аппарата. *Технологии и средства связи*. 2014. № 1. С. 60–65.

9. Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития. Москва : Права человека, 2005. 612 с.

10. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва : Техносфера, 2015. 312 с.

11. Коваленко И. Н., Филиппова А. А. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Высшая школа, 1973. 368 с.

12. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Москва : Наука, 1988. 480 с.

13. Данилевський М. П., Колосов А. І., Якунін А. В. Основи сферичної геометрії та тригонометрії: навч. посіб. Харків : Харк. нац. акад. міськ. госп-ва, 2011. 92 с.

14. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Москва : Наука, 1972. 870 с.

## References

1. Open'ko, P.V., Drannyk, P.A., Kobzyev, V.V., & Zubryts'kyi, H.M. (2016) Obgruntuvannia pidkhodiv shchodo vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia kontroliu parametriv radiolokatsiinykh zasobiv ZRK [Explanation of approaches to the application of unmanned aircraft for controlling technical characteristics of radar the air defense missile system]. *Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony – Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 1(25), 82–86 [in Ukrainian].

2. Open'ko, P.V., Tkachov, V.V., Kobzyev, V.V., & Vasyl'yev, V.A. (2017) Zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia kontroliu parametriv radiolokatsiinykh zasobiv zenitnykh raketnykh kompleksiv [Application of unmanned aerial vehicles for monitoring the parameters of radar systems of surface-to-air missile system]. *Nauka i oborona – Science and Defense*, 3/4, 61–65 [in Ukrainian].

3. Mirnenko, V.I., Pustovyi, S.O., Yablonskyi, P. M., & Avramenko, O.V. (2015) Porivniannia efektyvnosti tekhnichnoho obsluhovuvannia vyrobiv aviatsiinoi tekhniky, shcho ekspluatuiutsia za tekhnichnym stanom, dlia modelei dyfuziino-monotonnoho i dyfuziino-nemonotonnoho rozpodiliv vidmov [The reliability measures computation of the series connected and reserved elements without recovery for diffusion-nonmonotonic distribution of their failures]. *Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony – Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 2(23), 88–93 [in Ukrainian].

4. Open'ko, P.V., Kruznuy, A.V., & Drannyk, P.A. (2015) Perspektyvy rozvytku systemy tekhnichnoho zabezpechennja zenitnykh raketnykh vijsjk [Prospects for the development of technical support anti-aircraft missile troops], *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system – Problems in the creation, testing, application and operation of complex information systems*, 10, 148–157 [in Ukrainian].

5. Neupokoev, F. K. (1989) *Protivovozdushniy boy [Antiaircraft battle]*. Moscow: Voennydat [in Russian].
6. Berdyshev, V.P. (2015) *Radiolokacionnye sistemy [Radar systems]*. Moscow: Prospekt [in Russian].
7. Tolkachev, A. (2010) *Tehnologii radiolokacii [Radar technology]*. Moscow: Veche [in Russian].
8. Klassen, V., Prosvyrkyn, Y., Levytan, B., & Topychev, S. (2014) Izmerenie parametrov izlucheniya krupnoaperturnykh antenn s pomoshh'ju bespilotnogo letatel'nogo apparata [Measurement of radiation parameters large aperture antennas using an unmanned aircraft], *Tehnologii i sredstva svjazi – Technology and communications,1*, 60–65 [in Russian].
9. Pavlushenko, M., Evstafiev, G., & Makarenko, I. (2005) *Bespilotnye letatel'nye apparaty: istoriya, primenenie, ugroza rasprostraneniya i perspektivy razvitiya [Unmanned aerial vehicles: History, application, the threat of proliferation and development prospects]*. Moscow: Prava cheloveka [in Russian].
10. William Randall Beard, & Timothy W. MacLaine (2015) *Malye bespilotnye letatel'nye apparaty: teorija i praktika [Small drones: theory and practice]*. Moscow: Tekhnosfera.[in Russian].
11. Kovalenko, I.N., & Filippova, A.A. (1973) *Teorija veroyatnostej i matematicheskaja statistika [Theory of Probability and Mathematical Statistics]*. Moscow: Vysshaja shkola [in Russian].
12. Ventcel', E.S., & Ovcharov, L.A. (1988) *Teorija veroyatnostej i ee inzhenernye prilozhenija [Probability theory and its engineering applications]*. Moscow : Nauka [in Russian].
13. Danylevskiy, M.P., Kolosov, A.I., & Yakunin, A.V. (2011) *Osnovy sferychnoi heometrii ta trygonometrii: navch. posib. [Fundamentals of spherical geometry and trigonometry]*. Kharkiv: Khark. nats. akad. misk. hosp-va KHNAMH [in Ukrainian].
14. Vygodskij, M.Ja. (1972) *Spravochnik po vysshej matematike [Handbook of higher mathematics]*. Moscow : Nauka [in Russian].