

The article analyzes modern popular multifunctional biomorphic walking ground platforms - unmanned ground complexes of the Robot Dog type. Their functions and capabilities are considered, and the tasks performed today by walking unmanned ground systems of the Robot Dog type in the armed forces of the leading countries of the world are given. The main tactical and technical characteristics of these samples are provided.

The evaluation of the level of technical perfection by the proportional scale and the "rating-weight" scale of the five most common samples of walking unmanned ground complexes of the Robot Dog type was carried out, and the influence of negative indicators of the technical perfection of the sample on its comprehensive evaluation. The rating among the studied samples of the same type of walking unmanned ground complexes of the Robot Dog type was determined.

Keywords: unmanned ground complex, walking unmanned systems, Robot Dog, robot dogs, monitoring, reconnaissance, detection, means of situational awareness, level of technical excellence.

УДК 358.111, 621.317.7, 621.3.088.3 DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.38-44>

Р.В. Кочан¹, В.І. Лозинський¹, К.І. Снітков²

¹ Національний університет «Львівська політехніка», Львів

² Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 17 September 2024; Revised 271 September 2024;

Accepted 04 November 2024

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ КОРЕКЦІЇ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ РОЗПОДІЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОВОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ РОЗВІДКИ НА БАЗІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

У цій статті автори розглядають актуальну проблему визначення ефективності методу корекції методичної похибки розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки (ЗАР). Проведено порівняння інформації про відхилення значень методичної похибки, отриманих під час застосування згаданого методу від ідеальних, які було отримано за допомогою комп'ютерного моделювання. Результати порівняння показали суттєве відхилення значень у тих випадках, коли звукоприймач системи ЗАР розміщено близько до джерела звукового сигналу. Останнє може часто траплятися у системах ЗАР, побудованих на базі стільникового зв'язку. Автори здійснили аналіз наявної методики корекції методичної похибки отримання кута напрямку цілі. Для оцінки ефективності методу корекції для різних початкових даних використано «невиключену» похибку вимірювання кута напрямку цілі. Також наведено результати комп'ютерного моделювання, які обґрунтовують необхідність використання більш точних методів розрахунку згаданої похибки із використанням спеціалізованих обчислювальних засобів.

Ключові слова: звукова артилерійська розвідка (ЗАР), акустична база (АБ), стільниковий зв'язок, звукоприймач, кутові вимірювання.

Постановка проблеми

Результативність вогневого ураження артилерією зумовлена, насамперед, одержанням точних координат розміщення, розміром та характером цілей. Для вирішення цього завдання було запропоновано концепцію розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки на базі стільникового зв'язку [1], а також проведено моделювання її функціонування. Суть цієї концепції полягає у створенні єдиної системи із множини автономних звукоприймачів та сервера з використанням безпроводних каналів зв'язку. Задача цієї системи – автоматичний збір, оброблення та передавання даних про оперативну обстановку в зоні функціонування звукоприймачів.

Застосування інфраструктури та засобів стільникового зв'язку та в якості бази для запропонованої системи дає такі переваги: можливість зміни мірила системи, низький час її розгортання, сумісність з наявним у ЗСУ обладнанням для управління артилерійським вогнем, зокрема системами керування військами «Кропива» [2], ArtOS [3], Оболонь-А [4].

Розповсюдженість стільникових засобів та високе покриття території держави мережами стільникового зв'язку різних операторів разом із автоматичним загальнодержавним роумінгом сприяє створенню системи з широким колом каналів, які перекриваються за радіусом дії, що гарантуватиме точність, надійність, а також стійкість системи.

Сучасні технології виробництва звукоприймачів надають можливість виготовляти їх компактними (розміром близько 10 x 10 см), дешевими та енергоощадними, що дозволяє забезпечувати їх живлення від одноразових елементів живлення типу А – ААА та іншими впродовж тривалого часу (залежно від режиму експлуатації від місяця до декількох років) [5]. Тому такі звукоприймачі можна розміщувати в зоні бойових дій, не передбачаючи при цьому не обхідності їх віднайдення, збору та перевстановлення у випадку зміни ситуації на полі бою. Отже, запропонована концепція [6] передбачає не так зміну положення звукоприймачів відносно джерел аналізованого звуку, як зміну положення (віддалі та напрямку) джерел аналізованого звуку відносно звукоприймачів. Отже, джерела звуку можуть розміщуватись вкрай близько до звукоприймачів, що спричинило необхідність більш детального дослідження впливу цього аспекту на точність результатів артилерійської розвідки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В основу функціонування систем звукової артилерійської розвідки покладено використання явища звукового стереоефекту [7]. При цьому реалізують вимірювання кута напрямку на ціль з центра акустичної бази (АБ). АБ – це два просторово рознесені мікрофони. Координати цілі виявляють як місце перетину променів з декількох (щонайменше – двох) центрів АБ, побудованих під обчисленими кутами напрямку на ціль з кожного центра АБ. Натомість азимут цілі визначають шляхом алгебраїчного додавання кута орієнтації АБ та кута напрямку на

ціль, виміряного за посередництвом мікрофонів АБ. З цієї метою здійснюють вимірювання часу проходження фронту звукової хвилі, яка супроводжує постріл чи вибух, уздовж АБ. Під час розрахунку кута напрямку на ціль відповідно до методики, наведеної у [7] застосовують припущення, що фронт поширення звукової хвилі є плоский у границях сектору видимості АБ з точки цілі, що спричиняє виникнення деякої методичної похибки вимірювання. У [8] наведено методику корекції згаданої методичної похибки для розміщених поруч цілей та надано поправочні коефіцієнти. Під час розрахунку цих коефіцієнтів застосовано вирази $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x} = 1$ та $\lim_{x \rightarrow 0} \cos(x) = 1$, які справджуються для $x \rightarrow 0$ (для аналізованої ситуації x – значення, обернено пропорційне для відстані до цілі).

Формулювання мети статті

З огляду на описані вище міркування та граничну точність розрахунків метою цієї роботи є аналіз ефективності методу корекції методичної похибки розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки на базі стільникового зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Для проведення аналізу ефективності методу корекції методичної похибки розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки [8] на базі стільникового зв'язку побудуємо геометричну модель для вимірювання кута напрямку на ціль із використанням двох акустичних баз, показану на рис. 1.

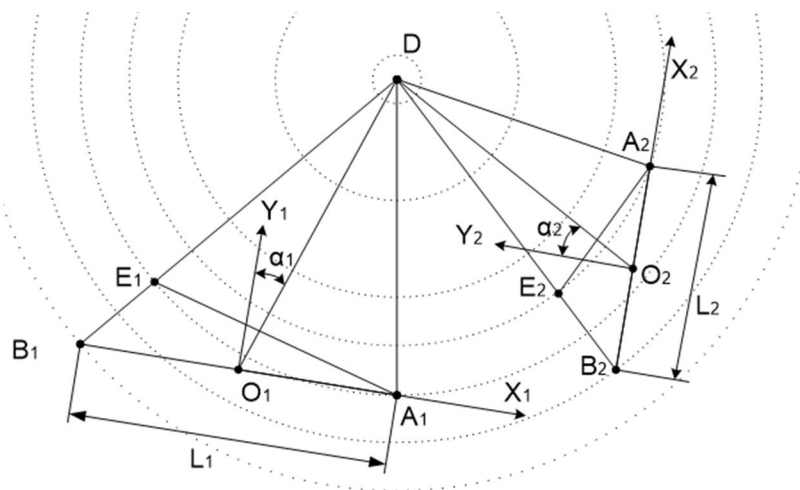


Рис. 1. Геометрична модель для вимірювання кута напрямку на ціль із використанням двох акустичних баз

Акустичні бази тут наведено у вигляді двох відрізків прямих A_1B_1 та A_2B_2 з наперед відомими координатами початкових і кінцевих точок, у місці

яких розміщують звукоприймачі A_1 , B_1 та A_2 , B_2 . Довжинам відрізків A_1 , B_1 та A_2 , B_2 відповідають довжини акустичних баз L_1 та L_2 . Нехай у точці D

розміщено артилерійський засіб – ціль, від якої в час пострілу у всіх напрямках поширюється звукова хвиля. Її фронт окреслює коло, радіус якого зростає з тривалістю поширення звуку у повітрі. Для трикутників A_1B_1D та A_2B_2D можна записати такі співвідношення:

$$\begin{cases} DB_1 = V \times t_{DB_1}, \\ DA_1 = V \times t_{DA_1}, \end{cases} \begin{cases} DB_2 = V \times t_{DB_2}, \\ DA_2 = V \times t_{DA_2}, \end{cases} \quad (1)$$

де V – швидкість поширення звуку у повітрі; t_{DB_1} , t_{DA_1} , t_{DB_2} та t_{DA_2} – часи проходження акустичних хвиль відстаней DB_1 , DA_1 , DB_2 та DA_2 , відповідно.

Побудуємо дві декартові системи координат так, що точки початку координат O_1 та O_2 розміщені в центрі акустичних баз A_1, B_1 та A_2, B_2 , а осі O_1X_1 та O_2X_2 проходять уздовж AB . Розмістимо точки E_1 та E_2 відповідно на відрізках B_1D та B_2D так, щоб трикутники A_1E_1D та A_2E_2D були рівнобедреними з основами A_1E_1 та A_2E_2 . В такому випадку тривалості проходження фронтом звукової хвилі пострілу відрізків DA_1 та DA_2 відповідно дорівнюють тривалостям проходження відрізків DE_1 та DE_2 , а ця хвиля досягне пар точок A_1 і E_1 та A_2 і E_2 одночасно. Тому можна записати наступне:

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= t_{DB_1} - t_{DA_1} = t_{E_1B_1}, \\ \Delta t_2 &= t_{DB_2} - t_{DA_2} = t_{E_2B_2}, \end{aligned} \quad (2)$$

де t_{DB_1} , t_{DA_1} , $t_{E_1B_1}$ – час проходження фронтом акустичної хвилі відповідних відрізків трикутника A_1B_1D , t_{DB_2} , t_{DA_2} , $t_{E_2B_2}$ – час проходження фронтом акустичної хвилі відповідних відрізків трикутника A_2B_2D , Δt_1 та Δt_2 – тривалості проходження фронту звукової хвилі вздовж акустичних баз відповідно A_1, B_1 та A_2, B_2 , що виявляють шляхом запуску таймера в момент реєстрації фронту звукової хвилі цілі в точках A_1 та A_2 і зупинки таймера в момент її реєстрації відповідно в точках B_1 та B_2 .

В основу широкозастосовуваної сьогодні методики використання системи ЗАР [7] покладено припущення, що довжини відрізків A_1D та B_1D чи A_2D та B_2D суттєво перевищують відповідні довжини акустичних баз. За такої умови кути $\angle A_1E_1B_1$ та $\angle A_2E_2B_2$ прямують до 90° . Тоді трикутники $A_1E_1B_1$ та $A_2E_2B_2$ можна вважати прямокутними, гіпотенузами яких є акустичні бази A_1B_1 та A_2B_2 . Беручи до уваги подібність прямокутних трикутників, яка для аналізованого методу корекції методичної похибки

обґрунтована у літературному джерелі [7], отримаємо рівність їх відповідних гострих кутів $\angle Y_1O_1D = \angle E_1A_1B_1$ та $\angle Y_2O_2D = \angle E_2A_2B_2$.

Виходячи з цих міркувань запишемо:

$$\begin{aligned} \angle Y_1O_1D &= \angle E_1A_1B_1 = \alpha_1 \\ \sin(\alpha_1) &= \frac{E_1B_1}{A_1B_1} = \frac{V \times \Delta t_1}{L_1}; \\ \angle Y_2O_2D &= \angle E_2A_2B_2 = \alpha_2 \\ \sin(\alpha_2) &= \frac{E_2B_2}{A_2B_2} = \frac{V \times \Delta t_2}{L_2}, \end{aligned} \quad (3)$$

де L_1 та L_2 – довжини 1-ї та 2-ї акустичних баз.

Припущення того, що трикутники $A_1E_1B_1$ та $A_2E_2B_2$ є прямокутними спричиняє виникнення методичних похибок, які з'являються внаслідок того, що цілі відносно акустичних баз розміщуються на параболах, фокуси яких розміщено в точках встановлення звукоприймачів, і ці параболи асимптотично наближуються до променів, які беруть свій початок з нульових координат, а також розміщені під кутом α_1 та α_2 відповідно до осей O_1Y_1 та O_2Y_2 . Тобто вирази (3) спричиняють лінеаризацію парабол, а це обумовлює виникнення похибок лінеаризації, величини якої є пропорційними до кривизни лінеаризованих кривих. Відносно парабол похибки лінеаризації є обернено пропорційними до віддалі від цілі (довжин відрізків O_1D та O_2D). Для корекції похибок лінеаризації в [8] запропоновано здійснювати розрахунок поправки:

$$\begin{aligned} \Delta \tau_{1\eta} &= \frac{\sin(2\alpha_1)}{16\eta_1^2} \cos(\alpha_1), \\ \Delta \tau_{2\eta} &= \frac{\sin(2\alpha_2)}{16\eta_2^2} \cos(\alpha_2), \end{aligned} \quad (4)$$

де $\Delta \tau_{1\eta}$ та $\Delta \tau_{2\eta}$ – поправки на синус кутів напрямку на ціль, $\eta_1 = \frac{R_1}{L_1}$ та $\eta_2 = \frac{R_2}{L_2}$ – відносні відстані до цілі, R_1 та R_2 – відстані до цілі (довжини відрізків O_1D та O_2D).

Результат вимірювання кутів напрямку на ціль з допомогою системи ЗАР α_1^* та α_2^* обчислюють наступним чином:

$$\begin{aligned} \alpha_1^* &= \arcsin(\sin(\alpha_1) + \Delta \tau_{1\eta}), \\ \alpha_2^* &= \arcsin(\sin(\alpha_2) + \Delta \tau_{2\eta}). \end{aligned} \quad (5)$$

Під час виведення формули для обчислення поправки використано вираз $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x} = 1$, який справджується для значень x в околі нуля. Якщо ж відстань до цілі є співмірною з довжиною AB ,

вказана границя стає хибною. З огляду на досить низьку чутливість мікрофонів звукоприймачів, саме такий випадок є властивим для розподіленої системи ЗАР [6].

Невраховані похибки обчислення кутів напрямів на ціль $\Delta\alpha_1$ та $\Delta\alpha_2$ можна визначити у відповідності до виразів:

$$\Delta\alpha_1 = \alpha_1^* - \alpha_1, \quad \Delta\alpha_2 = \alpha_2^* - \alpha_2. \quad (6)$$

З метою визначення ефективності запропонованого методу корекції методичної похибки, наведеного у [8], запропоновано застосувати імітаційне моделювання [9]. Такий підхід передбачає:

- створення програмної моделі каналу опрацювання даних модельованої системи [10];
- підготовку масивів вхідних сигналів та факторів, що впливають [11, 12];
- підготовку масивів вхідних сигналів, спотворених факторами, що впливають;
- подачу на вхід моделі каналу опрацювання даних можливих комбінацій спотворених вхідних сигналів;
- аналіз результатів дії цих факторів на результат функціонування модельованої системи.

Для досліджуваної корекції методичної похибки системи ЗАР такий узагальнений підхід можна подати у вигляді подальшого алгоритму:

- 1) задання координат звукоприймачів АБ із подальшим обчисленням її довжини;
- 2) задання координат цілі та обчислення реального кута напрямку на ціль;
- 3) обчислення часу проходження фронту звукової хвилі від цілі до кожного звукоприймача;

4) обчислення часу проходження фронту звукової хвилі вздовж АБ;

5) обчислення «виміряного» кута напрямку на ціль з врахуванням поправки;

6) отримання неврахованої похибки шляхом обчислення різниці між «виміряною» та реальною величиною кута напрямку на ціль.

Пункти 3...6 реалізуються для кожного з можливих значень координат цілі та звукоприймачів, тому формують собою тіло вкладеного циклу з фактичними лічильниками циклів, що задаються в п. 1 і п. 2.

Внаслідок виконання описаного алгоритму одержимо масив значень неврахованої похибки корекції методичної похибки для усіх варіацій вхідних аналізованих параметрів. Його слід використовувати з метою наступного аналізу [13] та виявлення закономірностей [14].

Залежність неврахованої похибки $\Delta\alpha$ від кута напрямку на ціль α та відношення η , одержаної внаслідок аналізу даних, отриманих шляхом імітаційного моделювання, показано на рис. 2. Січення цієї залежності наведено на рис. 3 і 4. Найбільше значення ця похибка набуває за умови найменших відстаней до цілі та $\alpha=51^\circ$, і це значення досягає $17,6^\circ$. Зі зростанням відстані до цілі похибка $\Delta\alpha$ асимптотично прямує до нуля. За умови $\eta \geq 3$ величина неврахованої похибки $\Delta\alpha$ корекції методичної похибки лінеаризації за методикою, наведеною у [8], не перевищує величини інструментальної похибки вимірювання кута напрямку цілі комплексів АЗК-5 та АЗК-7. Для $\alpha=51^\circ$, а також для $\alpha=\pm 90^\circ$ похибка $\Delta\alpha=0^\circ$ для всіх значень η .

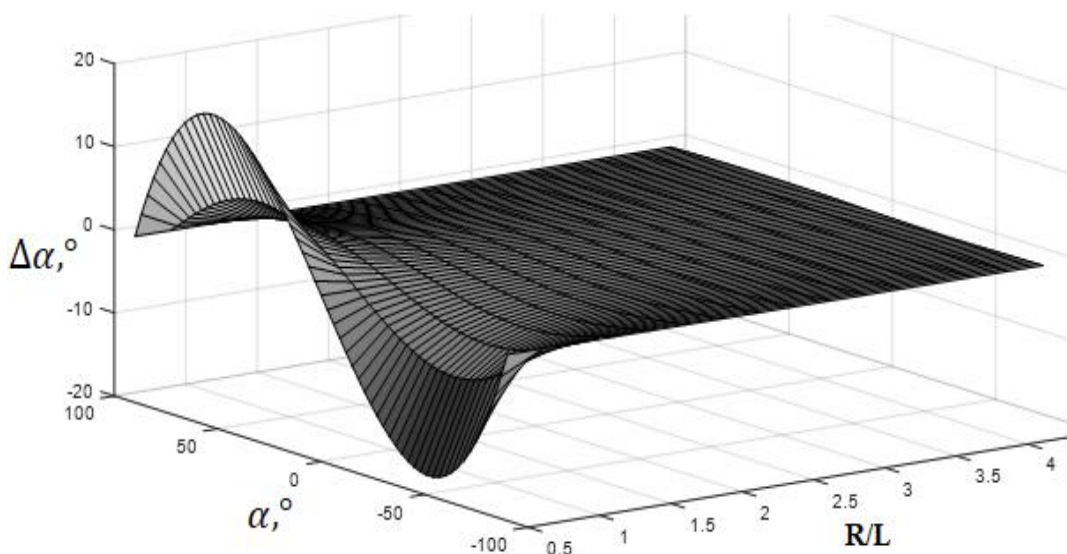


Рис. 2. Залежність неврахованої похибки $\Delta\alpha$ від кута напрямку до цілі α та відносної відстані до цілі η

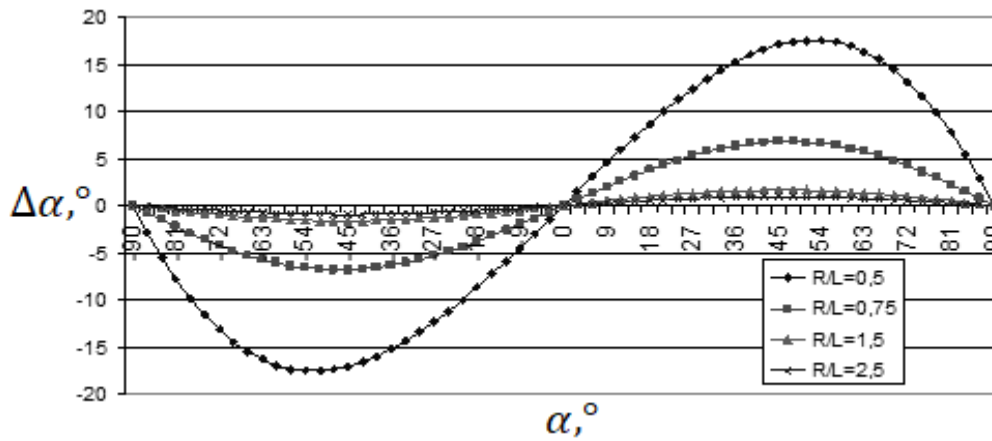


Рис. 3. Залежність неврахованої похибки $\Delta\alpha$ від α для дискретних значень η

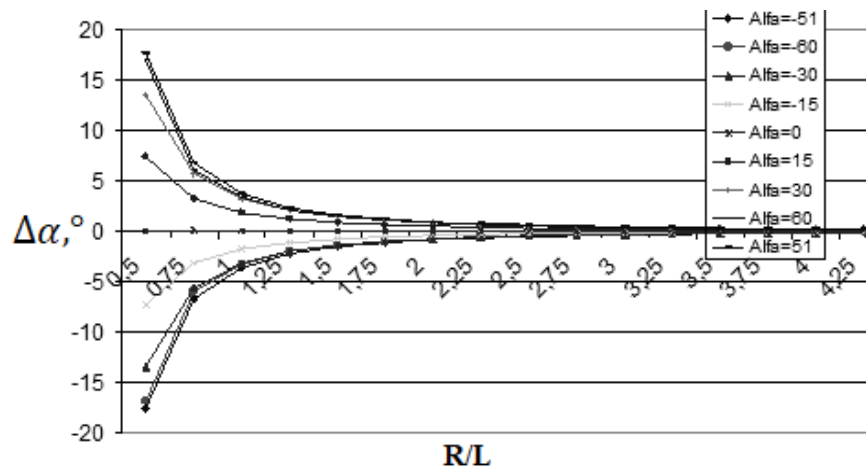


Рис. 4. Залежність не врахованої похибки $\Delta\alpha$ від η для дискретних значень α

Висновки

Проведено аналіз наявної методики корекції методичної похибки отримання кута напрямку цілі із застосуванням системи ЗАР. Мірою для оцінки ефективності корекції використано невиключену похибку вимірювання кута напрямку цілі. Розгляд залежності цієї похибки віддалі до цілі обумовлює висновки, що величина похибки є обернено пропорційною до відношення відстані до цілі до довжини АБ. За умов, коли значення цього відношення $\epsilon > 3$, невиключена похибка є меншою або дорівнює інструментальній похибці комплексів АЗК-5 та АЗК-7. Вплив взаємної орієнтації осі, що проходить через мікрофони, та осі, що прокладена через цілі та центр АБ, на невиключену похибку має різний характер, а для кутів 0^0 та $\pm 90^0$ дорівнює нулю. Найбільше значення невиключеної похибки можна отримати для кутів напрямку цілі $\pm 51^0$.

Запропоновані результати досліджень можуть бути застосовані для оцінки похибки результатів вимірювання координат цілей із використанням системи ЗАР для цілей, які встановлено близько до звукоприймачів. Ця оцінка може бути використана в

якості критерію вибору як координат для встановлення звукоприймачів розподіленої системи ЗАР [6], так і адаптації алгоритму опрацювання сигналів цих звукоприймачів.

Проаналізована похибка виникає через низьку ефективність лінеаризації кривої другого порядку – гіперболи, якій, по суті, належать координати цілі, відрізками прямої з корекцією нелінійності із використанням наближених розрахунків тригонометричних функцій. Ця методика не потребує високої обчислювальної складності, однак її ефективність прямо пропорційна до величини коригованої нелінійності, яка набуває найбільшого значення в початку системи координат. Випадки, коли довжина АБ та відстань до цілі – співмірні величини, а координати цілей розташовані близько до координат автономних звукоприймачів, можуть часто траплятись в умовах мінливості ситуації на полі бою. Це обумовлює актуальність використання точніших методів розрахунку координат цілей у порівнянні із наведеними в роботі [8]. Використання таких методів потребує створення спеціалізованих обчислювальних засобів, які підпадають під вимоги відповідних галузевих стандартів [15, 16].

Список літератури

1. McCain Dennis. Implementing Cellular IoT Solutions for Digital Transformation: Successfully Develop, Deploy, and Maintain LTE and 5G Enterprise IoT Systems. Індія: Packt Publishing, Limited, 2023.
2. Презентовано український тактичний розвідувально-ударний комплекс, лазерну систему виявлення снайперів та інші розробки. Центр досліджень регіональної безпеки – Сумський державний університет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rcrs.sumdu.edu.ua/all-news/128-2016-10-02-19-19-25.html>
3. ArtOS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://artos.tech/>
4. Новітні технології для артилеристів: комплекс «Оболонь-А». Національний Промисловий Портал – Новини Промисловості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uprom.info/articles/nauka-ta-tehnika/novitni-tehnologiyi-dlya-artileristiv-kompleks-obolon-a/>
5. Priyadarshi, Rahul. Energy-efficient routing in wireless sensor networks: A meta-heuristic and artificial intelligence-based approach: A comprehensive review. Archives of Computational Methods in Engineering, 2024, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s11831-023-10039-6>
6. Кочан Р.В., Трємбач Б.Р. Концепція розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки на базі стільникового зв'язку. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2016. № 1. С. 59-63.
7. Кривошеєв А.М., Петренко В.М., Приходько А.І. Основи артилерійської розвідки : навч. посібник. Суми: Сумський державний університет, 2014. 393 с.
8. Таланов. А.В. Звуковая разведка артиллерии. М. : Военное издательство министерства вооруженных сил Союза ССР, 1948. 404 с.
9. Malik N. H. A review of the charge simulation method and its applications. *IEEE Transactions on electrical insulation*, 1989. № 24(1). pp. 3-20.
10. Kochan R. Approach to development metrological software test for verification intelligent instrumentation. In *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. Proceedings of the Second IEEE International Workshop*, September 2003. pp. 168-173.
11. Kochan, R., Sаченко, А. Metrology software test for verification of sensor based instrumentation. In *Sensors for Industry Conference. Proceedings the ISA/IEEE*, 2004. pp. 123-128.
12. Chen J., Su J., Kochan O., Levkiv M. Metrological Software Test for Simulating the Method of Determining the Thermocouple Error in Situ During Operation. *Measurement Science Review*, 18(2), pp. 52-58. DOI: 10.1515/msr-2018-0008
13. Yeromenko V., Kochan O. The conditional least squares method for thermocouples error modeling. *Proc. of 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013 IEEE* Vol. 1, pp. 157-162. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6662661
14. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 1996. 17(3). 37 p.
15. Janka R. S. Specification and design methodology for real-time embedded systems. Springer Science & Business Media, 2002.
16. Badiru A. B., Thomas M. U. Handbook of military industrial engineering. CRC press, 2009.

Reference

1. McCain Dennis. (2023), Implementing Cellular IoT Solutions for Digital Transformation: Successfully Develop, Deploy, and Maintain LTE and 5G Enterprise IoT Systems. India: Packt Publishing, Limited.
2. (2016), "Prezentovano ukraïnskii taktychni rozvidualno-udarnyi kompleks, lazernu system vyjavlennya snajperiv ta inshi rozrobky" [Ukrainian tactical reconnaissance-strike complex, laser sniper detection system and other developments were presented]. Regional Security Research Center - Sumy State University [Electronic resource] - Access mode: <http://rcrs.sumdu.edu.ua/all-news/128-2016-10-02-19-19-25.html> [in Ukrainian]
3. ArtOS [Electronic resource] - Access mode: <https://artos.tech/>
4. "Novitni tehnologii dlia artyleristiv: kompleks Obolon-A " [The latest technologies for gunners: the Obolon-A complex]. National Industrial Portal - Industry News [Electronic resource] - Access mode: <http://uprom.info/articles/nauka-ta-tehnika/novitni-tehnologiyi-dlya-artileristiv-kompleks-obolon-a/> [in Ukrainian]
5. (2024), Priyadarshi Rahul. Energy-efficient routing in wireless sensor networks: A meta-heuristic and artificial intelligence-based approach: A comprehensive review. Archives of Computational Methods in Engineering, pp. 1-29. <https://doi.org/10.1007/s11831-023-10039-6>
6. Kochan R.V. and Trembach B.R. (2016.), "Konceptia rozpodilenoï avtomatychnoi systemy zvukovoi artyleriiskoi rozvidky na bazi stilnykovogo zviazku" [The concept of a distributed automatic sound artillery reconnaissance system based on cellular communication]. *Modern information technologies in the sphere of security and defense*. No. 1. pp. 59-63. [in Ukrainian]
7. Kryvosheev A.M., Petrenko V.M. and Prykhodko A.I. (2014), "Osnovy artyleriiskoi rozvidky : navch. posibnyk" [Basics of artillery reconnaissance : teaching manual]. Sumy: Sumy State University. 393 p. [in Ukrainian]
8. Talanov. A.V. (1948), Artillery sound reconnaissance M.: Military Publishing House of the Ministry of the Armed Forces of the USSR. 404 p. [in Ukrainian]
9. Malik N.H. (1989), A review of the charge simulation method and its applications. *IEEE Transactions on electrical insulation*, № 24(1), pp. 3-20.
10. Kochan R. (2003 September), Approach to development metrological software test for verification of intelligent instrumentation. In *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 2003. Proceedings of the Second IEEE International Workshop*. pp. 168-173.
11. Kochan R. and Sаченко A. (2004), Metrology software test for verification of sensor-based instrumentation. In *Sensors for Industry Conference. Proceedings the ISA/IEEE*. pp. 123-128.
12. Chen J., Su J., Kochan O. and Levkiv M. (2018), Metrological Software Test for Simulating the Method of Determining the Thermocouple Error in Situ During Operation. *Measurement Science Review*, № 18(2), pp. 52-58. DOI: 10.1515/msr-2018-0008
13. Yeromenko V. and Kochan O. (2013), The conditional least squares method for thermocouples error modeling. *Proc. of 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition*

and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2013 IEEE. Vol. 1. pp. 157-162. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6662661

14. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., and Smyth P. (1996), From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*. № 17 (3). 37 p.

15. Janka R. S. (2002), Specification and design methodology for real-time embedded systems. Springer Science & Business Media.

16. Badiru A. B. and Thomas M. U. (2009), Handbook of military industrial engineering. CRC press.

EFFICIENCY ANALYSIS OF CORRECTION METHOD OF METHODOLOGICAL ERROR OF DISTRIBUTED AUTOMATIC SYSTEM OF SOUND ARTILLERY INTELLIGENCE ON THE BASIS OF CELLULAR COMMUNICATION

R. Kochan, V. Lozynskyy, K. Snitkov

In this article, the topical problem of determining the effectiveness of the method of correcting the methodological error of the distributed automatic sound artillery reconnaissance system (SAR) is considered. The information on deviation of values of methodical error obtained during application of the mentioned method from ideal values, which were obtained by means of computer modelling, was compared. The non-excluded measurement error of the target direction angle was used as a measure to evaluate the effectiveness of the correction. Consideration of the dependence of this error on the distance to the target determines the conclusion that the error value is inversely proportional to the ratio of the distance to the target to the length of AB. The results of the comparison showed a significant deviation of the values in cases where the sound receiver of the SAR system is located close to the sound signal source. The latter can often happen in SAR systems built on the basis of cellular communication. The existing methodology for correcting the methodological error of obtaining the angle of direction of the target was analysed. To assess the effectiveness of the correction method for various initial data, a "non-excluded" error of measuring the angle of direction of the target was used.

In order to determine the effectiveness of the proposed method of methodical error correction, it is proposed to apply simulation modeling. The results of computer modeling, which justify the need to use more accurate methods of calculating the error with the use of specialized computing tools, are also presented.

The proposed research results can be applied to estimate the error of target coordinate measurement results using the SAR system for targets installed close to sound receivers. This assessment can be used as a criterion for selecting both coordinates for installing sound receivers of the distributed system of SAR, and adapting the signal processing algorithm of these sound receivers.

Keywords: sound artillery reconnaissance (SAR), acoustic base (AB), cellular communication, sound receiver, angular measurements.

УДК 355.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.44-51>

М.О. Кудрицький¹, Н.В. Патер¹, В.О. Костриця²

¹Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 01 October 2024; Revised 03 October 2024; Accepted 04 November 2024

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ БОЙОВИХ ВТРАТ ОСОБОВОГО СКЛАДУ З МЕТОЮ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті висвітлені пропозиції щодо алгоритму визначення бойових санітарних та безповоротних втрат особового складу з метою прогнозування зміни ефективності бойового застосування озброєння і військової техніки.

Для цього авторами запропоновано коефіцієнт збереження ефективності бойового застосування, який враховує результати спільного функціонування таких систем: забезпечення працездатними зразками озброєння і військовою технікою (підсистеми виробництва та закупівлі, відновлення, резерву); забезпечення витратними матеріально-технічними засобами (ракетами і боєприпасами, пально-мастильними матеріалами); системи підготовки військовослужбовців (екіпажів).

Коефіцієнт теоретично підтверджує той факт, що ефективність бойового застосування частини (підрозділу) під час бойових дій залежить від наявності саме боєздатних зразків озброєння і військової техніки, зокрема таких, які укомплектовані підготовленими екіпажами, витратними матеріально-технічними засобами (ракетами і боєприпасами, пально-мастильними матеріалами тощо).