

РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОВТ

УДК 356.168; 629.78; 621.39

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.3-8>А. Дзюба¹, Ю. Бударецький¹, І. Петлюк¹, І. Горбатий², А. Бондарев²¹ Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів² Національний університет "Львівська політехніка", Львів

Article history: Received 23 September 2024; Revised 01 October 2024;

Accepted 04 November 2024

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОГО ЗВ'ЯЗКУ БОРТОВОЇ І НАЗЕМНОЇ АПАРАТУРИ ІНТЕГРОВАНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ РОЗВІДКИ НАЗЕМНИХ ЦІЛЕЙ

Матеріальну основу ударної потужності сухопутних угруповань провідних країн складають високоманеврені вогневі об'єкти (пускові установки тактичних і оперативно-тактичних ракет, батареї, взводи, секції причіпних і самохідних гармат, реактивні системи залпового вогню, міномети).

За оціночними даними, на ракетні війська і артилерію у протистоянні з росією припадає від 70 до 80% всіх втрат, зазнаних сторонами конфлікту. Ефективність вогню ракетних військ і артилерії досягається: своєчасним отриманням точних даних про місцеположення, розміри та характер цілі; правильним вибором засобів ураження; доцільним порядком виконання вогневого завдання та способом обстрілу цілі.

Суттєве значення в процесі підготовки даних для стрільби і управління вогнем мають інструментальні засоби артилерійської розвідки (ІЗАР). Ключовими тактичними характеристиками ІЗАР є максимальна дальність та інформативність.

Ефективним інструментом зняття обмежень на дальність спостереження наземних цілей за межами оптичного горизонту є установка приладів спостереження на борту безпілотного літального апарата (БПЛА).

У статті розглянуті теоретичні та прикладні аспекти підвищення ефективності формування і передачі цільової та службової інформації з борту БПЛА на модернізований комплекс розвідки вогневих позицій (РВП) у складі інтегрованого комплексу артилерійської розвідки.

Ключові слова: артилерійська розвідка; завадозахищеність; радіолокаційний комплекс розвідки вогневих позицій; безпілотний літальний апарат; фазова автоматичне налаштування частоти.

Постановка проблеми

Досвід бойових дій у ході російсько-української війни переконливо свідчить, що в сучасних умовах успіх має той, хто своєчасно забезпечений інформацією про противника та цільову обстановку [1].

При інтеграції повітряних і наземних ІЗАР прилади спостереження розміщують на БПЛА, а координатну інформацію про наземні цілі, в тому числі загоризонтні, передають радіоканалом на модернізований радіолокаційний комплекс (РЛК) РВП для суміщення з інформацією, отриманою у штатному режимі бойової роботи РЛК РВП. При цьому забезпечується одночасно зняття обмежень за дальністю спостереження рухомих та нерухомих цілей, а також наявності або ж відсутності їх вогневої активності.

Актуальність роботи

Актуальність роботи зумовлена необхідністю розв'язання протиріччя між граничною дальністю, швидкістю отримання розвідувальної й управлінської інформації та цільовою каналністю артилерійської розвідки при одночасному забезпеченні бойової ефективності роботи по наземних цілях рухомих, нерухомих і активних у вогневому відношенні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [2, 3] розглянуті та проаналізовані наукові і прикладні аспекти методології конструктивно-функціонального об'єднання для підвищення бойової ефективності артилерійської розвідки наземних та повітряних засобів спостереження різних ділянок спектра електромагнітних хвиль (ЕМХ).

У роботі [4] розглянуто питання сумісної структурно-функціональної оптимізації наземної та бортової апаратури інтегрованого комплексу артилерійської розвідки, а також на основі імітаційної системи GCATS виконаний модельний експеримент щодо оцінки бойової ефективності запропонованої методології артилерійської розвідки.

Однак за межами аналізу з'ясувались роботи з оптимізації побудови завадозахищеного зв'язку бортової та наземної частин інтегрованого каналу артилерійської розвідки.

Перспективним напрямом у розвитку систем зв'язку з БПЛА є використання частотних діапазонів вище 5 ГГц. При цьому стає можливим передавання великого обсягу даних корисного навантаження в режимі реального часу (наприклад, це можуть бути зображення з давачів випромінювання різних діапазонів довжин хвиль). Факторами, різко обмежувачими радіус дії радіосистеми зв'язку при використанні цих діапазонів, є сильна залежність умов поширення електромагнітних хвиль від погодних умов, необхідність прямої видимості і вплив багатопроменевості [5].

Зараз на озброєнні багатьох армій є велика кількість різноманітних систем радіоелектронної боротьби (РЕБ). Тому противнику для успішного виведення з ладу ворожого БПЛА потрібно виявити частоти, на яких здійснюється управління апаратом, а потім заглушити їх перешкодами.

Далеко не всі сучасні БПЛА мають на борту автоматику, здатну перехопити управління у випадку втрати або порушення сигналу від оператора. Також слід зазначити й інший момент: при втраті

зв'язку з оператором стає неможливим і передавання розвідувальної інформації з відеокамер БПЛА.

У роботі [6] розглянуто загальні відомості про сучасний стан технічних засобів сфери БПЛА, більш конкретно розглянуто принципи систем зв'язку з БПЛА та способи їх злому. Проведений аналіз показав, що існують випадки злому зв'язку на поліцейських і воєнних БПЛА, а цивільні дрони є не захищеними взагалі.

У роботах [6, 7] розкрита можливість опціонально в системі передавання телеметричної інформації з борту БПЛА на наземний телеметричний комплекс разом із даними, а також створення окремого радіоканалу для передавання сигналів керування з наземного комплексу на БПЛА.

Формулювання мети статті

Удосконалення апаратно-програмних засобів каналів зв'язку "РЛК РВП ↔ БПЛА" інтегрованого комплексу загоризонтної артилерійської розвідки для підвищення його бойової ефективності.

Виклад основного матеріалу

З міркувань забезпечення енергетики і максимізації співвідношення "ефективність/ціна" запропоновано у каналах прийому передачі інформації в якості базового елемента використовувати модуль фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Відповідні структурні схеми передавального і приймального пристроїв показані на рис. 1, 2.

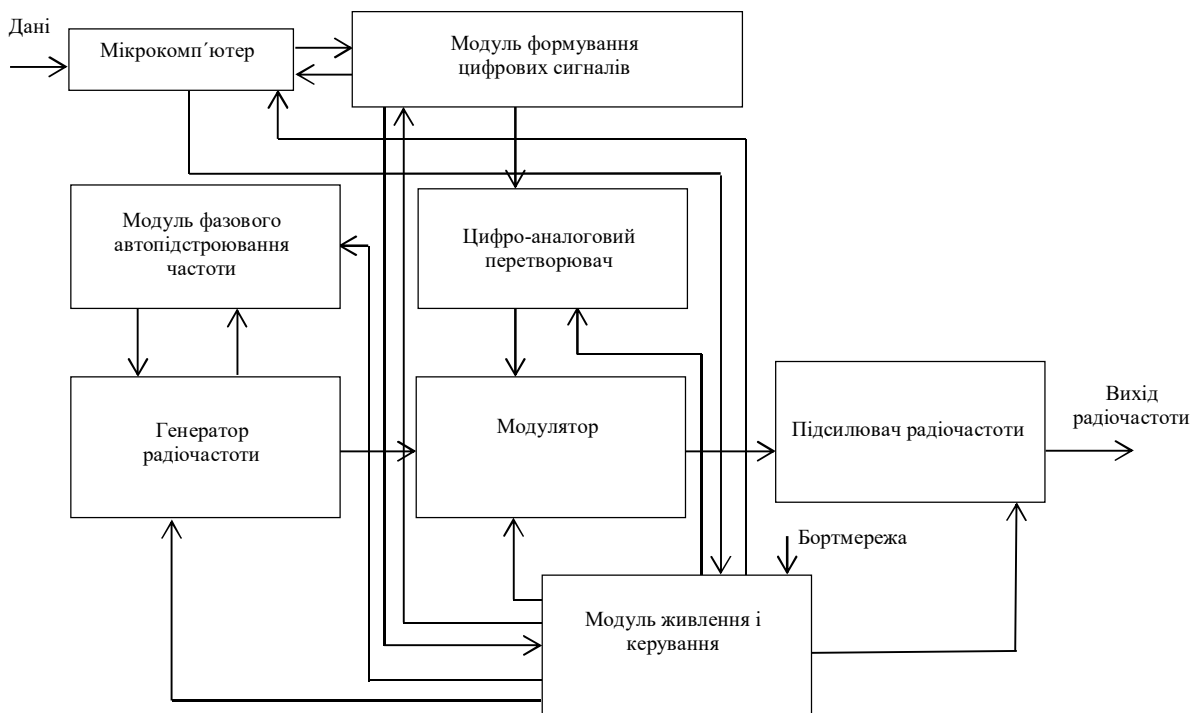


Рис. 1. Структурна схема передавального пристрою

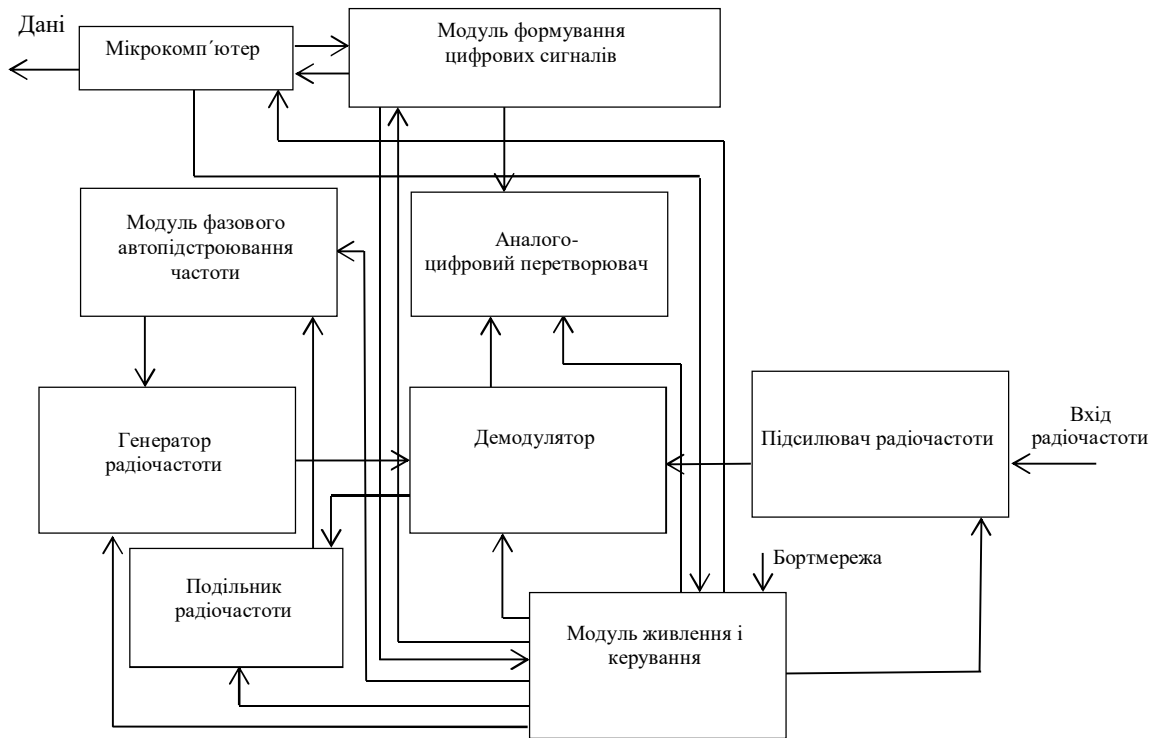


Рис. 2. Структурна схема приймального пристрою

Для підвищення завадостійкості, інформаційної та енергетичної ефективності каналу зв'язку запропоновано використовувати новий різновид амплітудно-фазової модуляції – амплітудну модуляцію багатьох складових (АМБС, amplitude modulation of many components – АММС), згідно з яким модульований сигнал формують у вигляді суми його N гармонічних складових, що відрізняються початковими фазами ϕ_n . Такий сигнал має вигляд

$$u_{AMBC}(t) = \sum_{n=1}^N U_0 a_n u_{M_n} \cos(\omega_0 t + \phi_0 + \phi_n), \quad (1)$$

де a_n – коефіцієнти пропорційності для n -х каналів модулятора;

$u_{M_n}(t)$ – модулюючі сигнали на n -х входах модулятора.

Заслуговує на увагу АМБС-сигнал, при формуванні якого використано складові, зсунуті між собою на фазові кути

$$\Delta\phi = \pi/N. \quad (2)$$

Приклади сигнальних сузір'їв, доцільних для використання АМБС-сигналів, наведені на рис. 3.

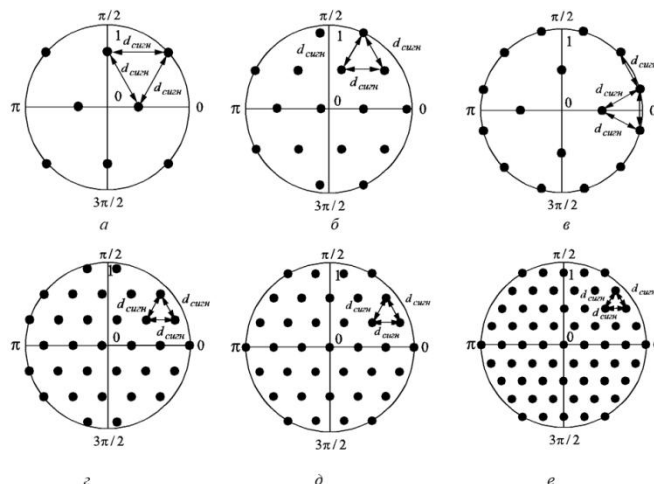


Рис. 3. Сигнальні сузір'я:

a – 8-АМБС-сигналу (3 складові) із зсувом; b – 16-АМБС-сигналу (3 складові) із зсувом; c – 16-АМБС-сигналу (4 складових) із зсувом; d – 32-АМБС-сигналу (3 складові) із зсувом; e – 61-АМБС-сигналу (3 складові)

Для здійснення формування таких сигналів застосовано АМБС модулятор, а для оброблення таких сигналів – АМБС демодулятор.

Особливості реалізації основних складових частин передавального та приймального пристроїв диктуються суперечливістю вимог до швидкості та завадостійкості передавання даних. Звуження смуги пропускання демодулятора дає можливість встановити і підтримувати зв'язок за значно меншого рівня відношення сигнал-завада на вході, тобто вимагає меншої потужності передавача. Але таке звуження призводить до зменшення швидкості передавання

даних і звуження смуг захоплення та утримання частоти вхідного сигналу. Навпаки, розширення шумової смуги забезпечує вищу швидкість передавання і менший час перехідних процесів, але вимагає більшої потужності сигналу.

Це протиріччя розв'язане шляхом структурної модифікації системи на основі ФАПЧ [7, 8]. З модифікованої системи ФАПЧ, що відображена на рис. 4, використовується квадратурний фільтр перед фазовим детектором, що редукує шумові зриви синхронізації, та коригувальний фільтр верхніх частот після фазового детектора, що відновлює динамічні властивості.

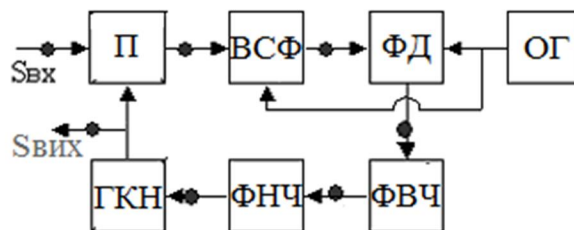


Рис. 4. Структурна схема модифікованої системи ФАПЧ:

ВСФ – вузькосмуговий фільтр; ФНЧ – фільтр нижніх частот (петлі); ФВЧ – активний фільтр верхніх частот; ФД – фазовий детектор; ОГ – опорний генератор; ГКН – генератор, керований напругою

Модифікована система ФАПЧ може стати основою для розробки вимірювачів параметрів руху високодинамічних об'єктів, у тому числі наземних [9].

Подальшим дослідженням, що ми ставимо перед собою, є розробки вимірювачів параметрів руху високодинамічних об'єктів завадозахищеного зв'язку.

Висновки

Запропонована структура системи завадозахищеного зв'язку на базі ФАПЧ, яка дає змогу збільшити дальність і завадозахищеність зв'язку між БПЛА й наземним комплексом РЛК РВП з одночасною уніфікацією на БПЛА та наземній апаратурі.

Список літератури

1. Кривошеєв А. М., Приходько А. І., Петренко В. М. Основи артилерійської розвідки : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2014. 393 с.
2. Зубков А. М., Щерба А. А. Підвищення ефективності артилерійської розвідки шляхом конструктивно-функціональної інтеграції повітряних та наземних засобів спостереження. *Радіоелектроніка, автоматика, управління*. 2014. № 2. С. 29–32.
3. Посіб артилерійської розвідки і комплекс для його реалізації: пат. 112997 Україна : МПК G–015 13/00, GOLS 13/28 (2006.01): заявл. 07.07.2014; опубл. 12.01.2016. Бюл. № 1. 3 с.
4. Зубков А. М., Каменцев С. Ю., Красник Я. В., Прокопенко В. В., Щерба А. А. Просторово-спектральні методи підвищення ефективності артилерійської розвідки. *Військово-технічний збірник*. Львів : НАСВ, 2023. № 28. С. 77–87. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.77-87>
5. Gorbaty I. V. Investigation of the technical efficiency of state-of-the-art telecommunication systems and networks with limited bandwidth and signal power.

Automatic Control and Computer Sciences. 2014, Vol. 48, Issue 1, pp. 47–55.

6. Пристрій фазової автопідстройки частоти: пат. на винахід № 66435. Н03L7/00 Україна. Заявка № 4869869 від 01.10.90; опубл.: 2004, Бюл. № 5. 4 с.

7. Бондарев А. П., Бударецький Ю. І., Олійник М. Я. Дослідження та моделювання стежних траєкторних вимірювачів. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. Національний університет “Львівська політехніка”. 2021. № 1(1). 2021. С. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.23939/istee2021.01.10511>

8. Бондарев А. П., Бударецький Ю. І., Олійник М. Я. Багатопараметрична модель пристрою стеження за частотою та інтерфейс програми для її аналізу. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. Національний університет “Львівська політехніка”. 2021. № 1(2). 2021. С. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.23939/istee2021.02.114>

9. Бобало Ю. А., Бондарев А. П., Бударецький Ю. І., Стрихалок Б. М., Олійник М. Я. Дослідження траєкторних вимірювачів сантиметрового та міліметрового діапазонів. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. Національний університет “Львівська політехніка”. 2023. № 3(2). 2023. С. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.23939/istee2023.02.150>

10. Ганін О. І., Ципоренко В. Г. Дослідження затухання Wi-Fi сигналів у частотному діапазоні 5 ГГц. *Журнал Технічна інженерія*. Львів, 2023. № 1. С. 249–255.

11. Цимбалюк І. Р., Горбатий І. В. Підхід до обробки радіосигналів з амплітудною модуляцією багатьох компонентів за допомогою одновимірної згорткової нейронної мережі *Східно-Європейський журнал підприємницьких технологій*. 2023. № 9 (126), ст. 14–22.

12. Хоменко Ж. М. Особливості систем зв'язку БПЛА. *Інформаційно-комп'ютерні технології* : зб. тез доп. наук.-практ. конф., Житомирська політехніка, Житомир 2021. С. 205.

Reference

1. Kryvosheev A. M., Prykhodko A. I. and Petrenko V. M. (2014), "Osnovy artileriy's'koyi rozvidky" [Fundamentals of Artillery Reconnaissance]: Teaching. Manual, Sumy State University, Sumy. 393 p. [in Ukrainian].
2. Zubkov A.M. and Shcherba A.A. (2014), "Pidvyshchennya efektyvnosti artileriy's'koyi rozvidky shlyakhom konstruktivno-funktsional'noyi intehratsiyi povitryanykh ta nazemnykh zasobiv sposterezheniya" [Increasing the effectiveness of artillery reconnaissance through structural and functional integration of air and ground surveillance equipment]. *Radio electronics, automation, control*. № 2. pp. 29–32.
3. Patent of Ukrainian (2016), "Sposib artileriy-s'koyi rozvidky i kompleks dlya yoho realizatsiyi" [The method of artillery reconnaissance and the complex for its implementation]. Patent 112997 Ukraine, IPC G–015 13/00, GOLS 13/28 (2006.01) : stated 07.07.2014; published 12.01.2016. Bulletin № 1, 3 p. [in Ukrainian].
4. Zubkov A.M., Kamensev S.Yu., Krasnyk Y.V., Prokopenko V.V. and Shcherba A.A. (2023), "Prostorovo-spektral'ni metody pidvyshchennya efektyvnosti artileriy's'koyi rozvidky" [Spatial-spectral methods of improving the effectiveness of artillery reconnaissance]. *Military and technical collection*. Lviv: NASV, 2023 №. 28. pp. 77 – 87. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.77-87>
5. Gorbaty I.V. Investigation of the technical efficiency of state-of-the-art telecommunication systems and networks with limited bandwidth and signal power. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2014, Vol. 48, Issue № 1, pp. 47–55.
6. Patent of Ukraine (2004), "Prystryy fazovoyi avtopidstroyky chastoty" [Device for phase auto-adjustment of frequency]. Patent 66435. H03L7/00 Ukraine : stated 01.10.1990; published 2004. Bulletin № 5, 4 p. [in Ukrainian].
7. Bondarev A.P., Budaretskyi Yu.I. and Oliinyk M.Ya. (2021), "Doslidzhennya ta modelyuvannya stezhnykh trayektornykh vymiryuvachiv" [Research and modeling of track trajectory meters]. *Journal "Information communication technologies and electronic engineering"* of the National University "Lviv Polytechnic". 2021. Issue № 1(1). pp. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.23939/istee2021.01.10511>
8. Bondarev A.P. Budaretskyi Yu.I. and Oliinyk M.Ya. (2021), "Bahatoparametrychna model' prystroyu stezhennya za chastotoyu ta interfeys prohramy dlya yiyi analizu" [Multi-parameter model of frequency monitoring device and program interface for its analysis]. *Journal "Information communication technologies and electronic engineering"* of the National University "Lviv Polytechnic". 2021. Issue № 1(2). pp. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.23939/istee2021.02.114>
9. Bobalo Yu.A., Bondarev A.P., Buderetskyi Yu.I., Strykhaluk B.M. and Oliinyk M.Ya. (2023), "Doslidzhennya trayektornykh vymiryuvachiv santymetrovoho ta milimetrovoho diapazoniv" [Research of trajectory meters of centimeter and millimeter ranges]. *Journal "Information Communication Technologies and electronic engineering"* of the National University "Lviv Polytechnic". 2023. Issue № 3(2). pp. 150–157. DOI: <https://doi.org/10.23939/istee2023.02.150>
10. Ganin O.I. and Tsyopenko V.G. (2023), "Doslidzhennya zatukhannya Wi-Fi syhnaliv u chastotnomu diapazoni 5 HHts" [Study of attenuation of Wi-Fi signals in the 5 GHz] frequency range. *Technical engineering magazine*. Lviv, 2023. Issue № 1. pp. 249–255.
11. Tsymbaliuk I.R. and Horbatiy I.V. (2023), "Pidkhd do obrobky radiosyhnaliv z amplitudnoyu modulyatsiyeyu bahat'okh komponentiv za dopomohoyu odnovymirnoyi zhorkovoyi neyronnoyi merezhi" [Approach to processing radio signals with amplitude modulation of many components using one-dimensional convolutional neural network]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Issue № 9(126), pp. 14–22.
12. Khomenko Zh. M. (2021), "Osoblyvosti system zv'yazku BPLA." [Peculiarities of UAV communication systems]. *Information and computer technologies: coll. theses add. science and practice conference, Zhytomyr Polytechnic, Zhytomyr 2021*. P. 205.

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF THE SECURITY COMMUNICATION SYSTEM OF ON-BOARD AND GROUND EQUIPMENT OF THE INTEGRATED RADIO COMPLEX FOR RECOVERY OF GROUND TARGETS

Artem Dziuba, Yuriy Budaretskyi, Ivan Petliuk, Ivan Horbatiy, Andrii Bondarev

The basis of the offensive ground grouping of the armies of the militarily leading countries are highly maneuverable objects (launchers of tactical missiles, batteries, platoons, sections of self-propelled guns, rocket launchers and mortars, self-propelled installations of anti-aircraft guns and anti-aircraft guided missiles with an autonomous system guidance, helicopters on landing sites, defeating these objects is artillery. According to estimated data, artillery in the confrontation with Russia accounted for 70 to 80% of all losses suffered by the parties to the conflict.

The effectiveness of artillery fire depends on the total error of the shot, the number of guns involved in hitting the target, the rate of fire of artillery systems, the striking effect of ammunition and their number, the area of the target, the timeliness of its detection and opening fire on it. At the same time, the speed of detecting a highly maneuverable target and the accuracy of determining its coordinates play a key role in attacking the enemy with fire. Therefore, in the process of preparing data for firing and fire control, artillery reconnaissance means are of essential importance. The key tactical characteristics of artillery reconnaissance are maximum range and informativeness. The combination of these tasks consists in the integration of air and ground means of surveillance within the framework of a single automated radar complex for reconnaissance of firing positions and unmanned aerial vehicles (UAVs).

The exchange of information between the ground and air components of the complex, the transmission of data to the automated guidance and fire control system takes place through the interference-protected communication channels using signal repeaters placed on the UAV.

For the practical implementation of such complexes, new and improved known methods of signal generation and processing are proposed. The developed phase, clock and frame synchronization systems are based on the modernized scheme of the phase auto-frequency adjustment system, which makes it possible to reduce the time of entering into synchronization and increase the tracking band, significantly improve the quality of signal demodulation, and significantly increase the immunity of communication channels in the conditions of a complex interference environment.

The mathematical models developed in the work made it possible theoretically and experimentally, through simulation modeling on computer, without material costs to evaluate the effectiveness of using the proposed new and improved known methods of synthesis of hardware to ensure communication with the necessary reliability and reliability of information transmission.

Based on the results of simulation modeling, the structure of the radio channel using the relay of information signals and control commands, the structural diagrams of the transmitting and receiving devices, and the main technical characteristics of their constituent parts are determined. This made it possible to implement an experimental sample of the proposed system of interference-protected communication, to evaluate the achieved technical characteristics and to determine ways to improve them.

Keywords: *artillery reconnaissance; immunity; radar complex for reconnaissance of firing positions; unmanned aerial vehicle; phase automatic frequency adjustment.*

УДК 623.43:629.4.027.32

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.8-20>

В.В. Дущенко¹, Р.А. Нанівський²

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 10 September 2024; Revised 18 September 2024;

Accepted 04 November 2024

РОЗВИТОК СИСТЕМ ПІДРЕСОРЮВАННЯ ТА ЇХ ПОТЕНЦІАЛ У ПІДВИЩЕННІ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

Встановлено функціональний взаємозв'язок між досконалістю системи підресорювання, взаємопогодженням її характеристик з характеристиками комплексів озброєння, силової установки і трансмісії та підвищенням показників основних груп тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин. На основі проведеного аналізу тенденцій розвитку оцінено потенціал та визначено головні напрями розвитку системи підресорювання, які принципово вплинуть на забезпечення виконання сучасних і перспективних оперативно-тактичних вимог та призведуть до суттєвого зростання тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин. Це: застосування гідропневматичних підвісок, впровадження нетрадиційних систем керування характеристиками вузлів підвіски на основі використання «інтелектуальних» матеріалів, зокрема магніторелогічних еластомерів, застосування фрикційних амортизаторів та нових кінематичних схем підвіски зі значно збільшеним динамічним ходом, а також застосування систем рекуперації енергії демпфірувальних пристроїв підвіски.

Ключові слова: *бойова броньована машина, тактико-технічні характеристики, система підресорювання, вогнева могутність, рухливість, захищеність.*

Постановка проблеми

Основні напрями розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) в Україні передбачають забезпечення військових підрозділів сучасними зразками бойових броньованих машин (ББМ) з підвищеними характеристиками мобільності, прохідності, автономності, економічності та захищеності особового складу [1]. Підкреслюється, що ОВТ Сухопутних військ будуть розвиватися з урахуванням набутого досвіду ведення бойових дій, вимог щодо високої маневреності підрозділів, автономності їх дій та дальнього вогневого ураження противника. ББМ повинні мати оптимальні варіанти забезпечення

основних тактико-технічних вимог (ТТВ) (висока мобільність, підвищена вогнева могутність та захищеність), максимальну надійність, високу прохідність і запас ходу [2].

Можливість виконання переважної більшості ТТВ тією чи іншою мірою, залежить від рівня технічного розвитку систем підресорювання (СП) ББМ, тим не менш питання впливу досконалості СП ББМ на основні показники їх тактико-технічних характеристик (ТТХ) не систематизовані, а стосовно вогневої могутності і захищеності є малодослідженими. У свою чергу, СП вітчизняних ББМ, внаслідок недофінансування використовують застарілі технічні рішення минулого сторіччя, відстають