УДК 623.618:621.396

А. О. Гусак

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ АПАРАТНИХ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОГО РАДІОПОЛЯ

***Анотація**. Розглянуто практичні проблеми експлуатації та оперативного розгортання комплексних апаратних зв'язку (КАЗ) для формування адаптивного радіополя на пунктах управління тактичної ланки. Проаналізовано чинники, що визначають час розгортання антенно-щоглових пристроїв, вимоги до енергозабезпечення, маскування позицій за радіо-, тепловими та акустичними ознаками, а також сумісність вітчизняного й західного обладнання в польових умовах. Запропоновано напрями підвищення оперативності розгортання та живучості КАЗ.*

***Ключові слова**: комплексна апаратна зв'язку, адаптивне радіополе, антенно-щоглові пристрої, енергозабезпечення, маскування, сумісність.*

***Abstract**. The paper considers practical problems of operation and rapid deployment of communication equipment shelters used to form an adaptive radio field at tactical command posts. The factors that determine the deployment time of antenna-mast devices, power supply requirements, concealment of positions by radio, thermal and acoustic signatures, and the compatibility of domestic and Western equipment in the field are analysed. Ways to improve deployment speed and survivability of the shelters are proposed.*

***Keywords**: communication shelter, adaptive radio field, antenna-mast devices, power supply, concealment, interoperability.*

Основна частина

Досвід бойових дій в Україні показує, що працюючі засоби зв'язку важко приховати від засобів радіоелектронної боротьби, а виявлений пункт управління стає пріоритетною ціллю для ураження [1, 2]. Для КАЗ це означає, що вимоги до її експлуатації змінилися: окрім стійкого зв'язку, апаратна має швидко розгортатися, мінімально демаскувати позицію та працювати з різнорідним обладнанням. Під адаптивним радіополем розуміємо сукупність радіомереж і вузлів, параметри яких (частота, потужність, напрямок випромінювання, маршрут) змінюються залежно від радіоелектронної обстановки.

Метою роботи є виявлення проблемних питань експлуатації та оперативного розгортання КАЗ і визначення напрямів їх вирішення.

Час розгортання антенно-щоглових пристроїв (АЩП). Загальний час розгортання КАЗ до встановлення зв'язку можна подати як суму тривалостей етапів:

$$T_{\text{розг}} = \sum_{i=1}^{n} t_i \qquad (1)$$

де t_i - тривалість і-го етапу (вибір і планування майданчика, встановлення опор і щогл, відтяжок та заземлення, монтаж антен, прокладання й підключення кабелів, налаштування та контроль зв'язку); n - кількість етапів.

Основні проблеми полягають у переважно ручному встановленні щогл, залежності від ґрунту, вітрового навантаження та рельєфу, потребі у прокладанні й маскуванні великої кількості кабелів, а також у недостатньому тренуванні розрахунків. Додатково виникає суперечність: більша висота щогли покращує дальність, але збільшує ймовірність виявлення та візуального демаскування. Тому доцільно оцінювати також частку корисного ефірного часу:

$$K_{\text{еф}} = \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{розг}} - T_{\text{зг}}}{T_{\text{п}}} \qquad (2)$$

де $T_{\text{п}}$ - тривалість перебування на позиції; $T_{\text{зг}}$ - час згортання. Зі зменшенням $T_{\text{розг}}$ і $T_{\text{зг}}$ частка $K_{\text{еф}}$ зростає, а час ефірної експозиції на одній позиції скорочується. Практично це досягається модульними швидкорозгортними щогловими комплектами, попередньо підготовленими й маркованими кабельними комплектами та винесенням антен від апаратної, що рекомендується й за досвідом територіальної оборони України [1].

Енергозабезпечення. Традиційним джерелом живлення КАЗ є дизель-генераторні агрегати, які створюють шум, тепловий слід і залежність від постачання палива. Практичні

рекомендації передбачають вкопування та глушіння генераторів, спрямування вихлопу у бік від напрямку загрози, а також застосування альтернативних джерел живлення замість легких польових генераторів [1, 2]. Доцільною є гібридна схема: акумуляторний буфер з інвертором для режиму очікування й прийому, генератор - для заряджання з обмеженим часом роботи. До експлуатаційних проблем належать якість напруги, надійне заземлення та узгодження живлення різнорідної апаратури: вітчизняне обладнання орієнтоване на власні мережі, тоді як західні військові транспортні засоби використовують системи 28 В постійного струму, характеристики яких нормовані [5].

Для вибору джерела живлення визначають сумарне навантаження з урахуванням режиму роботи (передавання, прийом, очікування) та умов експлуатації:

$$P_{дж} \geq k_з \sum_{j=1}^{m} P_j \quad (3)$$

де $P_{дж}$ - потужність джерела живлення; P_j - потужність j-го споживача (радіозасоби, комутація, кондиціювання, освітлення); $k_з$ - коефіцієнт запасу, що враховує пускові струми, зниження ККД і ємності акумуляторів за низьких температур.

Маскування позицій. Виявлення КАЗ ґрунтується на радіо-, теплових, акустичних і візуальних ознаках [2]. Відзначається, що приховати випромінювання працюючих засобів зв'язку від засобів РЕБ складно, тому основний акцент зміщується на скорочення часу випромінювання, використання виносних і спрямованих антен, малої потужності, частотної адаптивності та імітаційних передавачів [1, 2]. Окремою проблемою є застосування КВ-зв'язку через виразний демаскуючий ефект [1]. Для адаптивного радіополя характерний парадокс: автоматичне перелаштування частот і зондування каналів, які підвищують стійкість зв'язку, самі створюють додатковий радіообмін, придатний для виявлення. Тому режими адаптації мають обмежуватися за інтенсивністю службового трафіку. Теплову ознаку зменшують термомаскуванням з відривом від поверхні техніки, а акустичну - заглибленням і глушінням агрегатів. Основні ознаки та заходи їх зниження узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Демаскуючі ознаки КАЗ та заходи їх зниження

Ознака	**Основне джерело**	**Заходи зниження**
Радіо	Передавачі КВ/УКВ, мережевий обмін, зондування каналів	Виносні й спрямовані антени, мала потужність, скорочення часу випромінювання, імітаційні передавачі
Теплова	Генератор, двигун, обладнання апаратної	Заглиблення техніки, термомаскування з відривом від поверхні, відведення вихлопу
Акустична	Дизель-генераторні агрегати	Вкопування, глушники, перехід на акумуляторний режим
Візуальна	Щогли, антени, кабелі, силует апаратної	Розміщення в укритті, маскування щогл, приховування кабельних трас

Сумісність вітчизняного та західного обладнання. Практика інтеграції виявляє такі проблеми: різні антенні рознімання й живильні інтерфейси; відмінність протоколів автоматичного встановлення КВ-зв'язку (вітчизняні рішення проти ALE за MIL-STD-188-141 та STANAG 4538 [3, 4]); відсутність спільних ключових систем і режимів захисту інформації; взаємні завади при розміщенні кількох передавачів в одній апаратній (блокування, інтермодуляція). Для їх подолання потрібні уніфіковані комплекти перехідників і кабелів, шлюзи між мережами різного стандарту, частотне рознесення та фільтрація, а також попередня перевірка сумісності до виходу на позицію й навчання особового складу.

Формування адаптивного радіополя на позиції. Для збереження зв'язності мережі при втраті окремого вузла радіополе будують із територіально рознесених вузлів з резервними маршрутами, а не з однієї потужної апаратної. Це зменшує наслідки ураження одного вузла, проте збільшує кількість розгортань, а отже сумарні витрати часу й ресурсів розрахунків. Тому під час планування слід порівнювати варіанти розміщення за трьома критеріями: час розгортання, рівень демаскування та забезпеченість живленням. На практиці доцільним є поєднання одного основного вузла, який розгортається у вкритті й працює переважно на прийом та проводні лінії, з кількома малопомітними виносними антенними постами. Виносні пости доцільно виконувати з мінімальною кількістю обладнання, які можуть швидко змінювати

позицію та працювати в режимі короткочасного випромінювання. Така побудова поєднує вимоги швидкості, живучості та сумісності, і саме її слід закласти в критерії оцінювання варіантів розгортання КАЗ під час подальших досліджень.

Організація експлуатації та технічне обслуговування. Надійність адаптивного радіополя в польових умовах залежить від стану антенно-фідерних трактів: механічне пошкодження кабелів і рознімань, потрапляння вологи, зростання коефіцієнта стоячої хвилі та втрата ємності акумуляторів є найчастішими причинами відмов, які важко виявити без контрольних вимірювань. Доцільно закріпити за розрахунком перелік обов'язкових перевірок перед виходом на позицію (вимірювання коефіцієнта стоячої хвилі антен, контроль якості заземлення, перевірка напруги та рівня заряду буфера живлення, пробний сеанс зв'язку на зниженій потужності) і після згортання (огляд кабельних комплектів, очищення рознімань, заміна пошкоджених елементів із резервного комплекту). Для скорочення часу ремонту в полі необхідно мати уніфікований комплект запасних частин для вітчизняного та західного обладнання, а також ведення обліку відмов, що дозволяє виявляти типові слабкі місця конкретних зразків. Окремої уваги потребує підготовка особового складу: тренування з розгортання на час із різним складом розрахунку, у темну пору доби та за обмеженого освітлення, оскільки саме людський чинник визначає значну частину часу $T_{\text{розг}}$. За результатами хронометражу тренувань формується норматив, який перевіряється й коригується при зміні типу щогл, антен або складу розрахунку.

Висновки. Оперативність і живучість КАЗ у складі адаптивного радіополя визначаються не лише характеристиками радіозасобів, а й організацією експлуатації. Пріоритетними є: скорочення часу розгортання АЩП шляхом модульності та тренування розрахунків; гібридне енергозабезпечення з мінімальним тепловим і акустичним слідом; управління сигнатурою позиції з обмеженням службового трафіку адаптивних режимів; уніфікація інтерфейсів і шлюзів для сумісності вітчизняного та західного обладнання. Подальші дослідження будуть спрямовані на кількісну оцінку показників $T_{\text{розг}}$ і $K_{\text{еф}}$ для конкретних зразків КАЗ. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використати запропоновані показники та перелік перевірок при плануванні тренувань розрахунків, розробленні пропозицій щодо оснащення апаратних уніфікованими комплектами та обґрунтуванні порядку розгортання вузлів зв'язку в умовах активної протидії засобів радіотехнічної розвідки та радіоелектронної боротьби противника.

Список використаних джерел:

1. Ullrich S., Moriarty S. Lessons Learned from the Ukrainian Territorial Defense Forces: Command Post Survivability. U.S. Army, Center for Army Lessons Learned, 2024 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.army.mil/article/273510/lessons_learned_from_the_ukrainian_territorial_defense_forces_command_post_survivability (дата звернення 28.10.2026). - Назва з екрана.

2. Expanding the scope of emissions control to enhance command and control node survivability within 3rd Combat Brigade [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://cove.army.gov.au/article/expanding-scope-emissions-control-enhance-command-and-control-node-survivability-within-3rd-combat-brigade (дата звернення 28.10.2026). - Назва з екрана.

3. STANAG 4538. Technical Standards for an Automatic Radio Control System (ARCS) for HF Communication Links. NATO.

4. MIL-STD-188-141D. Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems. U.S. Department of Defense.

5. MIL-STD-1275. Characteristics of 28 Volt DC Electrical Systems in Military Vehicles. U.S. Department of Defense.

Гусак Анастасія Олександрівна - курсант 443 навчальної групи, факультету автоматизованих систем управління та назменого забезпеечення польотів авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, nsgysak1999@gmail.com

Husak Anastasiia Oleksandrivna **-** cadet of the 443rd study group, Faculty of Automated Control Systems and Aviation Ground Support, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, nsgysak1999@gmail.com