НАЦІОНАЛЬНА ГВАРДІЯ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Р. В. Суслов, Є. М. Лахненко,
О. А. Удовченко

РОЗМІЩЕННЯ І ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ РЕБ НА ТЕХНІЦІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Практичний порадник

Видання друге, перероблене і доповнене

Київ
2026

УДК 355.5:351.743]:[621.396:623.62](072)
С 89

Авторський колектив:

Р. В. Суслов, викладач кафедри розвідки, Київський інститут Національної гвардії України (розд. 2–5, 7–12, Додатки);

Є. М. Лахненко, начальник служби РЕБ в/ч 3027, бригада Гвардії наступу «Буревій» (розд. 5, 6);

О. А. Удовченко, начальник відділу радіоелектронної боротьби та протидії технічним розвідкам управління безпілотних систем, Головне управління Національної гвардії України (передмова, розд. 1)

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Київського інституту Національної гвардії України (протокол № 19 від 30.06.2026 р.)

С 89 **Суслов Р. В**., Лахненко Є. М., Удовченко О. А. Розміщення і встановлення засобів РЕБ на техніці Національної гвардії України : практ. порад. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : КІ НГУ, 2026. 184 с.

ISBN 978-617-8361-51-8

У запропонованому виданні подано матеріали щодо вибору, застосування та обслуговування засобів РЕБ. Комплексно висвітлено питання проведення заходів із підготовки та встановлення засобів радіоелектронної боротьби на військову техніку підрозділів Національної гвардії України. Розглянуто теоретичні основи, практичні аспекти та методичні підходи до вибору обладнання для радіоелектронного подавлення, виявлення каналів зв'язку та перехоплення відеосигналів безпілотних літальних апаратів, а також організації заходів із монтажу такого обладнання на техніку.

Видання призначене для офіцерів, курсантів та викладачів вищих військових навчальних закладів, а також може бути використане під час проведення занять із радіоелектронної боротьби у підрозділах Національної гвардії України.

УДК 355.5:351.743]:[621.396:623.62](072)

Рецензенти:

О. І. Бірюков, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедри вогневої підготовки, Київський інститут Національної гвардії України;

Д. О. Туровський, командир окремого загону спеціального призначення радіоелектронної боротьби Національної гвардії України.

© Р. В. Суслов, Є. М. Лахненко, О. А. Удовченко, 2026.
ISBN 978-617-8361-51-8 © Київський інститут Національної гвардії України, 2026.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень 4
Передмова 5
Розділ 1. Розміщення компонентів засобу РЕБ: стратегія і компроміси 6
Розділ 2. Практика монтажу засобу РЕБ: від кронштейна до кабелю 28
Розділ 3. Антени та їх ключові характеристики 40
Розділ 4. Вибір антенної системи для бойового завдання: тактичний аналіз 50
Розділ 5. Джерела живлення засобів РЕБ та архітектура підключення 70
Розділ 6. Тактика БпЛА противника та методи протидії 85
Розділ 7. Пасивне виявлення загроз та активна протидія: інтеграція детекторів і засобів РЕП 103
Розділ 8. Правила експлуатації, технічного обслуговування та заходи безпеки під час роботи із комплексом РЕБ 130
Розділ 9. Перевірка боєздатності: методи й засоби контролю роботи комплексу РЕБ 136
Розділ 10. Безпека особового складу: вплив електромагнітного випромінювання 143
Розділ 11. Методика використання порадника під час занять 150
Розділ 12. Методичні рекомендації щодо підготовки особового складу та курсантів в умовах оновленого радіоелектронного середовища 155
Висновки 157
Список використаних джерел 159
Додаток А. Словник термінів та абревіатур 160
Додаток Б. Чеклісти для швидкої перевірки 164
Додаток В. Шпаргалка з розрахунку часу автономної роботи 166
Додаток Г. Базовий чекліст з пошуку та усунення несправностей 168
Додаток Д. Паспорт комплексу РЕБ 172
Додаток Е. Фінальний чекліст готовності АФС та засобу РЕБ перед виходом на завдання 175

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АКБ – акумуляторна батарея
АФС – антенно-фідерна система
БпЛА – безпілотний літальний апарат
dBi – децибел відносно ізотропного випромінювача
ДС – діаграма спрямованості
ЕМС – електромагнітна сумісність
ЕМВ – електромагнітне випромінювання
ККД – коефіцієнт корисної дії
КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі
ПВС – пост візуального спостереження
РЕБ – радіоелектронна боротьба
РЕП – радіоелектронне подавлення
РЕР – радіоелектронна розвідка
РТР – радіотехнічна розвідка
ЩТО – щоденне технічне обслуговування
QHA – квадрифілярна антена
SDR – програмно-визначена радіосистема

ПЕРЕДМОВА

Друге видання практичного порадника акумулює оновлений бойовий досвід протидії ворожим БпЛА в умовах стрімкої еволюції та ускладнення радіоелектронного середовища. За час, що минув із моменту виходу першого видання, противник змістив робочі частоти у низький спектр, масово впровадив алгоритми машинного зору та протоколи зі стрибками по частотах (FHSS), що потребувало фундаментального перегляду підходів до побудови антенно-фідерних систем, живлення й тактики застосування засобів РЕБ.

Обсяг видання збільшено. Матеріал доповнено масивом наочних схем, креслень, графіків та порівняльних таблиць для швидкого засвоєння у польових і навчальних умовах. Розкрито інженерні вимоги до розміщення великих антен та розраховано відстані їх просторового рознесення для запобігання «дружньому» електронному вогню. Висвітлено застосування програмно-визначених радіосистем (SDR), прицільно-відповідного глушіння проти протоколів ExpressLRS/Crossfire та правила внутрішнього міжмодульного екранування. Додано чіткі інженерні рішення щодо геометрії рознесення антен та прокладання фідерних трас на техніці, оснащеній антидроновими екранами. Упроваджено обов'язковий комплексний протокол «РЕБ + рух + завіса», що нейтралізує FPV-камікадзе з машинним зором. Додано методику акустичного виявлення загрози, новий розділ із методичних рекомендацій для підготовки підрозділів та підсумковий чекліст для перевірки системи перед виїздом на виконання.

Головна мета оновленого порадника – надати курсантам, офіцерам та операторам системний інструмент, який перетворить новітні технічні дані на чіткі алгоритми дій для збереження життя особового складу й техніки.

Розділ 1. РОЗМІЩЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ЗАСОБУ РЕБ: СТРАТЕГІЯ І КОМПРОМІСИ

Перш ніж взяти до рук гайковий ключ чи дриль, необхідно взяти олівець і карту. Монтаж засобів РЕБ починається з планування відповідно до тактичного завдання та стандартів інтеграції. У цьому розділі розглядаються стратегічні рішення, які приймаються ще до початку робіт. Помилка на етапі планування може звести нанівець усі подальші зусилля.

Кожний вибір є компромісом між максимальною ефективністю застосування засобу РЕБ, захищеністю техніки, зброї та екіпажу і тактичними умовами місії, тобто виконанням бойового завдання.

1.1 Вибір платформи: на що встановлюємо?

Вибір платформи визначається тактичними вимогами, стандартами безпеки та сумісністю із системами управління. Додатково враховуються:

1) операційне середовище – характер місцевості, рівень загрози, наявність укриттів та можливість швидкої зміни позицій;

2) енергетичні ресурси – відповідність генераторів і бортових систем живлення вимогам комплексу РЕБ, наявність резервних джерел;

3) маскування і захист – мінімізація електромагнітної та візуальної помітності, використання штатних кріплень і технологічних каналів без порушення цілісності корпусу;

4) інтеграція у систему управління – забезпечення сумісності з каналами зв'язку, системами командування та контролю, а також можливість централізованого управління комплексом;

5) логістичні фактори – доступність технічного обслуговування, ремонтопридатність та забезпечення запасними частинами.

1.1.1 Легкові автомобілі (пікапи, позашляховики)

Переваги

1. *Висока мобільність та швидкість*. Дають змогу швидко переміщуватися між позиціями, що є ключовим для тактики ″Shoot and Scoot″.

2. *Нижча помітність.* Легше зливаються з цивільним трафіком (якщо це актуально) та не мають виразного військового силуету, характерного для броньованої техніки.

3. *Простота монтажу.* Працювати з небронюованим кузовом значно простіше і швидше.

Недоліки

1. *Відсутність захисту.* Екіпаж та дорога апаратура вкрай вразливі до кінетичного ураження.

2. *Обмежений енергетичний ресурс*. Бортова мережа 12 В та генератори легкових авто не розраховані на живлення потужних комплексів РЕБ. Це практично завжди потребує встановлення додаткової, автономної системи живлення.

3. *Мала площа поверхні для розміщення антен або антенного поля засобу РЕБ.*

1.1.2 Броньована техніка (БТР, БМП, танки, бронеавтомобілі)

Переваги

1. *Висока захищеність*. Екіпаж та обладнання, розміщені всередині корпусу, захищені бронею.

2. *Потужний енергетичний ресурс*. Бортова мережа 12/24 В та генератори здатні деякий час забезпечити роботу дуже енергоємних комплексів РЕБ.

3. *Прохідність*. Здатність працювати у важких умовах бездоріжжя.

4. *Достатня площа поверхні бронетехніки для розміщення антен або антенного поля засобу РЕБ.*

Недоліки

1. *Складність монтажу.* Свердління або зварювання броні є складним технологічним процесом, що потребує спеціальних навичок та інструментів.

2. *Вища помітність.* Бронетехніка завжди є пріоритетною ціллю для противника.

3. *Сильніші вібрації та динамічні навантаження.* Потребують підвищеної міцності кріплень.

4. *Наявність антидронових екранів («мангалів») на бронетехніці ускладнює розміщення антен, особливо в разі використання антенних полів.* Антени або антенне поле необхідно виносити від засобу подавлення і розміщувати на поверхні екрана (рис. 1.1). Це потребує додаткового монтажу й, відповідно, збільшує довжину з'єднувальних кабелів між основним блоком та антеною.

5. *Ускладнення з розміщенням основного блока і блока живлення в корпусі бронетехніки через відсутність спеціальних технологічних отворів у броньованому корпусі для кабелів живлення і керування засобом РЕБ.*

На рисунку 1.1 показано, що антена, розміщена поряд із металевою перешкодою (наприклад, бронею або антидроновим екраном), викривляє «пелюстку» випромінювання. Це призводить до зниження ефективності роботи засобу РЕБ та появи відбитих сигналів, які можуть заважати власним системам зв'язку.

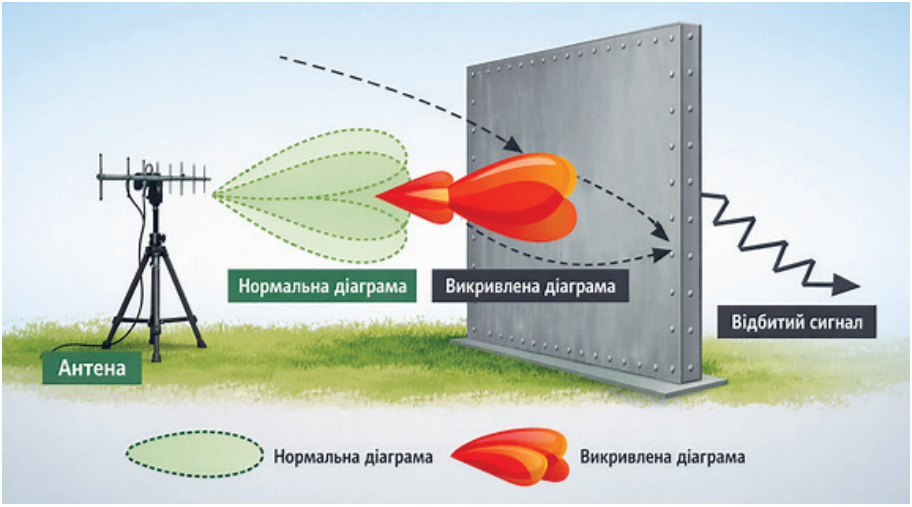


Рисунок 1.1 – Вплив металевих конструкцій на діаграму спрямованості

1.2 Архітектура системи на техніці: де і що розмістити?

Для досягнення максимального ефекту кожний компонент має бути на своєму місці.

1.2.1 Розміщення антен: правило «найвищої точки»

Антени є зовнішніми засобами прийому радіохвиль. Їхня ефективність безпосередньо залежить від зони прямої видимості.

Принцип. Антени розміщуються на найвищій можливій точці техніки – дах кабіни, башта танка чи БМП. Це як встановлювати спостережний пункт на вершині пагорба, а не в ущелині.

Обґрунтування. Таке розміщення мінімізує екранувальний (блокувальний) вплив корпусу самої машини та зменшує утворення «тіньових» зон, де дія перешкоди буде ослабленою або відсутньою. Чим вище антена, тим далі вона «бачить» і тим більший «купол» захисту створює.

1.2.2 Розміщення основного блока (передавача): компроміс між захистом та охолодженням

Основний блок засобу РЕБ – це ключовий, найдорожчий та найчутливіший компонент.

Захист. Блок має розміщуватися всередині броньованого корпусу (для бронетехніки) або в найбільш захищеному відсіку автомобіля (наприклад, кузов пікапа, прикритий бортами). Це забезпечує його захист від уламків, куль та несприятливих погодних умов.

Охолодження. Потужні засоби радіоелектронного подавлення (РЕП) виділяють величезну кількість тепла. Перегрів є однією з найпоширеніших причин виходу апаратури з ладу. Категорично заборонено встановлювати блок у замкненому, невентильованому просторі (наприклад, щільно закритому ящику). Необхідно забезпечити вільний доступ повітря до радіаторів охолодження. У деяких випадках може виникати потреба в установленні додаткових вентиляторів.

1.3 Електромагнітна сумісність: як не «заглушити» своїх?

Електромагнітна сумісність (EMC, англ. *Electromagnetic Compatibility*) – це властивість електронних засобів і систем працювати в умовах електромагнітних завад без погіршення своїх характеристик, а також не створювати неприпустимих перешкод для інших пристроїв у спільному середовищі.

Увімкнений засіб РЕБ являє собою так званий «електронний прожектор», який, окрім противника, може створювати перешкоди і для своїх сил. Забезпечення електромагнітної сумісності – це запобігання «електронному дружньому вогню».

1.3.1 Просторове рознесення антен

Просторове рознесення антен – найпростіший і найдієвіший метод. Антени засобу РЕБ установлюються на максимально можливій фізичній відстані від штатних антен радіостанцій і приймачів GPS. Чим більша відстань, тим менший вплив. Навіть додаткові 1–2 м можуть мати вирішальне значення.

1.3.2 Частотне планування

Оператор засобів РЕБ і радисти підрозділу повинні знати робочі частоти один одного. Робота засобів РЕБ не має вестися на частотах, що використовуються для зв'язку всередині підрозділу або з командуванням. Це питання координації та зв'язку всередині екіпажу та між підрозділами.

1.3.3 Екранування та фільтрація

Вибір платформи для встановлення засобів радіоелектронної боротьби є критичним етапом планування. Кожний тип техніки – від легкових автомобілів до броньованих машин – має власні переваги й обмеження, які безпосередньо впливають на ефективність засобу РЕБ, рівень захищеності екіпажу та можливості енергозабезпечення.

У складних випадках, коли рознести антени немає можливості, застосовуються спеціальні технічні рішення: установлення металевих екранів між антенами засобу РЕБ та радіостанції; використання режекторних фільтрів, що «вирізають» шкідливий сигнал перешкоди на вході приймача.

У таблиці 1.1 розглянуто ключові носії, їхні сильні та слабкі сторони, а також узагальнені критерії, що дають змогу ухвалити оптимальне рішення щодо місця встановлення обладнання.

Таблиця 1.1 – Критерії вибору місця встановлення металевих конструкцій

Параметр	**Значення для вибору**
Висота підйому	Чим вища антена, тим ширша зона покриття, але зростає ризик демаскування та ураження
Довжина кабелю	Мінімізація втрат сигналу, уникнення надмірної протяжності, що може призвести до зниження потужності
Доступність для ТО	Легкий доступ для перевірки та ремонту без демонтажу всієї системи, що критично у польових умовах
Рівень вібрації	Важливо для бронетехніки: кріплення має витримувати динамічні навантаження та удари

Наведені критерії дають змогу оцінити умови встановлення засобів РЕБ на різних платформах та визначити оптимальне місце розміщення антенно-фідерної системи. Застосування зазначених критеріїв на практиці забезпечує баланс між ефективністю роботи засобу та безпекою екіпажу.

1.4 Тактика «Увімкнув – відпрацював – змінив позицію» (Shoot and Scoot)

Це не просто рекомендація, а *доктрина виживання* для мобільних груп РЕБ.

Чому це критично? Активний засіб РЕБ є надзвичайно потужним радіомаяком, який демаскує свою позицію на сотні кілометрів для засобів радіотехнічної розвідки (РТР) противника. З моменту ввімкнення передавача машина перетворюється на пріоритетну ціль.

Часові межі. Противнику потрібно від 30 до 90 секунд, щоб отримати стійкий пеленг на джерело випромінювання, та ще кілька хвилин, щоб передати координати та завдати вогневого удару.

Вимоги до монтажу. Саме ця тактика диктує найжорсткіші вимоги до якості монтажу. Уся конструкція (кріплення, кронштейни, кабелі) має бути розрахована на екстремальні динамічні та вібраційні навантаження під час руху на максимальній швидкості по пересіченій місцевості. Ненадійне кріплення, що вийде з ладу під час екстреного маневру, фактично означатиме втрату боєздатності та, як наслідок, імовірне ураження техніки.

1.4.1 Проєктування антенного поля на бронетехніці з антидроновими екранами («мангалами»)

Упровадження нових низькочастотних модулів (200–500 МГц) на техніці, оснащеній важкими захисними решітками, потребує точного геометричного розрахунку. Наявність «мангалів» створює як нові технічні можливості, так і додаткові інженерні виклики через зміну радіофізичного контуру машини.

1.4.2 Геометричний центр та архітектура рознесення

Для забезпечення рівномірного захисного «купола» на 360° без критичних провалів антенно-фідерну систему (АФС) необхідно розташовувати відносно умовного геометричного центра даху башти або робочої поверхні захисного екрана.

Ризики асиметрії. Будь-яке зміщення антени чи всього поля до краю конструкції призводить до того, що масивний металевий корпус машини починає екранувати (блокувати) сигнал у протилежному напрямку. Це створює «сліпі зони» розміром із танк, через які ворожий дрон може безперешкодно вразити техніку.

Просторове рознесення на практиці. З урахуванням довжини хвилі нових низьких діапазонів емпіричне правило вимагає розносити антени між собою на відстань, не меншу за одну довжину хвилі найнижчої робочої частоти. Це необхідно для того, щоб випромінювальні елементи різних діапазонів не впливали один на одного і не спотворювали діаграми спрямованості.

Розрахунок мінімальної відстані здійснюють за класичною формулою:

$$\lambda = \frac{c}{f} \ ,$$

де λ – довжина хвилі; c – швидкість світла; f – робоча частота.

Для діапазону 200–500 МГц мінімальна відстань становить від 1,5 до 0,6 м відповідно.

1.4.3 Специфіка інтеграції на БТР-80 та БМП-2

Монтаж обладнання на ці типи платформ має суттєві відмінності через їхні конструктивні та енергетичні характеристики.

БТР-80

Переваги майданчика. Велика площа верхньої поверхні бронетехніки дає змогу ідеально рознести елементи антенного поля під низькі частоти.

Проблема кабельних трас. Оскільки антени виносяться безпосередньо на поверхню захисного екрана («мангала»), суттєво збільшується загальна довжина з'єднувальних коаксіальних кабелів від основного блока засобу РЕБ. Під час монтажу на рухому башту фідерна траса повинна мати технологічний запас (петлю) для забезпечення вільного обертання башти на 360°, що підвищує вимоги до фіксації кабелю та захисту від механічних пошкоджень.

Монтаж антенно-фідерних систем на бронетехніці з антидроновими екранами має свої специфічні труднощі. Важливо не лише знати теоретичні правила рознесення антен, а й бачити практичні рішення на конкретних платформах. Тому нижче наведено схеми кабельних трас і кабельного вводу, які демонструють типові проблеми та способи їх розв'язання (див. рис. 1.2).

Як показано на рисунку, технологічна петля кабелю є обов'язковою, оскільки забезпечує вільне обертання башти. Однак постають і додаткові вимоги до фіксації кабелю, щоб уникнути механічних пошкоджень.

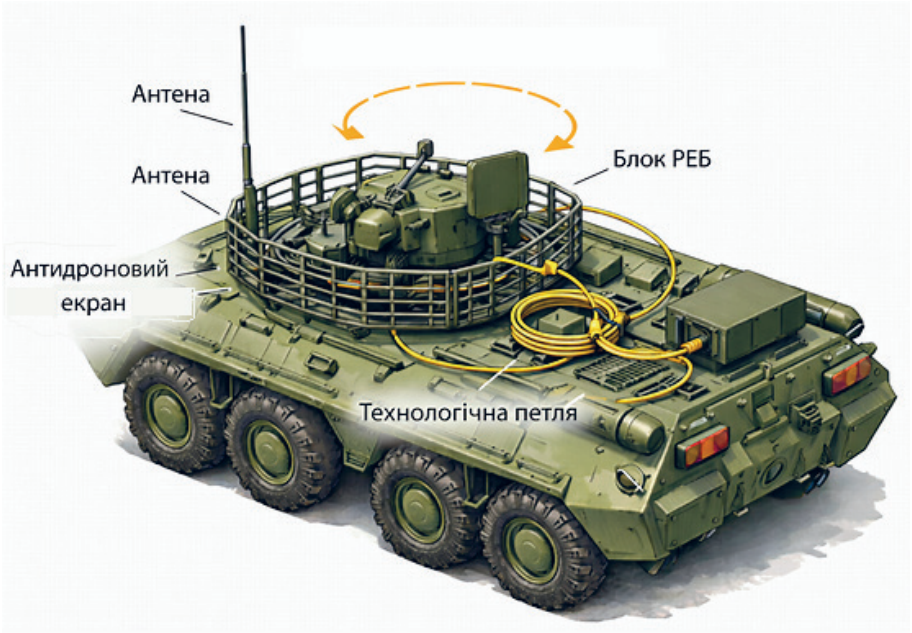


Рисунок 1.2 – Схема кабельних трас на БТР-80

БМП-2

Енергетичний потенціал. Потужний штатний генератор ВГ-7500 на 5 кВт (іноді в технічних описах зустрічається варіант ВГ-7500М, але це модернізована версія, не базова) забезпечує стабільну роботу дуже енергоємних багатомодульних засобів РЕБ.

Конструктивні обмеження. Площа башти БМП-2 суттєво менша, що ускладнює дотримання правила рознесення антен на 1–1,5 м для низьких діапазонів. Додатково виникає ускладнення з розміщенням основного блока всередині корпусу через повну відсутність спеціальних технологічних отворів у броні для прокладання кабелів живлення та управління.

Рішення для кабельного вводу. Прокладання фідерів здійснюється через штатні люки з обов'язковим установленням гумових або пластикових ущільнювальних втулок, аби внаслідок вібрацій на марші гострі металеві краї броні не перетерли ізоляцію.

Тому, на відміну від БТР-80, конструкція БМП-2 має меншу площу даху та обмежені можливості для прокладання кабелів. Нижче наведено схему кабельного вводу, яка демонструє практичне рішення для безпечного проходження фідерів через люки корпусу із застосуванням ущільнювальних втулок (рис. 1.3).

На рисунку 1.3 показано, як використання ущільнювальних втулок запобігає пошкодженню ізоляції кабелю під час вібрацій, забезпечуючи надійність роботи засобу РЕБ.



Рисунок 1.3 – Схема кабельного вводу на БМП-2

Після розгляду окремих прикладів монтажу доцільно узагальнити ключові відмінності між платформами (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння БТР-80 та БМП-2

Платформа	Переваги	Недоліки
БТР-80	Велика площа для антен, просте рознесення	Довгі кабельні траси, складність фіксації під час обертання башти
БМП-2	Потужний генератор, стабільна робота енергоємних комплексів	Мала площа даху, проблеми з кабельним вводом, відсутність технологічних отворів

Узагальнюючи наведені дані, можна зробити висновок, що вибір платформи для розміщення засобів РЕБ визначається не лише енергетичними можливостями, а й геометрією корпусу та умовами монтажу антенно-фідерної системи. Більшу свободу рознесення антен забезпечує БТР-80, тоді як БМП-2 потребує точного розрахунку кабельних трас і додаткових заходів захисту.

1.4.4 Технічні вимоги до фідерів низьких частот

Для зручності сприйняття наведені технічні вимоги до фідерів низьких частот узагальнено у табл. 1.3. Вона дає змогу швидко оцінити ключові параметри кабелю, які визначають ефективність роботи засобу РЕБ.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики фідерних кабелів низьких частот

Параметр	Рекомендоване значення	Примітка
Хвильовий опір	50 Ом	Узгодження з передавачем; 75 Ом (телевізійний кабель) неприпустимий
Тип кабелю	LMR-400, RG-213 або військові аналоги	Товста центральна жила, мінімальні втрати на довгих трасах
Матеріал оболонки	Чорний поліетилен	Стійкість до ультрафіолету, придатність для тривалого використання на відкритому повітрі
Довжина траси	Мінімально можлива	Чим довша лінія, тим більші втрати сигналу

Отже, надійність антенно-фідерної системи у низькочастотному діапазоні залежить від правильного вибору кабелю та його монтажу. Недотримання хоча б одного критичного критерію призводить до різкого падіння ефективності засобу РЕБ і може спричинити вихід із ладу підсилювача.

Варто зазначити, що чим нижча частота і чим більша протяжність лінії зв’язку через винесення на екран, тим жосткіші вимоги до кабелю.

1. Хвильовий опір. Виключно 50 Ом. Використання телевізійного кабелю на 75 Ом призведе до неузгодженості (*Impedance Mismatch*), що катастрофічно знизить ККД системи та спалить підсилювач потужності.

2. Марка кабелю. Через збільшену довжину траси для мінімізації втрат дозволено застосовувати лише якісні коаксіальні кабелі з товстою центральною жилою типу LMR-400, RG-213 або їхні військові аналоги.

3. Зовнішня оболонка. Обов'язково має бути стійкою до ультрафіолету (чорний поліетилен), що критично для тривалого перебування техніки на відкритому сонці, адже дешеві оболонки швидко руйнуються під дією УФ-випромінювання.

4. *Герметизація роз'ємів.* Окрім вибору кабелю необхідно також забезпечити герметичність усіх роз'ємів. Для цього застосовують термозбіжну трубку з клейовим шаром або силіконовий герметик. Без герметизації кабель набирає вологу через капілярний ефект, що призводить до деградації ізоляції та зростання втрат сигналу.

1.5 Концепція застосування SDR (Software Defined Radio) для радіоелектронного подавлення

Перехід від класичних генераторів прямого шумового випромінювання («аналогового білого шуму») до *програмно-визначених радіосистем (SDR)* є головним технологічним напрямом розвитки контр-FPV тактики.

У класичних системах частота і смуга завади жорстко задаються фізичною архітектурою плати (генераторами, керованими напругою – ГКН/VCO). SDR-комплекси переносять процеси формування, модуляції та оптимізації завади у *програмне поле*, що забезпечує оператору та інженеру високу гнучкість.

1.5.1 Ключові технологічні переваги SDR-подавлення

Динамічне керування спектром (*Frequency Agility*): SDR дає змогу в реальному часі змінювати робочу частоту випромінювання без заміни апаратних модулів або антен. Якщо пасивний детектор

фіксує прорив противника на нестандартній частоті (наприклад, 355 МГц), то програмний алгоритм миттєво перемикає цифровий передавач на генерацію завади саме в цьому вікні.

Інтелектуальне формування завади (*Waveform Shaping*): замість банального спалювання енергії акумулятора на «забивання» широкого спектра аналоговим шумом SDR синтезує протокол-орієнтовані завади. Комплекс випромінює сигнал, що імітує структуру пакетів ExpressLRS або Crossfire, але має навмисно спотворену контрольовану суму (CRC) або зсув фази. Це дає змогу досягти ефекту подавлення (десинхронізації приймача на дроні) за значно меншої вихідної потужності передавача.

Енергетична оптимізація: засіб РЕБ з купольною діаграмою спрямованості «розмазує» умовні 50 Вт потужності по всій смузі у 100 МГц. SDR може концентрувати ці ж самі 50 Вт у надвузькі динамічні канали шириною у кілька мегагерц, які послідовно переміщуються за каналами керування дрона. Ефективна щільність завади при цьому зростає в десятки разів.

Для наочного порівняння принципів роботи класичних аналогових генераторів і сучасних SDR-комплексів на рис. 1.4 подано схему, що демонструє ключові технологічні переваги програмно-визначеного радіо у системах РЕБ.

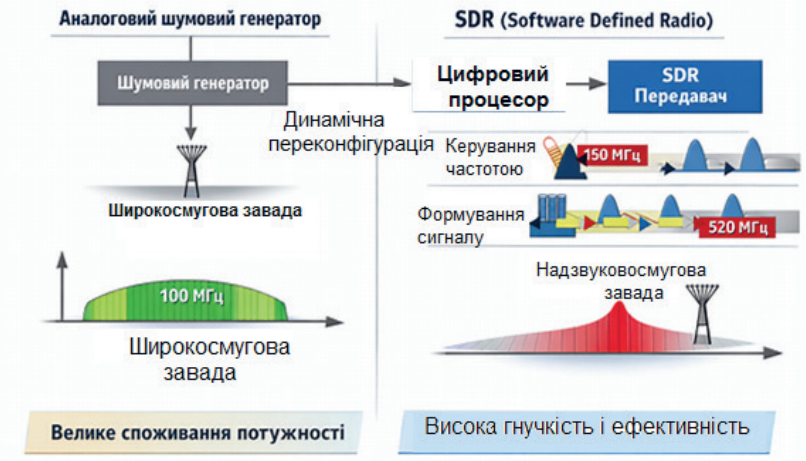


Рисунок 1.4 – Ключові технологічні переваги SDR-подавлення

Отже, SDR-комплекси забезпечують динамічне керування спектром, інтелектуальне формування завади та енергетичну оптимізацію, що порівняно з аналоговими системами за тих самих енергетичних витрат дає змогу досягати значно більшої ефективності.

1.5.2 Реактивне (прицільно-відповідне) глушіння: концепція боротьби з FHSS

У таблиці 1.4 описано принцип реактивного глушіння сигналів FHSS. SDR-комплекс у режимі реального часу виявляє стрибки частоти та формує прицільну заваду саме в цих каналах.

Таблиця 1.4 – Логічна схема реактивного глушіння FHSS

Етап	Елемент системи	Функція	Час реакції
Ефір	Сигнал FHSS	Передавач противника здійснює сотні стрибків частоти за секунду	–
SDR-приймач (РЕР)	Радіоприймальний модуль	Виявляє активну частоту за 10–20 мкс	10–20 мкс
FPGA / ЦСП	Обчислювальний модуль	Аналізує протокол, розраховує наступну частоту стрибка	< 50 мкс
Синтез цільової завади	Алгоритм SDR	Формує прицільну заваду на поточній частоті	Миттєво
SDR-передавач	Передавальний модуль	Випромінює заваду через антену	–
Антена випромінювання	Випромінювальний елемент	Передає сформовану заваду у напрямку противника	–

Отже, SDR-комплекс реалізує реактивне глушіння з часовою затримкою менше 100 мкс, що дає змогу ефективно протидіяти ППРЧ/FHSS-сигналам (сигнал, який постійно «стрибає» між різними частотами за псевдовипадковим алгоритмом, ускладнюючи

подавлення класичними методами). Завдяки цьому система не витрачає енергію на широкосмугове створення завад в ефірі, а діє прицільно – лише там, де працює канал противника.

Для успішного подавлення сигналів зі стрибковою перебудовою частоти інженерне рівняння часового бюджету системи має набувати такого вигляду:

$$\Delta t_{\text{total}} = \Delta t_{\text{det}} + \Delta t_{\text{proc}} + \Delta t_{\text{tx}} < t_{\text{hop}},$$

де Δt_{det} – час, якого потребує SDR-приймач для виявлення та пеленгації частоти сигналу;

Δt_{proc} – час обробки пакета на FPGA-матриці та прийняття рішення про тип завади;

Δt_{tx} – час виходу передавача на цільову частоту та випромінювання імпульсу подавлення;

t_{hop} – тривалість перебування сигналу дрона на одній частоті (для ELRS це вікно може становити менше 2–4 мс).

Якщо загальний час реакції системи становить менше кількох десятків мікросекунд, завада «наздоганяє» дрон на тій самій частоті, куди він щойно «стрибнув», повністю блокуючи пакет керування.

Під час використання широкосмугових шумових завад час реакції системи може бути меншим, аніж застосування «розумних» (протокол-орієнтованих) завад. Це пояснюється тим, що шумова завада не потребує аналізу структури пакета – вона генерується відразу після виявлення частоти.

Натомість «розумній» заваді потрібен додатковий час на розрахунок параметрів сигналу, CRC-структури або фазового зсуву.

1.5.3 Інженерні виклики під час установлення SDR на техніку

Попри високу ефективність, інтеграція SDR-комплексів на бронетехніку чи автомобілі потребує суворої інженерної дисципліни через дві вразливості.

*Тепловий менеджмент обчислювальних плат***.** Швидкісні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП/ЦАП) та FPGA-матриці, що для генерації завад прораховують мільйони операцій на секунду, виділяють велику кількість тепла. Категорично заборонено встановлювати блоки SDR у закритих нішах техніки без примусового охолодження. Перегрівання процесора призводить до скидання частоти обробки (тротлінгу), що збільшує і робить систему нездатною боротися з FHSS.

Чутливість до імпульсних завад живлення. Бортова мережа БТР або пікапа є «брудною» (робота генератора, стартера, радіостанцій). Для SDR-комплексів дотримання «Срібного стандарту», *що передбачає використання якісних DC-DC стабілізаторів, є не просто рекомендацією, а обов'язковою умовою.* Найменша імпульсна просадка напруги спричиняє збій синхронізації цифрових синтезаторів частоти (PLL), унаслідок чого засіб РЕБ починає випромінювати заваду повз цільовий діапазон.

Для узагальнення наведено порівняння двох основних типів завад у реактивному глушінні – шумових і протокол-орієнтованих (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Типи завад у реактивному глушінні

Тип завади	**Час реакції**	**Ефективність**	**Особливості**
Шумова	Дуже короткий (< 20 мкс)	Середня	Не потребує аналізу пакета; швидко генерується, але витрачає більше енергії
Протокол-орієнтована	Довший (50–100 мкс)	Висока	Потребує аналізу структури пакета (CRC, фаза); забезпечує економне використання енергії і точне подавлення

Отже, шумові завади забезпечують мінімальний час реакції, але менш ефективні щодо енергоспоживання. Протокол-орієнтовані завади потребують додаткового часу на оброблення, проте дають змогу досягти значно вищої ефективності прицільного подавлення. У практиці РЕБ застосовуються обидва типи залежно від тактичної ситуації.

1.5.4 Внутрішнє екранування (RF Shielding) та забезпечення міжмодульної ізоляції

Суміщення в одному фізичному корпусі або на одній рухомій платформі надчутливого приймача радіоелектронної розвідки (РЕР) та потужного широкосмугового передавача РЕП на базі SDR створює критичну інженерну проблему – *радіоелектронне засліплення* (*Receiver Desensitization / De-sensing*). Потужність вихідного сигналу передавача може досягати десятків ват, тоді як вхідний каскад приймача РЕР розраховано на роботу з мікросигналами (мілівати). Без належного внутрішнього захисту завада може поширюватися атмосферним шляхом або через спільні кола живлення безпосередньо на вхід малошумного підсилювача (LNA) приймача, спричиняючи його миттєве блокування, десенситизацію або фізичне випалювання кремнієвих елементів.

Основні інженерні вимоги до забезпечення міжмодульної ізоляції

Для забезпечення сумісної роботи приймача РЕР і передавача РЕП у межах одного корпусу необхідно дотримуватися вимог щодо внутрішнього екранування. У таблиці 1.6 наведено основні інженерні заходи, які гарантують міжмодульну ізоляцію на рівні 80–100 дБ.

Таблиця 1.6 – Заходи внутрішнього екранування SDR-комплексу

Заходи	**Призначення**	**Особливості**
Камерне фрезерування	Ізоляція вузлів у моноблоці	Кожний модуль в індивідуальній камері Фарадея
Контроль стиків	Запобігання витоку ВЧ-сигналів	Використання струмопровідної гуми або металізованих ущільнювачів
Фільтрація живлення	Блокування ВЧ-наведень по лініях	Прохідні конденсатори, LC-фільтри
Режекторні фільтри	Захист приймача від власного передавача	«Вирізають» частоту випромінювання, залишаючи решту спектра чистою

Отже, внутрішнє екранування є критично важливим для роботи SDR-комплексу. Якщо міжмодульну ізоляцію виконано з порушенням технології, жодне зовнішнє рознесення антен не врятує приймач

від засліплення. Саме тому важливо навчатися чітко розрізняти зовнішню ЕМС (рознесення антен) та внутрішню ЕМС (екранування корпусу).

Це досягається комплексом конструктивних заходів на етапі збирання блока.

Камерне (секційне) фрезерування корпусу. Плата SDR-комплексу не має бути спільною або відкритою. Корпус самого пристрою виготовляється методом фрезерування із суцільного алюмінієвого моноблока (наприклад, Д16Т). Кожний функціональний вузол – цифровий процесор, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), підсилювач потужності та вхідний каскад РЕР – ізолюється в окремій закритій камері, яка виконує роль індивідуальної камери Фарадея.

Контроль міжквідсікових стиків. Кришки блоків мають щільно прилягати до внутрішніх перегородок фрезерувальних камер. На стиках обов'язково слід використовувати *струмопровідну еластомерну гуму* або металізовані пружинні ущільнювачі. Звичайний механічний стик металу до металу без прокладки пропускає високочастотне випромінювання низьких діапазонів, істотно знижуючи ефективність екрана.

Фільтрація внутрішніх кіл живлення та керування. Сигнал завади може поширюватися не лише через ефір, а й по спільних мідних доріжках живлення всередині пристрою. Усі лінії живлення та шини даних, що переходять із камери передавача до камери приймача, мають проходити через *прохідні конденсатори (Feedthrough capacitors)* або спеціальні високочастотні LC-фільтри. Вони безперешкодно пропускають постійний струм, але повністю блокують і заземлюють ВЧ-наведення від передавального модуля.

Для систематизації конструктивних заходів, що забезпечують внутрішню електромагнітну сумісність SDR-комплексу, нижче наведено узагальнену таблицю, яка допоможе швидко визначати, які саме дії впливають на якість екранування та ізоляції модулів (див. табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Конструктивні заходи забезпечення внутрішньої електромагнітної сумісності

№ пор.	Конструктивний захід	Призначення	Типові помилки
1	Камерне фрезерування корпусу	Екранування функціональних вузлів	Спільна плата без ізоляції
2	Контроль міжкамерних стиків	Зменшення ВЧ-витоків	Відсутність струмопровідної гуми
3	Фільтрація кіл живлення	Блокування ВЧ-наведень	Відсутність прохідних конденсаторів
4	Каскадне встановлення режекторних фільтрів	Захист приймача від засліплення	Неправильна частота вирізання

На рисунку 1.5 наведено структурну схему EMC SDR-блока, що демонструє взаємодію його основних модулів.

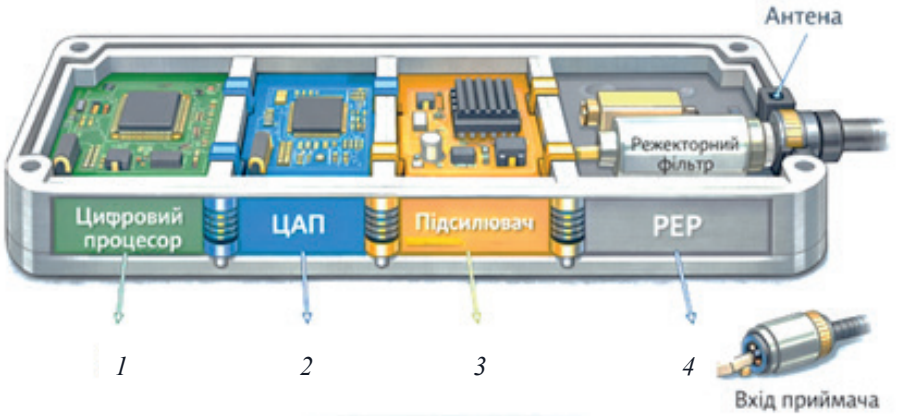


Рисунок 1.5 – Внутрішня структура EMC SDR-блока: *1* – цифровий процесор; *2* – цифрово-аналоговий перетворювач; *3* – плата підсилення; *4* – блок фільтрів

На рисунку 1.5 цифрова та аналогова частини SDR-блока розділені екранованими перегородками, що забезпечує електромагнітну сумісність і зменшує рівень взаємних завад.

Отже, ефективність внутрішньої ЕМС визначається не окремими елементами, а комплексом конструктивних рішень. Порушення хоча б одного з них спричиняє деградацію екранування та появу внутрішніх перешкод, які неможливо компенсувати зовнішнім рознесенням антен.

Каскадне встановлення режекторних фільтрів. Якщо просторового рознесення антен на даху техніки недостатньо для захисту РЕР від засліплення, на вході приймального модуля апаратно інтегруються високоселективні *режекторні (Notch) фільтри.* Вони динамічно або фіксовано блокують шкідливий сигнал перешкоди на вході приймача саме на тій частоті, на якій у цей момент випромінює власний передавач. Це залишає решту спектра чистою для безперешкодного моніторингу загрози.

На рисунку 1.6 показано каскадне підключення режекторних фільтрів у приймальному тракті, що забезпечує захист від засліплення власним передавачем.

Отже, послідовне включення кількох режекторних фільтрів дає змогу блокувати частоти власного передавача, залишаючи решту спектра чистою для моніторингу загроз. Це забезпечує електромагнітну сумісність між передавальними і приймальними каналами.

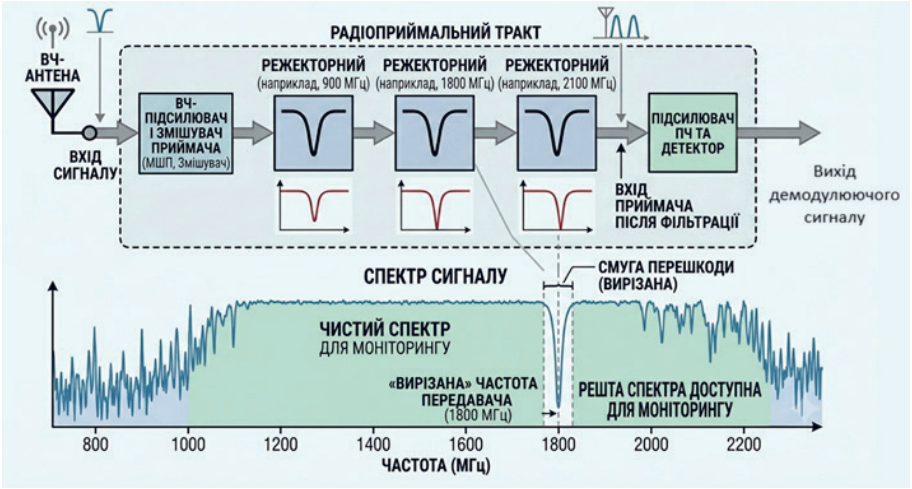


Рисунок 1.6 – Каскадне встановлення режекторних фільтрів у приймальному тракті

Для кращого розуміння різних підходів до реалізації режекторних фільтрів у системах РЕБ наведено порівняльну таблицю їхніх характеристик, переваг та недоліків (табл. 1.8).

Таблиця 1.8 – Різні типи фільтрів для систем радіоелектронної боротьби

Тип фільтра	**Характеристики**	**Переваги**	**Недоліки**	**Сфера застосування у РЕБ**
Фіксовані	Мають незмінні параметри (частота зрізу, смуга пропускання)	Прості в реалізації й налаштуванні	Не адаптивні. Не можуть підлаштовуватися під зміни в радіочастотному середовищі	Коли частоти перешкод заздалегідь відомі та стабільні
Динамічні	Можуть змінювати свої параметри (наприклад, центральну частоту) в режимі реального часу	Гнучкі й адаптивні. Дають змогу ефективно прибирати перешкоди, які змінюють свою частоту	Складніші в реалізації та керуванні. Потребують додаткових алгоритмів для виявлення та відстеження перешкод	Протидія адаптивним системам зв'язку та радіолокації, які використовують перенаалаштування частоти
Рекурсивні (цифрові)	Використовують зворотний зв'язок (значення попередніх вихідних сигналів) для розрахунку поточного вихідного сигналу	Дають змогу реалізувати складні частотні характеристики з меншою кількістю обчислень	Можуть бути нестабільними, якщо не спроєктовані належним чином. Фазова характеристика може бути нелінійною	Потреба у високій вибірковості за обмежених обчислювальних ресурсів

Кінець таблиці 1.8 – Різні типи фільтрів для систем радіоелектронної боротьби

Тип фільтра	Характеристики	Переваги	Недоліки	Сфера застосування у РЕБ
Нерекурсивні (цифрові)	Використовують лише поточні й попередні значення вхідного сигналу для розрахунку вихідного сигналу	Завжди стабільні. Мають лінійну фазову характеристику	Потребують більше обчислювальних ресурсів (більше коефіцієнтів) для реалізації складних частотних характеристик	Коли критичні стабільність і збереження фазової інформації сигналу

Отже, кожний тип фільтра має переваги й недоліки. Фіксовані фільтри застосовуються за стабільних частот, динамічні – для адаптивних систем, рекурсивні – для високої вибірковості за обмежених ресурсів, а нерекурсивні – для стабільності та збереження фазових характеристик. Вибір конкретного типу залежить від умов бойового застосування і технічних можливостей комплексу РЕБ.

Важливе зауваження для інструктора. Під час занять з інженерної грамотності (Модуль 1) курсантів слід навчати чітко розрізняти зовнішню ЕМС (просторове рознесення антен на броні) від внутрішньої ЕМС самого пристрою. Якщо внутрішню міжмодульну ізоляцію SDR-блока виконано з порушенням технології, жодне рознесення зовнішніх фідерів не врятує пасивний детектор від «засліплення» під час увімкнення РЕП.

Розділ 2. ПРАКТИКА МОНТАЖУ ЗАСОБУ РЕБ: ВІД КРОНШТЕЙНА ДО КАБЕЛЮ

Якщо попередній розділ був про стратегію «де» і «що» розміщувати, то цей розділ описує тактику і практику. На зазначеному етапі теоретичні положення реалізуються безпосередньо в конструкції засобу – під час монтажу металевих елементів, болтових з'єднань і кабельних ліній. Кожне технічне рішення безпосередньо впливає на ефективність та надійність роботи засобу РЕБ. Помилки, допущені на цьому етапі, неможливо виправити жодними налаштуваннями.

2.1 Монтаж антен: надійність та ефективність

Антена є зовнішнім засобом електромагнітного випромінювання. Саме вона випромінює захисну заваду в ефір. Від її правильного встановлення залежить форма та щільність вашого захисного «купола».

2.1.1 Вибір оптимального місця кріплення на даху чи башті

Як уже визначено вище, антена має встановлюватися на найвищій можливій точці техніки. Оптимальним місцем є геометричний центр даху кабіни або башти.

Чому це важливо? Таке розташування забезпечує максимально симетричну діаграму спрямованості. Простими словами, ваш «купол» буде рівномірним на 360°, без значних «провалів» «тіней», які створює корпус самої машини. Будь-яке зміщення антени до краю даху призведе до того, що корпус почне відбивати сигнал у протилежному напрямку.

Якщо антен декілька. Установлюючи декілька антен для роботи на різних частотних діапазонах, їх необхідно просторово розносити. Емпіричне правило — відстань між антенами має бути не меншою за одну довжину хвилі найнижчої робочої частоти. Це потрібно для того, щоб антени не впливали одна на одну та не спотворювали діаграми спрямованості одна одної.

Саме використання антенного поля, утвореного багатьма антенами, є однією з вимог до сучасних систем. Різноманітність частотних діапазонів сигналів телеметрії ворожих БпЛА, можливість їх перемикання під час виконання завдання, а також наявність різноманітних протоколів сигналів керування зумовлюють необхідність застосування блоків подавлення всіх виявлених частотних діапазонів. За відсутності інформації щодо частоти телеметрії БпЛА зазвичай одночасно вмикаються всі блоки. У такому разі особливого значення набуває електромагнітна сумісність антен.

2.1.2 Механічне кріплення: болтові з'єднання, фіксація від вібрацій

Болтове кріплення є основним методом монтажу антен у бойових умовах. Воно гарантує надійність навіть під час руху бездоріжжям за умови дотримання вимог щодо міцності та захисту від вібрацій.

Таблиця 2.1 – Вибір кріплення та матеріалів

Параметр	Рекомендація	Особливості
Клас міцності	Не нижче 8.8 (ISO), для важких конструкцій – 10.9	Маркування «8.8» на головці болта; гайка відповідного класу
Нержавіюча сталь	Марки A2 (AISI 304) або A4 (AISI 316)	Захист від корозії, A4 – для агресивних умов
Стандартні кріплення	Класи 4.6, 5.8 – не допускаються	Не витримують динамічних навантажень

Як видно з таблиці 2.1, надійність антенного вузла визначається насамперед правильним вибором класу міцності болтів і матеріалу. Використання стандартних будівельних кріплень є неприпустимим, адже вони не витримують динамічних навантажень. Нержавіюча сталь марок A2 та A4 забезпечує захист від корозії, що критично для довготривалої експлуатації в польових умовах.

Проте навіть найміцніший металевий вузол не гарантує довговічності без додаткового захисту від вібрації. Постійні коливання під час руху техніки поступово спричиняють

послаблення різьбових з'єднань, що може призвести до втрати антени. Саме тому наступним кроком є розгляд методів боротьби з вібрацією, які забезпечують стабільність кріплення у бойових умовах (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Методи боротьби з вібрацією

Метод	**Призначення**	**Особливості**
Контргайка	Друга гайка поверх основної	Простий і дешевий спосіб
Пружинна шайба	Постійний тиск на різьбу	Класичне рішення для військової техніки
Фіксатор різьби	Полімеризація клею в зазорах	Loctite 243 (синій, розбірний) або 270 (червоний, нерозбірний)
Пружинне з'єднання	Гнучкість кріплення	Дає змогу уникати пошкоджень антени в разі ударів

Надійність антенного вузла визначається й захистом від вібрації. Використання хоча б одного з наведених методів є обов'язковим, інакше антена втратить працездатність у перші години руху техніки.

Найбільш надійним методом для довготривалого встановлення у бойових умовах є болтове з'єднання, що передбачає свердління отворів у платформах монтажу.

Вибір кріплення. Використовуйте *болти та гайки підвищеного класу міцності.* Стандартні будівельні кріплення (клас 4.6, 5.8) не витримають динамічних навантажень.

Рекомендований клас міцності (сталь): не нижче 8.8 за ISO. Маркування «8.8» наноситься на головку болта. Для особливо важких конструкцій – клас 10.9. У гайки має бути відповідний клас міцності (наприклад, клас 8 для болта 8.8).

Нержавіюча сталь. Для захисту від корозії можна використовувати нержавіючу сталь. Найпоширеніші марки – A2 (аналог AISI 304, «харчова») та A4 (аналог AISI 316, «кислотостійка», краще для агресивних умов).

2.1.3 Зварювання: коли застосовується та вимоги до виконання робіт на броні

Зварювання використовується лише для монтажу важких кронштейнів і рам на бронетехніку. Воно забезпечує максимальну міцність, але потребує суворого дотримання технології, адже неналежне виконання робіт може призвести до зниження захисних властивостей броні (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Ключові правила зварювання броні

Правило	Рекомендація	Призначення
Вибір електродів	Низьководневі з основним покриттям (УОНИ-13/55, AWS E7018), попередньо просушені	Запобігають утворенню водневих тріщин
Попередній підігрів	120–250 °C залежно від марки сталі й товщини	Уповільнює охолодження, запобігає крихким структурам у HAZ
Мінімізація тепловкладення	Вузькі валики без широких коливань	Зменшує зону перегріву броні
Повільне охолодження	Накриття тканиною або піском	Запобігає утворенню тріщин у разі різкого охолодження

Увага! Роботи виконує лише сертифікований зварювальник із досвідом роботи з броньовими сталями. Неправильне зварювання гарантовано погіршить захисні властивості броні.

Отже, для збереження міцності та захисних властивостей броні виконання кожної вимоги має критичне значення. Щоб краще усвідомити їхню важливість, розглянемо можливі наслідки порушення зазначених вимог.

2.1.4 Магнітні основи: чому це не найкраще рішення для бойових умов

Побутові магнітні кріплення (англ. *Magnetic mounts*) створюють ілюзію зручності та швидкого монтажу (див. рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Зовнішня антена VX-1503 на магнітній основі

Однак в умовах бойових дій використання таких кріплень критично ризиковане, хоча й доволі поширене. Сили магніту часто недостатньо для утримання антени в умовах значних вібраційних навантажень, проїзду через лісисту місцевість чи зарості кущів, ривків на бездоріжжі або навіть під час руху на високій швидкості. Ризик втратити антену як критично важливий елемент системи у найвідповідальніший момент є неприпустимим.

Припустимим ризиком можуть бути потужні рідкісноземельні/ неодимові магніти, феромагнетики.

Феромагнетики – це речовини, що володіють сильними магнітними властивостями, зокрема здатністю до сильного намагнічування під дією зовнішнього поля та збереження намагніченості після його зникнення. Вони створюють сильне магнітне поле, яке посилює зовнішнє магнітне поле в сотні й тисячі разів. До них належать залізо, нікель, кобальт та їх сплави.

Це практичне рішення швидкого й надійного монтажу засобу РЕБ на техніці, яке сьогодні широко застосовується. Проте такий спосіб має обмеження у разі, якщо конструкція корпусу транспортного засобу містить пластикові (діелектричні) складники.

Для наочності розглянемо порівняння сили утримання побутових і неодимових магнітів для розуміння, чому перші не витримують бойових умов, а другі можуть бути тимчасовим рішенням (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Порівняння сили утримання магнітів

Тип магніту	Сила утримання	Надійність у бойових умовах	Особливості
Звичайний	Низька (відрив у разі вібрації)	Дуже низька	Використовується у побутових кріпленнях
Неодимовий	Висока (утримує десятки кілограмів)	Середня/висока	Посилює поле у сотні разів

Неодимові магніти можуть забезпечити тимчасове рішення, але навіть вони не гарантують абсолютної надійності у бойових умовах. Болтове кріплення залишається єдиним рекомендованим методом.

Антени є механічно вразливими, тому їх захищають дугами або рамами. Важливо, щоб конструкція не потрапляла у ближню зону антени та не блокувала випромінювання (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Правильний і неправильний захист антени

Варіант	Характеристика	Наслідки
Неналежний захист	Суцільна рама, близько до елементів	Екранування, спотворення діаграми спрямованості
Належний захист	Відкрита дуга, на відстані від елементів	Захист від гілок та уламків без впливу на випромінювання

Належний захист антени має являти собою легку відкриту конструкцію, яка ефективно захищає від механічних пошкоджень і водночас не заважає роботі випромінювальних елементів.

2.1.5 Захист антен від гілок та уламків: захисні дуги й рами

Антени особливо складних конструкцій (наприклад, антени типу «конюшина», від англ. *Cloverleaf antenna*) є механічно вразливими (див. рис. 2.2). Їх легко пошкодити гілками дерев або випадковими уламками.

Рішення. Установлення простих захисних дуг або рам навколо антени.



Рисунок 2.2 – Антена типу «конюшина», оптимізована під різні частоти

Важлива вимога. Конструкція захисту не має потрапляти в так звану ближню зону антени (безпосередньо біля випромінювальних елементів) і не бути суцільною, щоб не створювати перешкод для випромінювання.

Таблиця 2.6 – Порівняння належного і неналежного захисту антени

Варіант	**Характеристика**	**Наслідки**
Неналежний захист	Металева рама, розташована близько до випромінювальних елементів	Екранування антени, спотворення діаграми спрямованості, зниження ефективності
Належний захист	Рама з радіопрозорих матеріалів, розташована без прямого контакту з елементами антен	Захист від гілок та уламків без впливу на роботу антени

Отже, конструкція захисту має бути відкритою й розташованою на безпечній відстані від випромінювальних елементів. Неправильно організований захист перетворює антену на фактично «глуху», тоді як правильно виконаний дає змогу зберегти працездатність антени і водночас захистити від механічних пошкоджень.

2.2 Монтаж фідерної лінії: як не втратити потужність на шляху до антени

Фідерна лінія (англ. *Feeder line*), або коаксіальний кабель (англ. *Coaxial cable*) становить так звану транспортну артерію, що забезпечує передавання потужності від передавача до антени (рис. 2.3). Якщо ця артерія неякісна або її пошкоджено, то значну частину потужності буде втрачено внаслідок розсіяння у вигляді тепла.

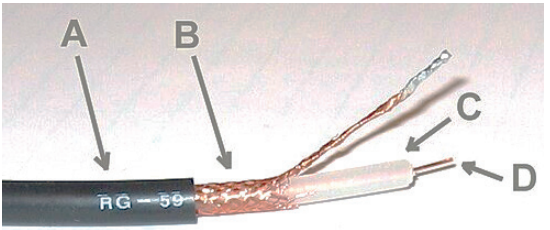


Рисунок 2.3 – Гнучкий коаксіальний кабель RG-59 (хвильовий опір 75 ± 3 Ом):
A – зовнішня пластикова оболонка; *B* – плетена мідна оболонка;
C – внутрішній діелектрик; *D* – мідна жила

2.2.1 Вибір коаксіального кабелю

Головна умова – хвильовий опір 50 Ом. Абсолютна більшість систем РЕБ та радіозв'язку розрахована на роботу з кабелем, що має хвильовий опір 50 Ом (англ. *Wave impedance*). Використання будь-якого іншого кабелю (наприклад, телевізійного 75 Ом) призведе до *неузгодженості* (англ. *Impedance Mismatch*). *Неузгодженість* – стан, коли параметри кабелю та антени не збігаються, внаслідок чого потужність не може ефективно перейти з кабелю в антену і відбивається назад до передавача. Це не тільки може суттєво знизити ефективність засобу РЕБ, але і з високою ймовірністю *спричинить перегрів та вихід із ладу підсилювача потужності* (англ. *Power Amplifier, PA*).

Якість і тип. Чим вища частота і довший кабель, тим більші втрати. Для мінімізації втрат слід використовувати якісні кабелі з товстою центральною жилою та щільним обплетенням, такі як *RG-213, LMR-400* або їх військові аналоги. Зовнішня оболонка

кабелю, призначеного для зовнішнього прокладання, має бути стійкою до ультрафіолету, зазвичай такі оболонки виготовляють із поліетилену (ПЕ) чорного кольору.

Отже, для ефективної роботи систем РЕБ та радіозв'язку критично важливо правильно вибрати коаксіальний кабель. Основний параметр – хвильовий опір 50 Ом. Використання кабелів з іншим опором призводить до неузгодженості та значних втрат потужності. У таблиці 2.7 порівняно найбільш поширені типи кабелів.

Таблиця 2.7 – Порівняння коаксіальних кабелів

Тип кабелю	**Хвильовий опір**	**Втрати сигналу**	**Придатність для РЕБ**	**Особливості**
Телевізійний 75 Ом	75 Ом	Високі, особливо на високих частотах	Непридатний	Використовується для ТБ, створює неузгодженість
RG-213	50 Ом	Середні	Придатний	Товста жила, щільне обплетення, класичний військовий стандарт
LMR-400	50 Ом	Низькі	Особливо придатний	Сучасний кабель із мінімальними втратами, стійкий до УФ

Як видно з таблиці 2.7, навіть кабелі з хвильовим опором 50 Ом суттєво відрізняються рівнем втрат. Графік (див. рис. 2.4) ілюструє залежність втрат сигналу від довжини кабелю – наскільки критичною є якість матеріалів і конструкція кабелю під час роботи на високих частотах. Графік підтверджує дані таблиці: телевізійний кабель 75 Ом має найвищі втрати, RG-213 – середні, а LMR-400 – мінімальні.

Отже, для систем РЕБ і радіозв'язку рекомендовано використовувати саме кабелі типу LMR-400 або їхні військові аналоги, що забезпечують стабільне передавання потужності навіть на великих відстанях.

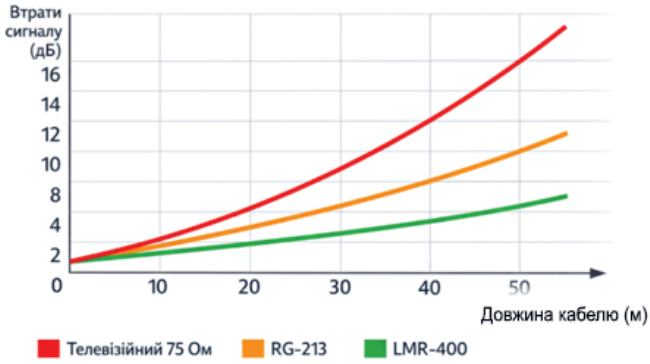


Рисунок 2.4 – Втрати сигналу залежно від довжини кабелю

2.2.2 Правила прокладання кабельних трас

Дотримання правил прокладання кабельних трас є критично важливим для збереження потужності сигналу та надійності систем РЕБ, а їх порушення призводить до втрат, пошкоджень кабелів і зниження ефективності апаратури. На рисунку 2.5 продемонстовано три основні принципи правильного монтажу фідерних ліній: плавні вигини кабелю, захист у втулках і віддалення від силових проводів. Дотримання цих вимог гарантує мінімальні втрати сигналу, підвищує надійність систем РЕБ та продовжує термін служби кабельних трас у польових умовах.



Рисунок 2.5 – Правила прокладання кабельних трас

Нижче наведено основні правила, дотримання яких дає змогу мінімізувати втрати сигналу та захистити кабелі від механічних пошкоджень та електромагнітних перешкод.

Захист. Кабелі слід прокладати у захищених каналах або кріпити до корпусу так, щоб унеможливити їх пошкодження чи перетирання.

Уникайте гострих перегинів. Мінімальний радіус вигину для більшості кабелів становить 10–20 діаметрів цього кабелю. Гострий злам змінює хвильовий опір і стає місцем втрат.

Подалі від завад. Прокладайте коаксіальний кабель якомога далі від силових кабелів бортової мережі та системи запалювання двигуна.

Захист отворів. Усі отвори в корпусі, через які проходить кабель, мають обладнуватися гумовими або пластиковими ущільнювачами (втулками), аби гострі металеві краї не перетерли ізоляцію кабелю.

2.3 Заземлення: обов'язкова умова безпеки і правильної роботи

Надійне електричне з'єднання корпусу блока засобу РЕБ із «масою» (корпусом) транспортного засобу, або *заземлення* (англ. *Grounding / Earthing*) – обов'язкова умова його належної роботи. Таке з'єднання забезпечує необхідний електричний контакт і є важливою складовою правильного монтажу системи.

Нижче на рисунку 2.6 наведено узагальнену ілюстрацію, що демонструє значення та практичне виконання заземлення для систем РЕБ.

2.3.1 Для чого потрібне заземлення?

Безпека особового складу: захист від ураження електричним струмом у разі виникнення несправності (пробою ізоляції на корпус).

Правильна робота апаратури: створення «опорного» нульового потенціалу для всіх електричних кіл усередині пристрою, що запобігає «плаванню» сигналів.

Зменшення перешкод: корпус апаратури стає частиною загального екрана, що мінімізує побічні електромагнітні випромінювання, які можуть демаскувати позицію або заважати роботі іншої електроніки.



Рисунок 2.6 – Заземлення: значення і практичне виконання

Отже, заземлення є обов'язковою умовою безпеки і правильної роботи апаратури РЕБ. Воно одночасно захищає персонал, стабілізує електричні кола та зменшує рівень електромагнітних перешкод.

2.3.2 Практичне виконання

Чим виконувати. Заземлення виконують коротким провідником великого перерізу. Оптимальним варіантом є *плетена мідна шина* (англ. *Braided copper strap*). За її відсутності можна використовувати товстий мідний кабель.

Як підключати. Провідник під'єднується до спеціальної клеми заземлення на корпусі блока засобу РЕБ і до точки на рамі або корпусі автомобіля, *зачищеної до чистого металевого блиску.*

Захист контакту. Після надійного затягування болта місце контакту необхідно захистити від корозії за допомогою технічного вазеліну, консистентного мастила або фарби.

Розділ 3. АНТЕНИ ТА ЇХ КЛЮЧОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для обґрунтованого вибору й ефективного використання антен не обов'язково бути радіоінженером – необхідно розуміти чотири ключові параметри, які визначають ефективність роботи антени. Це можна порівняти зі знанням характеристик зброї – дальність стрільби, калібр, темп та купчастість. Без розуміння цих параметрів неможливо оцінити її можливості та ефективно застосовувати.

3.1 Діаграма спрямованості (Radiation Pattern)

Діаграма спрямованості (ДС) – це, по суті, карта, що показує, в яких напрямках і з якою інтенсивністю антена випромінює радіохвилі.

Уявіть собі звичайний ліхтарик. Якщо він має широку розсіювальну лінзу, то світло поширюється на значну площу, але його інтенсивність у кожному окремому напрямку невелика. Якщо ж лінза вузька і сфокусована, світло концентрується в одному напрямку, але майже не освітлює простір збоку. Діаграма спрямованості антени працює за схожим принципом.

Для мобільних засобів РЕБ необхідно розглядати ДС у двох площинах.

Горизонтальна площина. Для всеспрямованих антен, потрібних для забезпечення захисту на 360°, ця діаграма має форму кола, тобто антена випромінює однаково потужно в усіх напрямках навколо себе.

Вертикальна площина. Це розріз «збоку», який показує, як антена випромінює у вертикальній площині – вгору і вниз. Саме в цьому полягають головні відмінності різних типів антен. У простої колінеарної антени ДС у вертикальній площині нагадує *бублик* (техн. – тор). Вона добре випромінює по горизонталі, але має значний «провал» потужності прямо над собою. Це і є той самий «конус мовчання» – вразлива зона для атаки згори. У антен типу «конюшина», квадрифілярних та інших подібних антен

діаграма спрямованості має форму, що нагадує купол або півсферу. Спроєктована вона таким чином, аби ефективно випромінювати у верхню півсферу, прикриваючи вразливу зону над технікою.

3.2 Коефіцієнт підсилення (Gain)

Коефіцієнт підсилення – це показник, який характеризує, наскільки краще антена концентрує енергію в певному напрямку порівняно з ідеальною антеною, що випромінює однаково в усіх напрямках (як лампочка без рефлектора). Коефіцієнт підсилення вимірюється у децибелах відносно ізотропного випромінювача (dBi)

Важливо. Антена – пасивний пристрій, що *не створює енергії і не підсилює потужність* вашого передавача, а лише *перерозподіляє* її у просторі.

Аналогія. Повернемося до ліхтарика. Якщо ви візьмете ту саму лампочку і помістите її у вузький рефлектор, промінь світла стане яскравішим (підсилення зросло), але кут освітлення зменшиться. Загальна кількість світла (енергії) залишилася тією ж самою. Для всеспрямованих антен, що випромінюють на 360°, коефіцієнт підсилення зазвичай невеликий (2–6 dBi), оскільки енергія «розподіляється» по великій площі. Якщо ви бачите всеспрямовану антену з високим коефіцієнтом підсилення (наприклад, 12 dBi), це означає, що її «бублик» ДС дуже плаский – антена забезпечує високу інтенсивність випромінювання в напрямку горизонту, але водночас має значно нижчу інтенсивність випромінювання у вертикальному напрямку.

На рисунку 3.1 наведено приклади діаграм спрямованості антен у горизонтальній і вертикальній площинах.

Форма діаграми спрямованості визначає ефективність прикриття техніки. У горизонтальній площині всеспрямована антена забезпечує рівномірне випромінювання на 360°, створюючи круговий захист. У вертикальній площині колінеарна антена формує «бублик» із конусом мовчання над собою, що залишає вразливою зону згори. Натомість антени типу «конюшина» та квадрифілярні формують своєрідний «купол» випромінювання, який розширює зону покриття у верхній півсфері та зменшує «мертву зону» над антеною.

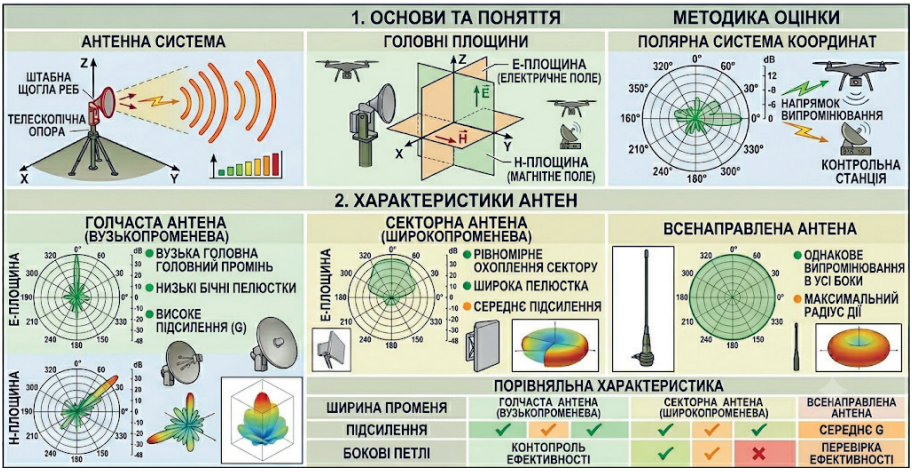


Рисунок 3.1 – Діаграми спрямованості антен у двох площинах

Для порівняння різних типів антен за формою діаграми спрямованості наведено додатковий приклад (рис. 3.2), який демонструє вплив ширини пелюстки випромінювання на зону покриття та коефіцієнт підсилення.



Рисунок 3.2 – Вплив ширини пелюстки діаграми спрямованості на зону покриття антени

Рисунок 3.2 доповнює попередній, показуючи, що форма та ширина пелюстки діаграми спрямованості визначають не лише напрям випромінювання, а й ефективність покриття території. Для засобів РЕБ важливо поєднувати антени різних типів: вузькоспрямовані – для точкових задач; всеспрямовані – для кругового захисту.

Отже, рисунки 3.1 та 3.2 у сукупності створюють повне уявлення про просторове випромінювання антен – від геометрії випромінювання до впливу ширини пелюстки. Це дає змогу ґрунтовно вибирати тип антени для забезпечення оптимального прикриття та ефективної роботи системи РЕБ.

3.3 Коефіцієнт стоячої хвилі (Standing Wave Ratio, SWR)

Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) є одним із найважливіших показників «здоров'я» всієї антенно-фідерної системи. Він показує, наскільки добре антена узгоджена з кабелем і передавачем.

Аналогія. Уявіть, що качаєте воду по шлангу, а на його кінці встановлено вузьку насадку, яка створює невідповідність. Частина води проходить через насадку, а частина – *повертається назад* по шлангу, створюючи в ньому надлишковий тиск. Те ж саме відбувається і з радіохвилями. Якщо антена погано узгоджена (пошкоджена, неправильно виготовлена, підключена невідповідним кабелем), то частина потужності передавача не випромінюється, а відбивається від антени назад по кабелю до передавача. Ця відбита потужність не зникає: вона перетворюється на тепло і *нагріває вихідний каскад підсилювача потужності,* що може легко його *спалити.*

На рисунку 3.3 показано вплив значення коефіцієнта стоячої хвилі на ефективність роботи антенно-фідерної системи та безпеку передавача. Рисунок наочно демонструє критичні межі КСХ: низькі значення гарантують ефективність і безпеку, тоді як перевищення порогу 2:1 різко знижує ефективність засобу РЕБ, а 3:1 і вище становлять пряму загрозу обладнанню.



Рисунок 3.3 – Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) та його вплив на роботу системи

Для зручності оцінювання у табл. 3.1 наведено узагальнені практичні значення КСХ.

Таблиця 3.1 – Значення КСХ

Значення КСХ	**Стан системи**	**Наслідки для роботи засобу РЕБ**
1	Ідеальний	Максимальна ефективність, уся потужність випромінюється
До 1,5	Оптимальний	Безпечна робота, оптимально для бойових умов
До 2	Добрий	Потрібна перевірка кабелю, роз’єму чи антени
2 – 3,2	Задовільний	Ефективність падає, ризик пошкодження передавача
Вище 3,2	Аварійна ситуація	Загроза виходу з ладу обладнання, заборона тривалої роботи

Слід зауважити, що рис. 3.3 і табл. 3.1 утворюють єдиний навчальний блок: рисунок демонструє візуальну залежність між КСХ і станом системи, а таблиця наводить числові орієнтири для практичного контролю. У сукупності вони дають змогу швидко оцінити ефективність антенно-фідерної системи й ухвалити рішення щодо її технічного обслуговування.

3.4 Поляризація: головний виклик під час подавлення каналу керування

Під час роботи тактичного засобу РЕБ ближньої дії, установленого на техніці, основним і фактично єдиним завданням є подавлення каналу керування дроном. Мета – розірвати зв'язок між пультом оператора і приймачем на борту БпЛА. Відеоканал при цьому не зазнає впливу, оскільки позбавлення противника можливості керувати дроном уже дає змогу досягти головної мети.

Поляризація сигналу визначає напрям коливань електричного поля хвилі. Для ефективного подавлення каналу керування необхідно, щоб поляризація випромінювання засобу РЕБ збігалася з поляризацією антени приймача дрона. І саме тут поляризація стає важливим чинником, що впливає на ефективність подавлення. Результативність такого впливу безпосередньо залежить від того, наскільки поляризація сигналу нашого засобу РЕБ збігається з поляризацією антени приймача на дроні (див. рис. 3.4).

Проблема: ціль складна й адаптивна.

Антена приймача на FPV-дроні – це не проста колінеарна антена, яка завжди стоїть вертикально. Ворог постійно вдосконалює свої засоби, тому можливе застосування кількох конфігурацій.

1. *Одна колінеарна антена* (тут і далі йдеться про будь-яку антену, що має форму штиря: колінеарні, хлистові тощо). Така антена може бути встановлена як вертикально, так і горизонтально.

2. *Система рознесених антен (Diversity)*. На дроні встановлено відразу дві антени (наприклад, одна вертикально, інша горизонтально). Електроніка дрона автоматично перемикається на ту антену, яка в цей момент приймає кращий сигнал.

3. *Адаптивні антени*. Деякі дрони оснащуються сервоприводами, що можуть примусово змінювати кут нахилу антени в польоті, намагаючись уникнути впливу від засобу РЕП і знайти положення, в якому сигнал від оператора буде кращим за сигнал завади.



Рисунок 3.4 – Вплив поляризації на ефективність подавлення каналу керування

Рисунок 3.4 чітко демонструє, що орієнтація антени дрона визначає ефективність завади. Горизонтальна антена створює найгірші умови приймання сигналу, тому для стабільного подавлення необхідна кругова або комбінована поляризація сигналу засобу РЕБ.

Наслідки неузгодженості поляризацій. Якщо засіб РЕБ випромінює сигнал лише у вертикальній поляризації, а антена дрона в цей момент горизонтальна (або пілот нахилив дрон на 90°), рівень завади на приймачі дрона впаде в 100–1000 разів (на 20–30 дБ). *Це робить наше РЕП практично невідчутним для дрона.* Завдання – створити такий сигнал завади, від якого антена дрона не зможе «сховатися» за жодних умов.

3.5 Інженерні рішення: як створити ефективну заваду

Розглянемо, як різні конструкції антен засобів РЕБ вирішують завдання стабільного подавлення каналу керування дронами з різною поляризацією.

3.5.1 Неефективне рішення: одна вертикальна колінеарна антена

Найпростіший варіант засобу РЕБ з однією вертикальною антеною працює лише проти дронів із такою самою орієнтацією антени. У реальних умовах, коли дрон маневрує або має систему рознесених антен, ефективність такого засобу стає низькою і нестабільною.

Отже, однополярні системи РЕБ не забезпечують надійного подавлення в динамічних умовах бою.

3.5.2 Поляризаційне рознесення: система з двома похилими антенами

Поляризаційне рознесення (система з двома похилими антенами) – рішення, створене для боротьби з цілями, поляризація яких невідома або змінюється.

Конструкція: дві колінеарні антени встановлені під кутом 45° до вертикалі та 90° одна до одної (форма «V»).

Принцип роботи: кожна антена випромінює сигнал із вертикальною та горизонтальною складовими. Разом вони формують щільне електромагнітне поле, яке перекриває всі можливі кути лінійної поляризації.

Результат: незалежно від орієнтації антени дрона – вертикальної, горизонтальної чи похилої – він гарантовано приймає потужну складову завади.

Отже, система з двома похилими антенами забезпечує стабільне подавлення навіть проти адаптивних антен або дронів із diversity-системою.

3.5.3 Кругова поляризація: «універсальний ключ» для роботи з лінійно поляризованими антенами

На відміну від лінійної поляризації, сигнал із круговою поляризацією має вертикальну й горизонтальну складові, що постійно обертаються.

Принцип роботи: антени типу «конюшина», квадрифілярні антени (*Quadrifilar Helix Antennas, QHA*), створюють поле з круговою поляризацією, яке взаємодіє з будь-якою лінійною антеною незалежно від її положення.

Результат: навіть у разі втрати частини потужності (≈ –3 дБ) ефективність залишається стабільною.

Перевага: дрон із лінійною антеною не може «сховатися» від такого сигналу, оскільки будь-яка зміна орієнтації не допоможе уникнути завади.

Висновок: антени засобу РЕБ із круговою поляризацією є найефективнішими проти дронів з адаптивними антенами на сервоприводах.

3.6 Вплив навколишнього середовища: ворог і союзник

Ефективність засобу РЕБ залежить не лише від техніки, а й умов місцевості. Середовище може одночасно зменшувати дальність дії вашого засобу та ускладнювати противнику ваше виявлення.

Ключова ідея полягає в тому, що *будь-яка фізична перешкода, що заважає поширенню радіохвиль вашого* засобу *РЕБ, так само заважає й поширенню радіохвиль каналу керування ворожого дрона*. Отже, середовище одночасно є вашим ворогом, що зменшує ефективність вашого «купола», і вашим найкращим союзником, що створює природне укриття. Підготовлений оператор не бореться із середовищем, а використовує його.

Вплив рельєфу та штучних перешкод

Як ворог: пагорби, яри, бетонні споруди створюють «радіотінь» – зони, де сигнал не проходить. Якщо дрон перебуває за схилом, то засіб РЕБ його не бачить.

Як союзник: «радіотінь» – це природне укриття. Перебуваючи за схилом або спорудою, ви невидимі для сигналів керування противника.

Порада: перед активацією засобу РЕБ оцініть рельєф – він може стати вашим захистом.

Вплив рослинності

Як ворог: серед лісу густе, вологе листя поглинає радіохвилі, особливо на високих частотах. Радіус дії засобу РЕБ може зменшуватися з 300 м до 100–10 м.

Як союзник: ліс погіршує зв'язок між оператором і дроном, змушуючи його підлітати ближче або вище, що робить дрон уразливішим.

Порада: використовуйте «зеленку» для прихованого пересування та пасивного захисту.

Вплив погодних умов

Як ворог: дощ, туман, мокрий сніг створюють загасання сигналу, зменшуючи дальність дії засобу РЕБ.

Як союзник: погана погода сильніше шкодить оператору дрона – знижуються точність, видимість і надійність електроніки.

Порада: у складних погодних умовах ефективність FPV-дронів противника різко падає, тож використовуйте це як перевагу.

Розділ 4. ВИБІР АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БОЙОВОГО ЗАВДАННЯ: ТАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ

Після розгляду теорії стає очевидним, що не існує однієї «найкращої» антени на всі випадки життя. Вибір конкретного типу антенної системи завжди являє собою *тактичний компроміс*, що ґрунтується на глибокому аналізі головної загрози, характеру бойового завдання та умов експлуатації.

4.1 Ключові чинники, що впливають на вибір

Перед тим, як порівнювати системи, кожний командир повинен провести ретельний аналіз обстановки за чотирма ключовими напрямами.

4.1.1 Пріоритетне завдання: глибоке розуміння противника

Аналіз загрози – не констатація факту «ворог використовує FPV-дрони», а розвідка, що потребує деталізації.

Стандартні дрони (масовий противник). Це дрони, зібрані з поширених компонентів, часто з однією або двома стандартними колінеарними антенами (наприклад, TBS Crossfire). Вони становлять більшість загроз. Їхня слабкість полягає у передбачуваності. Вони вразливі до будь-якої системи РЕБ, що створює щільне поле у потрібній поляризації.

Сучасні дрони із системами Diversity. Ідеться про дрони, оснащені двома антенами з різною поляризацією (наприклад, вертикальною та горизонтальною). Логіка приймача (англ. *Receiver*) автоматично обирає ту антену, яка в цей момент забезпечує найкращу якість приймання сигналу від оператора. Це робить їх значно стійкішими до простих систем РЕБ з однією поляризацією. Якщо ви створюєте заваду лише у вертикальній поляризації, дрон може просто перемкнутися на свою горизонтальну антену і продовжити політ.

Адаптивні дрони (цілеспрямована протидія РЕБ). Такі дрони є найскладнішою ціллю, оскільки оснащені сервоприводом, який фізично обертає антену в польоті. Логіка дрона працює таким

чином: якщо сигнал від оператора втрачається (наприклад, через дію засобів РЕБ), бортовий контролер активує сервопривід, і антена починає «шукати» у просторі таке положення, де сигнал від пульта оператора буде сильнішим за сигнал завади. Це динамічна загроза, що активно протидіє вашій системі.

На рисунку 4.1 показано типи дронів за складністю антенної системи: стандартні, diversity та адаптивні.



Рисунок 4.1 – Типи дронів за конфігурацією антен

У таблиці 4.1 наведено узагальнені вимоги до систем РЕБ залежно від типу дрона та конфігурації його антенної системи. Це дає змогу швидко співвіднести характер загрози з необхідним інженерним рішенням.

Таблиця 4.1 –Узагальнені вимоги до систем РЕБ залежно від типу дрона

Тип дрона	**Антена**	**Вимоги до антен засобів РЕБ**
Стандартний	Одна колінеарна	Достатньо лінійної поляризації
Diversity	Дві антени (верт.+гор.)	Потрібна комбінована поляризація
Адаптивний	Антена на сервоприводі	Необхідна кругова поляризація

Отже, складність антенної системи дрона беспосередньо визначає вимоги до засобів РЕБ. Якщо проти стандартних дронів достатньо лінійної поляризації, то протидія системам diversity

потребує поляризаційного рознесення, а адаптивним дронам – кругова поляризація. Командир повинен співвідносити тип загрози з конкретним інженерним рішенням, аби запобігти неефективному застосуванню засобів РЕБ.

Висновок. Вибір системи РЕБ має ґрунтуватися на розвідувальних даних. Аналіз уламків збитих дронів, радіоперехоплення, доповіді від дружніх підрозділів дають розуміння, до протидії яким засобам противника необхідно готуватися. Якщо в зоні відповідальності діють дрони із системою Diversity або адаптивною системою зв'язку, потреба в універсальних системах РЕБ (біполяризаційних) різко зростає.

4.1.2 Характер бойових дій: фізика середовища

Середовище, в якому працює система РЕБ, диктує свої закони поширення радіохвиль та вимоги до обладнання.

Відкрита місцевість (поля, степи). Головну роль відіграє дальність. Загроза може з'явитися на значній відстані, а кут атаки зазвичай невеликий. Важлива висока енергетика сигналу засобу РЕБ. Механічні пошкодження антен малоймовірні, тому можна використовувати менш захищені, але ефективніші системи.

Лісиста місцевість, лісосмуги. Головний ворог – фізичне оточення. Гілки, дерева, вузькі проїзди неминуче призведуть до контакту з антенами. Навіть найефективніша антена типу «конюшина» може отримати пошкодження після першого ж контакту з товстою гілкою. Тож вимога до *механічної міцності* стає абсолютно пріоритетною.

Щільна міська забудова. Вона є найскладнішим середовищем для радіозв'язку. Виникає ефект *багатопроменевого поширення (multipath)*. Сигнал від засобів РЕБ відбивається від стін будівель і надходить до дрона з різних напрямків із затримкою. Відбиті сигнали можуть як підсилювати один одного, так і взаємно послаблюватися, створюючи непередбачувані «дірки» в захисному «куполі». Кругова поляризація значно стійкіша до цього ефекту, оскільки під час відбиття змінює напрямок обертання – з правого на лівий і навпаки, і антена може частково відфільтрувати відбиті сигнали, надаючи перевагу прямому.

У таблиці 4.2 наведено вплив різних типів середовища на поширення сигналів засобу РЕБ, а також практичні рекомендації щодо вибору антенної системи. Це дає змогу командиру швидко співвіднести умови місцевості з оптимальним інженерним рішенням.

Таблиця 4.2 –Вплив різних типів середовища на поширення сигналів РЕБ

Середовище	**Особливості поширення сигналу**	**Рекомендації для РЕБ**
Відкрите поле	Велика дальність, мало перешкод	Використовувати антени з високим підсиленням
Лісиста зона	Поглинання сигналу листям	Використовувати міцні антени, короткі кабелі
Місто	Відбиття (multipath)	Використовувати кругову поляризацію

Отже, середовище є критичним чинником під час вибору антенної системи. У відкритому полі головним є підсилення сигналу, у лісі – міцність і надійність антен, а в міських умовах найкраще працює кругова поляризація, яка забезпечує стійкість до багатопроменевого поширення.

4.1.3 Вимоги до надійності та ремонтопридатності: виклики експлуатації

У бою будь-яке обладнання виходить із ладу. Питання в тому, як швидко ви можете повернути його до роботи.

Надійність (MTBF – Mean Time Between Failures). Такі прості конструкції, як колінеарні антени, мають значно менше потенційних місць виникнення несправностей. Вони не містять крихких паяних з'єднань, схильних до пошкодження під дією вібрації, як це можливо в антенах типу «конюшина».

Польовий ремонт є ключовим аспектом.

Колінеарна антена

У разі пошкодження колінеарної антени її можна замінити на запасну за кілька хвилин. В екстреній ситуації можна виготовити тимчасову заміну, зачистивши центральну жилу коаксіального кабелю на потрібну довжину (чверть довжини хвилі) або навіть

використавши відрізок польового кабелю П-274 («польовка»). Ефективність системи при цьому знизиться, але вона продовжить працювати.

Антена типу «конюшина», квадрифілярні антени (QHA)

Будь-яка деформація пелюсток або спіралей призводить до катастрофічної зміни її характеристик (насамперед КСХ). Відремонтувати її в полі неможливо. Спроба «вигнути назад» лише погіршить ситуацію. Така антена потребує повної заміни на аналогічну заводську.

У таблиці 4.3 порівнюється ремонтопридатність різних типів антен у бойових умовах.

Таблиця 4.3 – Тип антени та її ремонтопридатність

Тип антени	**Надійність**	**Ремонт у полі**
Колінеарна	Висока, мало точок відмови	Легко замінити або імпровізувати
Антени типу «конюшина», QHA-антени	Середня, чутлива до деформацій	Ремонт неможливий, потрібна заміна
Секторна	Середня	Частковий ремонт можливий, але складний

Отже, прості колінеарні антени є найбільш ремонтопридатними в полі, тоді як антени типу «конюшина», квадрифілярні антени потребують заводської заміни. Це визначає вибір системи залежно від умов бою.

Рисунок 4.1 і таблиці 4.1, 4.2, 4.3 утворюють єдиний навчальний блок, який дає змогу командиру приймати обґрунтовані рішення для конкретного бойового завдання.

4.1.4 Демаскувальні ознаки та помітність: як зменшити ризик виявлення

Техніка з очевидними ознаками засобів РЕБ автоматично стає пріоритетною ціллю для артилерії, ПТРК та БпЛА.

Візуальна помітність. Дві похилі колінеарні антени можуть бути замасковані під стандартні антени зв’язку. Натомість великий білий або чорний «купол» QHA-антени чи специфічна форма антени

типу «конюшина» має унікальний і добре помітний силует. Це не тільки демаскує тип системи, але й свідчить про високу важливість машини, яку вона захищає (ймовірно, командно-штабна машина або машина управління).

Маскування. Колінеарну антена можливо легко пофарбувати в камуфляж. Купольні антени покриваються маскувальною сіткою, але лише за умови, що сітка суха й не містить металевих елементів, інакше вона буде поглинати потужність.

На рисунку 4.2 наведено приклади різних типів антен і показано їхню помітність.



Рисунок 4.2 – Візуальна помітність антен РЕБ

Отже, форма антени може прямо вказувати на тип системи РЕБ. Колінеарні антени менш помітні, тоді як антени типу «конюшина» та купольні ОНА легко ідентифікуються противником, що підвищує ризик ураження.

У таблиці 4.4 наведено рівень візуальної помітності різних типів антен та можливості їх маскування. Це дає змогу командиру оцінити ризик демаскування техніки та ухвалити оптимальне рішення для конкретної бойової ситуації.

Таблиця 4.4 – Рівень візуальної помітності

Тип антени	Рівень помітності	Можливості маскування
Колінеарна	Низький	Легко фарбується у камуфляжний колір, можна замаскувати під антену зв'язку
Антени типу «конюшина»	Високий	Складна форма, маскування обмежене, легко впізнається
QHA-антени	Дуже високий	Можна прикрити маскувальною сіткою (сухою, без металу), але силует залишається помітним

Отже, форма антени є критичним демаскувальним чинником. Колінеарні антени найменш помітні й легко маскуються, тоді як інші мають унікальний силует, який складно приховати. Тому, вибираючи антенну систему, командир повинен ураховувати не лише її ефективність, а й ризик стати пріоритетною ціллю для противника.

Найкращим рішенням є використання простих колінеарних антен або застосування заходів для зниження помітності складніших конструкцій.

4.2 Детальний огляд видів антен: конструктивні особливості

Перед проведенням тактичного аналізу важливо навчитися швидко ідентифікувати антену за її зовнішнім виглядом та розуміти її переваги й недоліки.

4.2.1 Всеспрямовані колінеарні антени

Зовнішній вигляд та ідентифікація. Найпростішим і найпоширенішим типом є гнучка або жорстка колінеарна антена (або провідник у діелектричному корпусі), встановлена на основі (див. рис. 4.3, 4.4). Може мати в основі пружину для гнучкості. Легко маскується під штатні антени радіозв'язку.

Ключові переваги

1. *Максимальна механічна міцність.* Це своєрідний «автомат Калашникова» у світі антен. Вона розрахована на жорсткі умови експлуатації, витримує удари гілок, вібрації, падіння.

2. *Висока ремонтопридатність.* Навіть у разі пошкодження колінеарну антену легко замінити. В екстремальних умовах можна імпровізувати, використавши шматок проводу потрібної довжини, що дасть змогу системі продовжити роботу, хоч і з меншою ефективністю.

3. *Низька вартість і доступність.* Найдешевші й найпоширеніші антени, що спрощує їхню заміну.

4. *Низька візуальна помітність.* Не привертає зайвої уваги, оскільки схожа на звичайну антену зв'язку.

Критичні недоліки

1. Лінійна поляризація. Головний тактичний недолік. Для ефективної роботи проти цілей, що маневрують, потребує використання в парі (як у системах із поляризаційним рознесенням).

2. «Конус мовчання». Має значну «мертву зону» у вигляді конуса безпосередньо над собою. Украй вразлива до атак дронів, що вертикально пікірують згори.

Тактичне резюме. Надійна, проста, витривала робоча система. Сама по собі не є найефективнішим рішенням, але її недоліки можна компенсувати правильним застосуванням у системі з парою похилих антен. Ідеальний вибір, коли пріоритетом є забезпечення живучості обладнання у складних умовах експлуатації.



Рисунок 4.3 – Всеспрямована колінеарна антена (антена-штир, варіант із пружиною в основі)



Рисунок 4.4 – Антена Wartex «Колінеарна Палка» для засобів РЕБ

Отже, колінеарна антена є надійним і простим рішенням, яке добре витримує механічні навантаження та легко ремонтується, однак потребує доповнення іншими антенами для усунення тактичних недоліків. Тому така антена ефективна лише як частина комбінованої системи, а не як самостійне рішення.

4.2.2 Антени типу «конюшина» (Cloverleaf antenna)

Зовнішній вигляд та ідентифікація. Характерна форма – три або чотири вигнутих пелюстки, що розходяться з центральної точки. За цією ознакою конструкція миттєво ідентифікується як спеціалізована антена, зазвичай призначена для FPV-дрона або системи РЕБ.

Ключові переваги

1. Справжня кругова поляризація. Головна і, по суті, єдина функція, яку така антена виконує дуже добре. Завдяки цьому вона стає ефективним «універсальним ключем» проти лінійних антен дронів.

2. Якісне покриття верхньої півсфери. Форма діаграми спрямованості нагадує купол, що порівняно з колінеарною антеною значно краще перекриває вразливу зону над технікою.

Критичні недоліки

1. *Надзвичайна крихкість*. Це її ахіллесова п’ята: пелюстки виготовлені з тонкого дроту або мідної пластини і кріпляться до центрального кабелю паянням. Будь-який удар, навіть незначний, деформує геометрію пелюсток.

2. Чутливість до зміни геометрії. Навіть незначна деформація спричиняє катастрофічне погіршення КСХ (SWR). Унаслідок цього передавач починає працювати на неузгоджене навантаження, що призводить до його перегріву та швидкого виходу з ладу.

3. Нульова ремонтопридатність у полі. Спроба «вигнути пелюстки назад» ніколи не поверне антену до робочих параметрів – вона потребує повної заміни.

У таблиці 4.5 підсумовано ключові характеристики антени типу «конюшина», її переваги й недоліки. Це дає змогу швидко оцінити тактичну цінність антен такого типу та зрозуміти, у яких умовах вона буде ефективною, а де її використання може виявитися ризикованим.

Таблиця 4.5 – Антена типу «конюшина»: переваги й недоліки

Характеристика	**Перевага**	**Недолік**
Поляризація	Кругова, універсальна	–
Покриття верхньої півсфери	«Купол», ліквідує вразливу зону	–
Механічна міцність	–	Дуже низька, крихка
Чутливість до деформацій	–	Навіть невелика зміна геометрії руйнує КСХ
Ремонтопридатність	–	Нульова, потрібна заміна
Візуальна помітність	–	Висока, легко ідентифікується

Отже, антена типу «конюшина» є надзвичайно ефективною у створенні кругової поляризації та перекритті верхньої півсфери. Однак в активних бойових умовах крихкість і відсутність ремонтопридатності роблять її непридатною для використання на техніці. Застосування такої антени виправдане лише у статичних, безпечних сценаріях, де можна повністю реалізувати потенціал без ризику пошкодження: у глибокому тилу або на стаціонарних об’єктах із мінімальним ризиком механічного впливу.

4.2.3 Квадрифілярні антени (Quadrifilar Helix Antenna, QHA)

Зовнішній вигляд та ідентифікація. Зазвичай має вигляд циліндра або купола (часто білого або сірого кольору) із радіопрозорого пластику чи скловолокна (рис. 4.5; див. рис. 4.6, 4.7). Сама антена (чотири спірально закручені провідники) перебуває всередині цього захисного корпусу (радома).

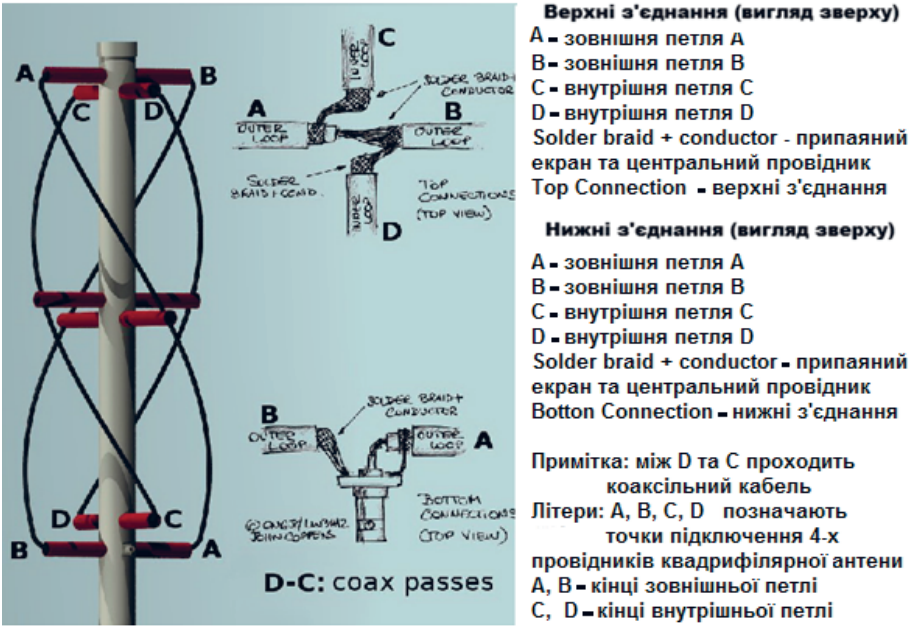


Рисунок 4.5 – Конструкція квадрифілярної антени для засобу РЕБ

Ключові переваги

1. *Найкраща діаграма спрямованості для боротьби з дронами.* Формує ідеальний, щільний «купол» подавлення, спеціально спроєктований для максимального випромінювання у верхню півсферу.

2. *Ефективна кругова поляризація.* Так само, як і антени типу «конюшина», є універсальним рішенням, але часто з кращою якістю поляризації.

4. *Висока надійність (у корпусі)*. Захисний корпус (радом) робить її стійкою до погодних умов (дощ, сніг, обледеніння) та легких механічних пошкоджень. Вона значно міцніша за відкриту антену типу «конюшина».



Рисунок 4.6 – Квадріфілярна антена (900–1050 Мгц)



Рисунок 4.7 – Захищені квадрифілярні антени купольного типу для засобу РЕБ (500–700 МГц)

Критичні недоліки

1. *Висока вартість і складність виробництва*. Це найдорожчий і технологічно найскладніший тип антени.

2. *Значні габарити та висока помітність*. Великий «купол» є дуже помітним демаскувальним елементом, що миттєво видає машину із засобом РЕБ.

3. *Нульова ремонтопридатність*. Пошкодження внутрішньої структури є фатальним, антена не підлягає ремонту в полі.

У таблиці 4.6 наведено ключові характеристики квадрифілярних антен (QHA), їхні переваги й недоліки, що дає змогу оцінити їхню тактичну цінність і зрозуміти, у яких умовах вони є оптимальним вибором.

Таблиця 4.6 – Квадрифілярна антена (QHA): переваги й недоліки

Характеристика	Перевага	Недолік
Діаграма спрямованості	Формує щільний «купол» подавлення у верхній півсфері	–
Поляризація	Ефективна кругова, універсальне рішення	–
Надійність	Радом захищає від складних погодних умов і легких пошкоджень	–
Вартість	–	Дуже висока, складне виробництво
Габарити і помітність	–	Великий «купол», легко ідентифікується
Ремонтопридатність	–	Нульова, пошкодження фатальні

Отже, квадрифілярні антени є найбільш ефективним і професійним рішенням для боротьби з дронами завдяки ідеальній діаграмі спрямованості та якісній круговій поляризації. Водночас їхні недоліки роблять такі антени доцільними лише для захисту найцінніших активів (командних пунктів, вузлів зв'язку, систем ППО), де максимальна ефективність є абсолютним пріоритетом, а вартість і помітність відходять на другий план.

4.3 Розбір тактичних сценаріїв

Сценарій А. Супровід колон і штурмові групи

Аналіз. У цьому сценарії головним чинником є висока динаміка та агресивне середовище. Антени зазнають постійних вібраційних навантажень, що призводять до ослаблення кріплення, та ударних

навантажень від контакту з гілками. Завдання – забезпечити безперервний захист колони, де вихід із ладу засобу РЕБ навіть на одній машині спричиняє небезпечну прогалину (див. рис. 4.8).

Рекомендація. Система з *двома похилими колінеарними антенами.*

Обґрунтування. Перевага в механічній міцності тут є абсолютною. Можливість швидкої заміни пошкодженого елемента безпосередньо в полі дає змогу зберегти боєздатність підрозділу. Навіть якщо ефективність проти адаптивних дронів дещо нижча, це компенсується тим, що сама система з більшою ймовірністю у потрібний момент працюватиме.

Сценарій Б. Оборона стаціонарних об'єктів

Аналіз. Стаціонарний об'єкт (КП, склад, позиція артилерії) є ціллю, яку противник буде вивчати. Він може застосовувати різні тактики, запускати дрони з різних напрямків і висот, використовувати свої найсучасніші моделі. Захист має бути абсолютним (див. рис. 4.8).

Рекомендація. Обирати систему з *круговою поляризацією*, віддаючи однозначну перевагу надійній *квадрифілярній (QHA) антені в захисному корпусі.* Використання більш крихких антен, типу «конюшина», можливе лише за відсутності кращих альтернатив та за умови створення для них додаткового фізичного захисту.

Обґрунтування. Оскільки техніка нерухома, ризик механічних пошкоджень мінімальний. Натомість тут виникає максимальний ризик зіткнутися з «розумним» противником, який використовує адаптивні антени. Здатність кругової поляризації розірвати зв'язок об'єкта подавлення за будь-яких умов стає вирішальною. Це створює психологічний комфорт для екіпажу, який упевнений у надійності свого «купола».

Сценарій В. Бойові дії в умовах щільної міської забудови

Аналіз. Місто – це 3D-лабіринт для радіохвиль. Прямої видимості майже ніколи немає. Сигнал вашого засобу РЕБ долітає до дрона десятками різних шляхів, відбиваючись від бетону й металу. Кожне таке відбиття змінює поляризацію лінійного сигналу – робить його хаотичним і непередбачуваним.

Рекомендація. Система з *круговою поляризацією (QHA).*

Обґрунтування. Здатність кругової поляризації краще працювати в умовах багатопроменевого поширення (*multipath*) визначає її як єдиний надійний вибір для міста. Вона створює значно більш стабільне й однорідне поле завади, заповнюючи «тіні» та «провали», що виникають через відбиття.

Вибір антенної системи залежить від тактичного середовища (рис. 4.8). Колінеарні антени забезпечують міцність і ремонтопридатність у русі, тоді як QHA-антени – оптимальне рішення для стаціонарних і міських умов, де є потреба у круговій поляризації та стійкості до багатопроменевого поширення сигналу (*multipath*).

У таблиці 4.7 узагальнено три типові тактичні сценарії застосування засобів РЕБ. Вона дає змогу швидко співвіднести умови бойової обстановки з оптимальним вибором антенної системи з огляду на динаміку, характер місцевості та рівень загрози з боку дронів.



Рисунок 4.8 – Тактичні сценарії застосування засобів РЕБ

Таблиця 4.7 – Узагальнення типових тактичних сценаріїв застосування засобів РЕБ

Сценарій	Умови середовища	Рекомендована система РЕБ
А. Супровід колон	Висока динаміка, удари, вібрації	Дві похилі колінеарні антени
Б. Оборона стаціонарних об’єктів	Ризик адаптивних дронів, різні напрямки атак	QHA-антена з круговою поляризацією
В. Міська забудова	Multipath, хаотичні відбиття сигналів	QHA-антена з круговою поляризацією

Отже, вибір антенної системи залежить від тактичного середовища. У динамічних умовах пріоритетом є міцність і ремонтопридатність, у стаціонарних – абсолютна ефективність проти адаптивних дронів, а в міських умовах – стійкість до багатопроменевого поширення.

Розгляд сценаріїв демонструє, що універсального рішення для всіх випадків не існує. Командир повинен співвідносити характер бойових дій із конкретними інженерними можливостями антен. Колінеарні системи забезпечують живучість у русі, а QHA-антени – максимальну ефективність у статичних та міських умовах.

4.4 Гібридні системи та концепція ешелонованого захисту

Професійний підхід полягає в комбінуванні сильних сторін різних систем.

Гібридна система на одній машині. Це рішення для виконання універсальних завдань. Так, на башті встановлюють надійну систему з похилими колінеарними антенами для основного діапазону подавлення 900 МГц, оскільки антени цього діапазону є великими і вразливішими. Поруч установлюють меншу за розміром, але більш універсальну QHA-антену для діапазонів 2,4/5,8 ГГц.

Ешелонований захист колони. Тактика, що перетворює колону на єдиний організм РЕБ. Важливо зазначити, що в реаліях сучасної війни рух колонами не рекомендований!

«Розвідка боєм» (дозорні машини). Оснащуються найміцнішими системами на основі колінеарних антен. Їхнє завдання – витримати перший контакт і забезпечити базовий захист.

«Ядро» (КШМ, управління). Оснащуються найефективнішими системами з круговою поляризацією, створюючи над центром прийняття рішень надзахищений «купол».

Фланги і замикання. Оснащуються колінеарними антенами. Такий підхід потребує ретельного частотного планування, аби машини не глушили одна одну, однак створює глибоку, відмовостійку та надзвичайно ефективну систему захисту.

На рисунку 4.9 наведено приклади гібридної системи на одній машині та схему ешелонованого захисту колони. Показано, як поєднання різних типів антен дає змогу створити багаторівневу систему РЕБ.

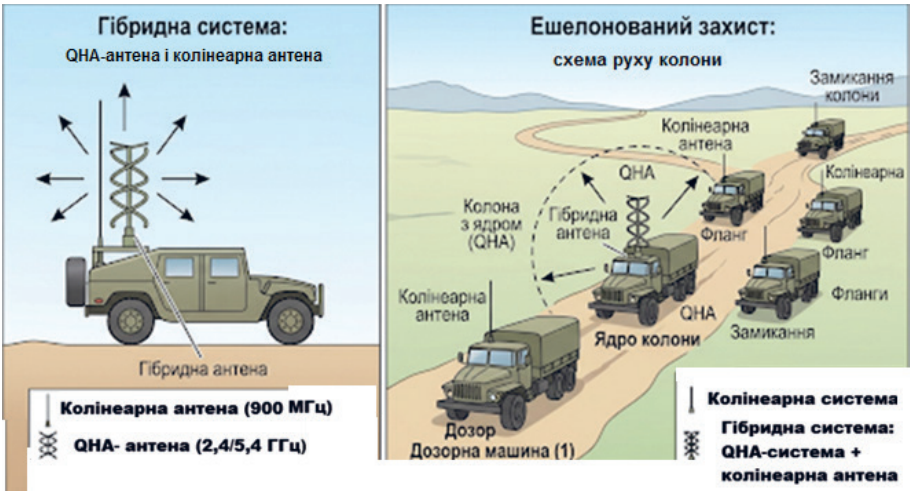


Рисунок 4.9 – Гібридні системи та ешелонований захист

Отже, гібридна система дає змогу одній машині працювати в кількох діапазонах, поєднуючи міцність і універсальність. Ешелонований захист колони створює багаторівневу систему, де кожна група машин виконує свою роль: дозорні витримують перший контакт, ядро формує «купол» над центром управління, а фланги забезпечують глибину та відмовостійкість.

Такий підхід перетворює колону на єдиний організм РЕБ.

4.5 Порівняння ключових характеристик основних типів антенних систем

Для систематизації викладеної інформації у табл. 4.8 наведено ключові характеристики основних типів антенних систем, що застосовуються в мобільних засобах РЕБ.

Таблиця 4.8 – Зведена порівняльна таблиця антенних систем

Критерій/ параметр	**Система з поляризаційним рознесенням (2 похилі колінеарні антени)**	**Антена типу «конюшина» (Cloverleaf)**	**Квадрифілярна антена (QHA)**
Ефективність подавлення			
Проти дронів із 1–2 лінійними антенами	Дуже висока. Кругова поляризація забезпечує надійне покриття цілі незалежно від її орієнтації	Висока. Ефективнна, але з фіксованою втратою потужності –3 дБ	Висока. Ефективна, але з фіксованою втратою потужності –3 дБ
Проти дронів з адаптивною антеною (на сервоприводі)	Середня. Теоретично, адаптивна система може виявити «мертву зону»	Відмінна. Уникнути дії кругової поляризації неможливо	Відмінна. Найкращий контрзахід, від якого неможливо ухилитися
В умовах щільної міської забудови (multipath)	Задовільна. Лінійна поляризація сильніше спотворюється під час відбиття від перешкод	Дуже висока. Кругова поляризація значно стійкіша до відбитих сигналів	Відмінна. Найкращий вибір для складного радіоелектронного середовища міста
Покриття верхньої півсфери («купол»)	Задовільна. Наявний значний «конус мовчання» безпосередньо над системою	Висока. Формує добрий захисний «купол» з мінімальним провалом згори	Відмінна. Спроєктована для створення ідеального, щільного «купола» над об’єктом
Надійність та експлуатація			
Механічна міцність	Дуже висока. Проста й міцна конструкція, стійка до ударів, вібрацій	Дуже низька. Надзвичайно крихка, чутлива до будь-яких деформацій	Висока. Завдяки захисному корпусу (радому) добре захищена

Кінець таблиці 4.8 – Зведена порівняльна таблиця антенних систем

Критерій/ параметр	**Система з поляризаційним рознесенням (2 похилі колінеарні антени)**	**Антена типу «конюшина» (Cloverleaf)**	**Квадрифілярна антена (QHA)**
Ремонто-придатність у польових умовах	Висока. Пошкоджену колінеарну антену можна легко замінити навіть імпровізованим аналогом	Нульова. Будь-яка деформація є фатальною і потребує повної заміни	Нульова. Пошкодження внутрішньої структури неможливо відремонтувати у польових умовах
Стійкість до погодних умов (дощ, сніг, обледеніння)	Висока. Проста конструкція, малочутлива до опадів	Низька. Відкрита конструкція схильна до обледеніння, що змінює її параметри	Відмінна. Захисний корпус повністю захищає за будь-яких погодних умов
Тактичні параметри			
Візуальна помітність (демаскувальні ознаки)	Низька. Може бути замаскована під штатні антени зв'язку	Середня. Характерна форма, що легко ідентифікується	Висока. Великий купол є очевидним демаскувальним елементом
Габарити і вага	Низькі. Зазвичай є найбільш компактним і легким рішенням	Середні. Легка, але може мати значні габарити за шириною	Високі. Зазвичай найважча й найгабаритніша з трьох
Орієнтовна вартість і доступність	Низька. Найдешевше та найдоступніше рішення	Середня. Спеціалізований і дорожчий виріб	Висока. Найдорожче й технологічно найскладніше рішення
Рекомендоване застосування	Захист рухомих колон, штурмові дії, робота в лісі	Захист малорухомих об'єктів в умовах високого ризику механічного пошкодження	Захист критично важливих стаціонарних об'єктів, робота у міській забудові

Отже, командир повинен співвідносити тактичне середовище з конкретними інженерними можливостями антен, обираючи баланс між живучістю, універсальністю та максимальною ефективністю.

Вибір антенної системи – це інтелектуальне завдання, яке потребує від командира глибокого аналізу та усвідомленого рішення. Необхідно оцінити загрози, проаналізувати місію та умови застосування, а також зробити компроміс між механічною надійністю, універсальністю подавлення та візуальною прихованістю. Найефективнішим підходом є комбінування різних рішень, що дає змогу створити глибокий, ешелонований захист, здатний забезпечити живучість і максимальну ефективність системи РЕБ у будь-якому тактичному середовищі.

Розділ 5. ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ЗАСОБІВ РЕБ ТА АРХІТЕКТУРА ПІДКЛЮЧЕННЯ

Навіть найдосконаліша система РЕБ з ідеально підібраною антеною без живлення перетворюється на марний шматок металу. Енергія на полі бою є таким самим критичним ресурсом, як боєприпаси чи пальне. Важлива не лише її кількість, а й якість. Сучасна електроніка засобів РЕБ надзвичайно чутлива до стабільності напруги, тому будь-які імпульсні перепади або коливання можуть призвести до виходу апаратури з ладу. Бортова мережа військової техніки, особливо в моменти запуску двигуна, роботи лебідки чи інших потужних споживачів, є джерелом сильних коливань та імпульсних навантажень, і пряме підключення чутливих модулів до такого «брудного» живлення фактично гарантує їх пошкодження.

Сучасний етап протидії FPV-загрозам змушує встановлювати на один носій від 6 до 8 автономних модулів подавлення для перекриття всього розширеного спектра частот, що піднімає сумарне енергоспоживання засобу до 600–1200 Вт. Подібне навантаження перевищує штатний «енергетичний бюджет» більшості рухомих платформ і потребує повної перебудови системи енергозабезпечення. Це означає, що архітектура живлення має проєктуватися так само ретельно, як і вибір антен чи тактичних сценаріїв застосування: із використанням стабілізаторів, фільтрів та окремих джерел живлення для чутливих модулів, аби гарантувати безперервну роботу засобу в умовах бойового середовища.

5.1 Аналіз джерел живлення: вибір джерела енергії

Мобільний засіб РЕБ може живитися від кількох типів джерел, і належний вибір між ними визначає його боєздатність у конкретних тактичних умовах.

5.1.1 Бортова мережа техніки (під час роботи двигуна)

Штатний генератор є основним джерелом живлення під час руху або на позиції, де немає потреби в тиші. Він виробляє електроенергію, забезпечуючи роботу систем і заряд акумуляторів.

Перевага – практично необмежений час роботи: поки є пальне, засіб зберігає працездатність.

Недоліки – значний шум і тепловий слід, що демаскують машину, а також обмежена потужність генератора, який може не витримати навантаження від потужного засобу РЕБ разом з іншими споживачами.

5.1.2 Акумуляторні батареї (АКБ) техніки (за вимкненого двигуна)

Акумуляторні батареї – джерело для роботи в «тихому режимі», коли прихованість є пріоритетом. Система живиться безпосередньо від штатних АКБ техніки.

Перевага – повна акустична й теплова прихованість, що критично важливо для роботи на спостережних пунктах, у засідках або вночі.

Недоліки – суворо обмежений час роботи й ризик повного розряду, який може унеможливити запуск двигуна та перетворити мобільну техніку на нерухому мішень.

5.1.3 Додаткові (виносні) джерела живлення

Портативні генератори та зарядні станції є засобами підвищення автономності й тактичної гнучкості.

Портативні генератори (бензинові/дизельні) дають змогу живити засоби РЕБ тривалий час без запуску основного двигуна. Їх можна винести на відстань і замаскувати, зменшивши демаскуючі ознаки техніки, проте вони все одно створюють шум.

Портативні зарядні станції (*EcoFlow, Bluetti*) – потужні «павербанки» на літієвих акумуляторах, які працюють безшумно й компактно, забезпечуючи приховану роботу засобу РЕБ навіть на віддалених позиціях.

Недолік – обмежена ємність і потреба у тривалому підзарядженні.

На рисунку 5.1 наведено узагальнену архітектуру живлення мобільного засобу РЕБ. На схемі показано взаємодію різних джерел енергії та їхнє підключення до чутливих модулів із використанням стабілізувальних і захисних елементів.

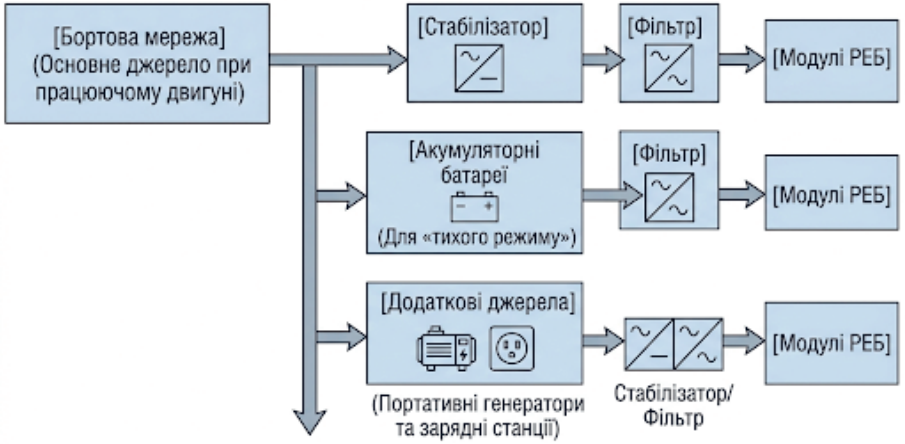


Рисунок 5.1 – Архітектура живлення засобу РЕБ

Отже, архітектура живлення засобу РЕБ має бути багатоканальною та захищеною. Кожне джерело енергії підключається через стабілізувальні й фільтрувальні блоки, що гарантує якість живлення та безпеку апаратури. Такий підхід дає змогу комбінувати різні джерела відповідно до тактичної ситуації, забезпечуючи безперервну роботу засобу.

Для системного порівняння джерел живлення мобільного засобу РЕБ нижче наведено узагальнену таблицю, яка дає змогу швидко оцінити переваги й недоліки кожного варіанта та визначити оптимальні умови їх застосування (див. табл. 5.1).

На рисунку 5.2 порівнюються основні джерела живлення мобільного засобу РЕБ. Схема дає змогу швидко оцінити сильні та слабкі сторони кожного варіанта й визначити оптимальні умови їх застосування.

Таблиця 5.1 – Джерела живлення мобільного засобу РЕБ

Джерело	**Переваги**	**Недоліки**	**Оптимальне застосування**
Бортова мережа	Практично необмежений час роботи; одночасне заряджання АКБ	Шум, тепловий слід; обмежена потужність генератора	Рух колон, робота на позиції без вимог прихованості
Акумуляторні батареї	Повна акустична й теплова прихованість	Обмежений час роботи; ризик неможливості запуску двигуна	Засідки, спостережні пункти, нічні операції
Додаткові джерела (генератори, зарядні станції)	Автономність, гнучкість; можливість винесення та маскування	Шум генератора; обмежена ємність зарядних станцій	Довготривала робота без двигуна; приховані позиції, віддалені від техніки

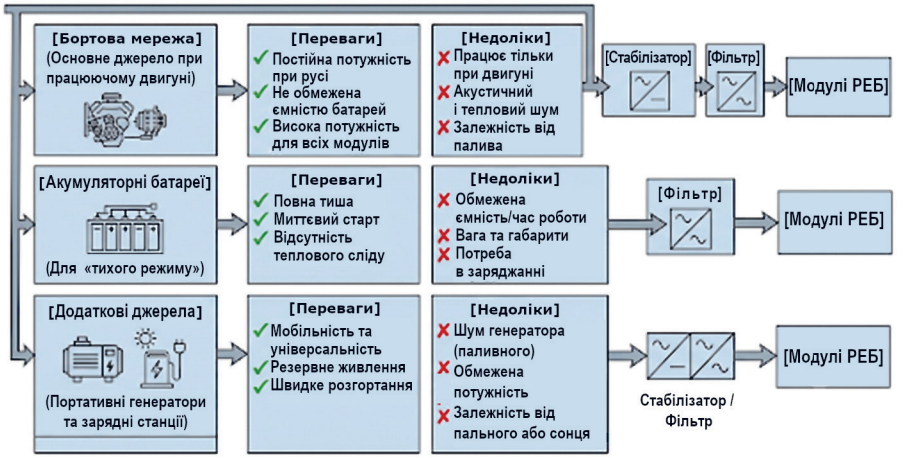


Рисунок 5.2 – Порівняння джерел живлення

Отже, бортова мережа забезпечує тривалу роботу, але демаскує техніку; акумулятори дають повну прихованість, однак мають обмежений ресурс; додаткові джерела підвищують автономність,

але потребують планування та мають власні обмеження. Надійна система енергозабезпечення засобу РЕБ потребує комбінованого використання різних джерел живлення.

5.2 Архітектура підключення: від ідеальної до вимушеної

Для систематизації підходів до архітектури живлення нижче наведено три основні варіанти інтеграції. Їх подано від найбільш оптимального й безпечного («золотий стандарт») до найпростішого, але ризикованого («вимушений захід»).

5.2.1 «Золотий стандарт»: ізольована система з автономним живленням

Ізольована система з автономним живленням є найбільш оптимальним, надійним і рекомендованим методом. Його сутність полягає у створенні цілком відокремленого енергетичного контуру для апаратури РЕБ, який лише підзаряджається від основної мережі, але безпосередньо під час роботи ніколи не живиться від неї.

Компоненти системи

1. Автономна акумуляторна батарея (або блок батарей). Це окрема АКБ, призначена виключно для живлення засобу РЕБ. Її ємність підбирають під потужність засобу та бажаний час автономної роботи.

2. Реле заряду (VSR, Voltage Sensitive Relay). Це «розумний» автоматичний вимикач, так зване серце системи. Він підключає автономну АКБ до бортової мережі для заряджання *лише тоді, коли напруга в мережі висока (тобто коли працюють двигун і генератор).* Коли двигун вимикається і напруга падає, реле автоматично роз'єднує два контури.

Принцип роботи

1. Двигун працює. Генератор техніки виробляє енергію. Реле заряджання «бачить» високу напругу (наприклад, > 26 В) і замикає контакти. Генератор одночасно заряджає і штатні АКБ техніки, і автономну АКБ системи РЕБ.

2. Двигун вимикається. Напруга у бортовій мережі падає до напруги спокою АКБ (~24–25 В). Реле «бачить» це падіння і розмикає контакти. *Штатні АКБ та автономна АКБ повністю ізольовані одна від однієї.*

3. Засіб РЕБ працює. Засіб РЕБ живиться *лише від своєї автономної АКБ*, споживаючи її заряд. Штатні АКБ техніки при цьому не розряджаються.

Переваги

1. Захист апаратури. Автономна АКБ діє як величезний буфер, повністю «згладжуючи» всі перепади напруги. На засоби РЕБ подається ідеально чисте і стабільне живлення, що критично важливо, *оскільки перепади напруги можуть порушувати їхню роботу та спричиняти пошкодження обладнання.*

2. Гарантований запуск двигуна. Повне розрядження автономної АКБ жодним чином не вплине на заряд штатних акумуляторів. Двигун завжди можна завести.

3. Тактична гнучкість. Можливо максимально довго й безпечно працювати в «тихому режимі».

5.2.2 «Срібний стандарт»: пряме підключення через стабілізатор напруги

Пряме підключення через стабілізатор напруги – компромісний варіант у разі, якщо організувати повноцінну ізольовану систему немає можливості.

Принцип роботи. Засіб РЕБ підключається до бортової мережі техніки, але не напряму, а через спеціальний пристрій – *стабілізатор напруги DC-DC.* Це електронний пристрій, який на вході приймає нестабільну напругу (наприклад, 22–29 В), а на виході видає фіксовану, чисту напругу (наприклад, стабільні 24 В).

Переваги

Захист апаратури. Стабілізатор ефективно «фільтрує» мережу, захищаючи засоби РЕБ від більшості небезпечних коливань напруги.

Критичні недоліки

1. *Не розв'язує проблеми розряду штатних АКБ.* Під час роботи в «тихому режимі» засіб РЕБ споживатиме заряд основних акумуляторів техніки, що може спричинити їх розрядження та унеможливити запуск двигуна.

2. *Потребує якісного компонента.* Дешеві стабілізатори можуть не впоратися з потужними імпульсними завадами в мережі бронетехніки.

5.2.3 «Вимушений захід»: пряме підключення до АКБ

Пряме підключення до АКБ – найпростіший, найшвидший, але водночас *найризикованіший метод, який не рекомендується застосовувати.*

Принцип роботи: засіб РЕБ підключається напряму до клем штатних акумуляторів.

Ризики:

– *висока ймовірність пошкодження апаратури РЕБ* через нестабільність бортової мережі;

– *критичне розрядження штатних АКБ* та неможливість завести двигун.

Застосування: лише як тимчасовий захід в екстреній ситуації або для малопотужних систем РЕБ з урахуванням усіх ризиків.

Характеристики штатних систем електроживлення бронетехніки

Важливо знати «енергетичний бюджет» своєї машини. Незнання цих параметрів – це як вирушати в похід, не знаючи місткості своєї фляги з водою.

У практиці інтеграції систем РЕБ в енергосистему техніки є три основні підходи. Вони відрізняються рівнем надійності та ступенем ризику й утворюють діапазон – від найбільш надійного та безпечного («золотий стандарт») до найпростішого, але ризикованого («вимушений захід»).

«Золотий стандарт» – ізольована система з автономним живленням. Найбільш надійний варіант, що гарантує стабільність напруги та безпеку апаратури, а також виключає ризик розрядження штатних АКБ.

«Срібний стандарт» – пряме підключення через стабілізатор. Це компромісне рішення, яке захищає апаратуру від більшості коливань, але не усуває ризик розрядження штатних батарей.

«Вимушений захід» – пряме підключення до АКБ. Найпростіший і найризикованіший метод, який може застосовуватися лише в екстрених умовах або для малопотужних систем.

Для практичного розрахунку можливостей інтеграції систем РЕБ у бронетехніку необхідно знати параметри штатних систем електроживлення. У таблиці 5.2 наведено довідкові характеристики генераторів та акумуляторних батарей основних зразків техніки, що дає змогу оцінити їхній «енергетичний бюджет».

Таблиця 5.2 – Характеристики штатних систем електроживлення основних зразків бронетехніки

Тип техніки	Номінальна напруга, В	Потужність генератора	Штатні АКБ (тип, кількість, ємність)	Сумарна ємність системи АКБ
Танк Т-72	24	СГ-10-1С, 10 кВт	4 × 6СТЭН-140М (12 В, 140 А·год)	280 А·год при 24 В
БТР-80	24	~5 кВт	2 × 6СТ-190 (12 В, 190 А·год)	190 А·год при 24 В
БМП-2	24	ВГ-7500Н, 5 кВт	2 × 6СТ-70М (12 В, 70 А·год)	70 А·год при 24 В

Примітка. Дані є довідковими і можуть відрізнятися залежно від модифікації техніки та встановлених АКБ.

Отже, командир повинен ураховувати реальні характеристики електроживлення кожної машини, щоб уникнути перевантаження генератора та запобігти критичному розрядженню батарей.

5.3 Вибір акумулятора для автономної системи

Після того, як визнано «Золотий стандарт» з ізольованою системою живлення найкращим рішенням, постає ключове питання: який саме акумулятор обрати для цього автономного контуру? Вибір

правильного типу АКБ є не менш важливим рішенням, аніж вибір антени. Від нього залежить час роботи, надійність, довговічність та загальна безпека всієї системи.

5.3.1 Характеристики різних типів акумуляторних батарей

Для вибору оптимального джерела живлення системи РЕБ важливо враховувати характеристики різних типів акумуляторних батарей. У таблиці 5.3 наведено порівняння свинцево-кислотних (AGM, GEL) і літієвих акумуляторів за ключовими параметрами, що визначають їхню надійність, ресурс і придатність до бойового застосування.

Таблиця 5.3 – Порівняння типів акумуляторів

Параметр	**Свинцево-кислотні (Lead-Acid)**	**Літієві (Lithium)**
Кількість циклів заряджання – розряджання (до 80 % ємності)	400–700	700–1200
Рекомендована глибина розряду (ηbatt)	~ 50 %	~ 60 – 80 %
Питома енергоємність (Вт·год/кг)	Низька (30–50)	Низька (30–40)
Вимоги до зарядного пристрою	Стандартний для свинцево-кислотних	Спеціальний режим для літієвих (нижча напруга)
Стійкість до вібрацій	Висока	Середня
Безпека	*Висока.* Непроливний, стабільний	*Висока.* Непроливний, стабільний
Орієнтовна вартість (за 1 кВт·год ємності)	Середня	Висока
Ключові переваги	Поширеність. Надійність. Стійкість до вібрацій	Кращий ресурс

Отже, свинцево-кислотні акумулятори (AGM, GEL) залишаються одним із найпоширеніших і надійних рішень завдяки простоті заряджання, стійкості до вібрацій та відносно доступній вартості. Проте їхні головні недоліки – велика вага й обмежена кількість циклів заряджання – розряджання. Літієві акумулятори мають значно більший ресурс (700–1200 циклів) і допускають глибший розряд, що підвищує ефективність використання їхньої ємності, але вони дорожчі й вимогливіші до умов заряджання, а їхня питома енергоємність залишається порівняно низькою. Тому вибір між свинцево-кислотними й літієвими АКБ є компромісом між вартістю, ресурсом і тактичною гнучкістю: для масового застосування доцільні свинцево-кислотні, а для високонавантажених або критично важливих систем – літієві акумулятори.

5.3.2 Тактичний висновок і рекомендації

Вибір типу акумуляторної батареї для системи РЕБ має не лише технічне, а й тактичне значення. Нижче наведено практичні рекомендації щодо застосування різних технологій АКБ залежно від умов експлуатації та пріоритетів.

Свинцево-кислотний – надійний базовий варіант, оптимальний за обмеженого бюджету й потреби у простому, перевіреному рішенні.

Недоліки: велика вага, відносно малий ресурс.

GEL – доцільний передусім для стаціонарних об'єктів, де важливий максимальний ресурс серед свинцево-кислотних технологій. Для мобільних засобів переваги над AGM незначні.

Li-ion (NMC/NCA) – виправданий у випадках, коли критично важлива мінімальна вага (наприклад, переносні системи). Для техніки має обмеження через менший ресурс і ризики безпеки.

$LiFePO_4$ – найкращий вибір для довготривалих автономних систем, призначених для встановлення на техніці. Висока початкова вартість компенсується тривалим ресурсом, безпекою та надійністю у складних умовах експлуатації.

Переваги. Незважаючи на найвищу початкову вартість, у довгостроковій перспективі це найдешевше рішення. Завдяки великій кількості циклів заряджання – розряджання (у 5–10 разів

більше, ніж у свинцево-кислотного) така батарея переживе кілька свинцево-кислотних, що в підсумку вийде дешевше. Найголовніше – *безпека й надійність*. Хімічна стабільність $LiFePO_4$ робить його найкращим вибором для жорстких умов експлуатації, де вібрації, струси та ризик пошкодження є постійними.

Отже, якщо система створюється «на один раз» або бюджет суворо обмежений, то доцільно використовувати свинцево-кислотні. Побудова професійної, довговічної та безпечної системи «золотого стандарту» потребує оптимального рішення – $LiFePO_4$. Це інвестиція, яка виправдає себе надійністю й боєздатністю засобу РЕБ.

5.3.3 Тепловий менеджмент і безпека $LiFePO_4$ акумуляторів високої ємності

Застосування у мобільних системах РЕБ $LiFePO_4$ акумуляторів великої ємності потребує особливої уваги до теплового режиму. Високі струми розряджання і тривала робота в бойових умовах створюють ризик перегріву, що може призвести до автоматичного вимкнення системи.

$LiFePO_4$ батареї є оптимальним рішенням для «золотого стандарту» живлення потужних систем РЕБ, але їхня ефективність безпосередньо залежить від належного теплового менеджменту. Монтаж у закритих відсіках без вентиляції загрожує перегрівом, особливо влітку. Коли температура сягає +55 °C, плата BMS блокує віддачу енергії, що може призвести до зупинки засобу під час маршу. Тому необхідно забезпечити примусову вентиляцію, регулярно очищати радіатори охолодження та контролювати температуру батарей. Це гарантує безпеку, довговічність і безперервну роботу системи РЕБ у бойових умовах.

5.4 Методика розрахунку часу автономної роботи

Розрахунок часу роботи засобу РЕБ від акумуляторів – це не абстрактна формула, а відповідь на ключове тактичне питання: скільки годин підрозділ може залишатися непоміченим у тихому

режимі, зберігаючи боєздатність і можливість маневру. Для цього використовуються чіткі формули та коефіцієнти, що враховують ємність батарей, напругу, споживану потужність і втрати на інверторі.

Основна формула (для роботи від штатних або автономних АКБ):

$$T = \frac{C \times V \times \eta_{\text{batt}} \times \eta_{\text{inv}}}{p} \ ,$$

де T – час роботи, год;

C – сумарна ємність акумуляторів, А·год;

V – номінальна напруга бортової мережі (зазвичай 24 В);

P – споживана потужність засобу, Вт;

η_{batt} – тактичний коефіцієнт глибини розряду;

η_{inv} – коефіцієнт корисної дії інвертора.

Тактичні умови

«Срібний стандарт» / «Вимушений захід»: живлення від штатних АКБ.

Тактичний коефіцієнт глибини розряджання $\eta_{\text{batt}} \leq 0{,}5$ (щоб гарантовано залишалась енергія для запуску двигуна).

«Золотий стандарт»: живлення від автономної АКБ. Тактичний коефіцієнт глибини розряджання $\eta_{\text{batt}} \approx 0{,}8$ (можна допустити глибше розряджання, бо запуск двигуна від цієї батареї не залежить).

Живлення напряму від 24 В: $\eta_{\text{inv}} = 1$.

Через інвертор: $\eta_{\text{inv}} \approx 0{,}85–0{,}9$.

Приклад розрахунку:

$C = 200$ А·год; $V = 24$ В → запас енергії = 4800 Вт·год;

$\eta_{\text{batt}} = 0{,}5$; $\eta_{\text{inv}} = 0{,}9$;

$P = 600$ Вт.

$$T = \frac{4800 \times 0{,}5 \times 0{,}9}{600} \approx 3{,}6 \text{ год.}$$

Формула для портативних зарядних станцій має такий вигляд:

$$T = \frac{E \times \eta_{\text{inv}}}{P} \ ,$$

де T – час роботи, год;

E – ємність станції, Вт·год;

P – потужність споживання;

η_{inv} – коефіцієнт корисної дії інвертора.

Висновок. Наведена формула дає змогу швидко оцінити час автономної роботи засобу РЕБ залежно від типу джерела живлення, глибини розряду та ККД інвертора. Для планування тактичних дій у «тихому режимі» це має важливе значення.

5.5 Практичні рекомендації щодо підключення живлення

Неправильне підключення може знищити як засіб РЕБ, так і транспортний засіб. Це правила, написані «кров'ю» згорілої апаратури.

5.5.1 Уникайте підключення через роз'єм прикурювача

Підключення потужних споживачів до гнізда прикурювача ***категорично заборонено***, оскільки:

– це гніздо розраховане лише на невелику потужність (до 100–150 Вт);

– перегорання запобіжника є найменшим ризиком за спроби підключення засобу РЕБ;

– розплавлення проводки й пожежа – найгірший сценарій, який може знищити машину й апаратуру.

Отже, підключення потужних споживачів (засобів РЕБ, інверторів) до гнізда прикурювача *категорично заборонено*.

5.5.2 Правильне підключення: товсті кабелі й запобіжник

Потужні засоби РЕБ, інвертори та системи заряджання автономних АКБ підключаються безпосередньо до клем штатних АКБ або до силових розподільчих щитків. Це гарантує безпечну роботу та захист машини від аварій.

Переріз кабелю:

– використовуються мідні кабелі відповідного перерізу;

– чим більша потужність, тим товщий кабель;

– для потужності 500–1000 Вт при напрузі 24 В потрібен кабель перерізом не менше 6–10 мм².

Запобіжник:

– у силовий кабель обов'язково встановлюється запобіжник відповідного номіналу;

– запобіжник монтується якомога ближче до клеми «+»;

– у разі короткого замикання в кабелі запобіжник захищає від пожежі машину, а не апаратуру.

Отже, потужні засоби РЕБ слід підключати безпосередньо до клем АКБ або силових щитків. Використовуйте мідні кабелі достатнього перерізу (для 500–1000 Вт при 24 В – не менше 6–10 мм²). У силовий кабель обов'язково встановлюйте запобіжник біля клеми «+», який захищає машину від пожежі в разі короткого замикання.

5.5.3 Вибір інвертора: лише «чиста синусоїда»

Якщо ваш засіб РЕБ потребує живлення напругою 220 В, використовуйте лише якісні інвертори, що генерують напругу з «чистою синусоїдою» (*Pure Sine Wave*).

Чому це важливо:

1) дешеві інвертори з «модифікованою синусоїдою» можуть генерувати напругу, непридатну для живлення чутливої електроніки;

2) живлення від такого інвертора може спричинити:

– збої в роботі апаратури;

– перегрів електронних блоків;

– вихід із ладу системи РЕБ.

Правильне рішення:

– використовуйте інвертори з «чистою синусоїдою», сертифіковані для роботи з високочутливою електронікою;

– перевіряйте технічні характеристики перед застосуванням, особливо форму вихідної напруги.

Пам'ятайте! Інвертор – не просто перетворювач, а ключовий елемент безпеки й надійності вашого засобу.

Отже, вибір інвертора – критичний етап. Для живлення засобу РЕБ використовуйте лише інвертори з «чистою синусоїдою». «Модифікована синусоїда» небезпечна, оскільки спричиняє збої, перегрів і може знищити апаратуру.

5.5.4 Захист від імпульсних просідань і стабілізація напруги важкої техніки

Робота РЕБ-засобів на борту важкої бронетехніки має свої особливості. Найбільш критичним моментом є запуск двигуна, коли бортова мережа зазнає екстремальних навантажень. Саме в цей час виникають імпульсні просідання та зворотні імпульси напруги, які становлять смертельну загрозу для чутливої цифрової архітектури засобів РЕБ.

Проблема «брудного» старту:

– у момент запуску важких дизельних двигунів (В-46/В-84 на Т-72, УТД-20 на БМП-2) напруга у мережі 24 В може короткочасно падати до 10–12 В;

– це супроводжується потужними зворотними імпульсами (до сотень вольт) від генератора та системи компресії.

Наслідки для засобів РЕБ:

1) для чутливої цифрової архітектури (SDR-модулі, FPGA-матриці) такі просідання є *фатальними;*

2) виникають збої у програмному забезпеченні:

– перезавантаження модулів;

– вихід із ладу синтезаторів частоти;

3) засіб РЕБ може втратити працездатність на 30–60 с – саме у критичний момент початку руху чи виходу з-під обстрілу.

Вимоги до DC-DC стабілізаторів

Для систем потужністю 600–1200 Вт використання стабілізаторів є *обов'язковою інженерною умовою*.

Стабілізатор повинен мати:

– широке вікно вхідної напруги (9–32 В);

– ультраконденсатори або буферний фільтр великої ємності;

– здатність утримувати стабільні 28 В на виході навіть у разі глибокого просідання мережі.

Отже, захист від імпульсних просідань є критичним для виживання засобу РЕБ.

Розділ 6. ТАКТИКА БПЛА ПРОТИВНИКА ТА МЕТОДИ ПРОТИДІЇ

До цього моменту ми розглядали засіб РЕБ як наш інструмент. Тепер поглянемо на нього з іншого боку – очима нашої цілі, ворожого FPV-оператора.

Противник не є пасивним об'єктом, що просто чекає на подавлення. Це активний і підготовлений супротивник, який уважно вивчає наші методи, адаптується до них і розробляє власні тактики подолання захисту. Щоб йому протидіяти, ми повинні мислити так само гнучко й передбачливо, як і він, тобто:

1) аналізувати тактику застосування БпЛА;

2) вивчати методи обходу впливу засобів РЕБ;

3) прогнозувати поведінку FPV-оператора;

4) розробляти контрзаходи, які випереджають його дії.

6.1 Очима ворожого пілота: як FPV-оператор сприймає дію засобу РЕБ

Для розуміння тактики противника необхідно відчути те саме, що й він. FPV-оператор – це не абстрактна ціль, а людина, яка в реальному часі переживає наслідки нашого впливу. Коли його дрон потрапляє в зону дії засобу РЕБ, він стикається з одним із кількох сценаріїв, кожний із яких формує його реакцію та подальшу тактику.

Сценарії впливу засобу РЕБ на FPV-оператора такі (див. табл. 6.1):

1) повна втрата відеосигналу:

– екран окулярів «замерзає» на останньому кадрі або перетворюється на «сніг»;

– оператор «сліпне», втрачаючи головну перевагу FPV – керування по відео;

2) повна втрата керування – дрон перестає реагувати на команди, так само можливі варіанти:

– продовження польоту за останньою командою (некерований снаряд);

– хаотичні перевороти;

– активація режиму Failsafe з поверненням на точку зльоту;

3) часткове подавлення («сіра зона»):

– відеосигнал «розсипається на квадрати», виникають затримки;

– керування стає «ватним», дрон реагує із запізненням, досвідчений оператор може сприйняти це як шанс «проскочити» і довести атаку до кінця.

Таблиця 6.1 – Сценарії впливу на БпЛА

Сценарій	Технічна причина	Ефект на борту	Реакція оператора
Blackout (Відео)	Перевищення шуму над сигналом (SNR < 0)	Зникнення зображення, «сніг»	Дезорієнтація, припинення атаки
Link Loss (Керування)	Подавлення RC-каналу (433/868/915/ 2400 МГц)	Failsafe: зависання, автоповернення або падіння	Втрата контролю, інерційний політ
«Сіра зона» (Лаг)	Часткове подавлення завади	Latency > 200 мс, «зависання» відео	Спроба прориву, ризик помилки

Отже, FPV-оператор сприймає дію засобу РЕБ як втрату контролю – повну або часткову. Найнебезпечнішим для нього є сценарій «сірої зони», коли пілот ще бачить картинку й намагається завершити атаку. Розуміння цих реакцій дає нам змогу прогнозувати поведінку противника та будувати ефективні контрзаходи.

6.2 Тактичні прийоми противника та методи негайної протидії

Противник постійно адаптується до нашого впливу, використовуючи різні технічні й тактичні прийоми. Для ефективної протидії важливо не лише знати ці прийоми, а й мати готові алгоритми негайної реакції. У цьому підрозділі розглянемо кожну тактику у форматі «Проблема → рішення», що дасть змогу швидко зрозуміти сутність загрози та методи її нейтралізації.

6.2.1 Тактика № 1: «Прорив на інерції»

Проблема

FPV-оператор заздалегідь, за 400–500 м до цілі, виводить дрон на бойовий курс, набирає максимальну швидкість і рухається по прямій. Навіть у разі повного подавлення за 100–200 м до цілі БпЛА може продовжити рух за інерцією та подолати цю відстань завдяки наявній кінетичній енергії, після чого вразити об'єкт як некерований снаряд.

Рішення

Ефективна протидія можлива лише шляхом ешелонованого захисту вглиб та ранньої активації засобів РЕБ.

1. Пости візуального спостереження: розташовуються попереду засобів РЕБ, щоб виявити дрон на дальніх підступах (500–800 м).

2. Раннє подавлення: за командою спостерігачів засіб РЕБ умикається завчасно, позбавляючи оператора керування ще до виходу на фінальну траєкторію. Це змушує дрон упасти далеко від цілі або повернутися назад.

Отже, тактика «Прорив на інерції» небезпечна тим, що дрон може долетіти навіть без керування. Єдиний спосіб протидії – раннє виявлення та завчасне подавлення, а не робота «на останньому рубежі».

6.2.2 Тактика № 2: «Атака з висоти (піке)»

Одним із найскладніших викликів для засобів РЕБ є атака з великої висоти. Для того, щоб обійти наш захист, противник використовує гравітацію та слабкі місця діаграми спрямованості антен. Така тактика дає йому змогу атакувати верхню проєкцію техніки – найменш захищену зону, де часто виникає «конус мовчання». Ефективна протидія потребує поєднання технічних рішень (належний вибір антен) із тактичними заходами (укриття, маневр, інтеграція з вогневими засобами).

Проблема

FPV-оператор піднімає дрон на значну висоту (300–500 м), залишаючись над основним «бубликом» діаграми спрямованості засобу РЕБ. Потім переводить його у майже вертикальне піке, використовуючи гравітацію для набору швидкості. Атака спрямована у верхню проєкцію техніки, де часто виникає «конус мовчання» колінеарних антен.

Рішення

1. Технічне рішення: правильний вибір антени. Для стаціонарних і малорухомих об'єктів пріоритетом є антени з круговою поляризацією та купольною діаграмою спрямованості (ОНА), які не мають «мертвих зон» згори.

2. Тактичне рішення. Якщо доступні лише колінеарні антени, необхідно компенсувати слабкість тактично:

– використанням природних або штучних укриттів (сітки, навіси);

– готовністю до маневру в разі виявлення загрози з великого кута;

– інтеграцією з вогневими засобами для ураження дрона в піке.

Варіант вирішення у форматі "Step-by-Step Guide"

1. Виявлення загрози.

Раннє виявлення дрона, що набирає висоту:

– використовуйте *пости спостереження* на дальніх рубежах;

– контролюйте сектор над технікою.

2. Технічне рішення.

Захист верхньої проєкції антеною без «мертвих зон»:

– використовуйте *ОНА антени* з круговою поляризацією;

– забезпечте *купольну діаграму спрямованості.*

3. Тактичне рішення.

Компенсація слабкості колінеарних антен:

– використовуйте *маскувальні сітки й навіси;*

– будьте готові до *маневру під час атаки з піке;*

– інтегруйте засоби РЕБ із *вогневими засобами.*

Отже, тактика «Піке» спрямована на використання слабкості верхньої проєкції. Єдиний надійний технічний захист – антени з круговою поляризацією та купольною ДС. Якщо таких немає, необхідно компенсувати слабкість тактично: укриття, маневр та інтеграція з вогневими засобами.

6.2.3 Тактика № 3: «Групова атака» («Рій»)

Проблема

Противник запускає одночасно кілька дронів із різних напрямків. Це створює:

1) технічне навантаження – перенасичення системи захисту;

2) психологічний тиск – екіпаж змушений концентруватися на одній цілі, поки інші прориваються.

Мета ворога – зламати вашу координацію та змусити пропустити хоча б один дрон.

Рішення

Завдання засобів РЕП у цьому випадку – *зірвати скоординовану атаку*, а не знищити всі дрони:

– увімкнений засіб РЕП змушує частину дронів втратити керування: вони зависають, падають або рухаються хаотично;

– швидка організована атака перетворюється на набір дезорієнтованих загроз;

– екіпаж отримує *декілька секунд на маневр* або застосування вогневих засобів.

Варіант вирішення у форматі ″Step-by-Step Guide″

1. Виявлення загрози:

– раннє визначення напрямків атаки;

– використання постів спостереження для оцінювання кількості дронів.

2. Технічне рішення:

– увімкнення засобу РЕП у широкому секторі;

– пріоритет – зламати координацію, а не кожний окремий канал.

3.Тактичне рішення:

– використання укриттів і маневру для уникнення удару;

– інтеграція засобів РЕБ із вогневими засобами (стрілецька зброя, антидронові рушниці);

– розподіл уваги екіпажу: один оператор контролює роботу засобу РЕБ, інші – сектор обстрілу.

Схема на рис. 6.1 демонструє послідовність: організований «рій» дронів атакує з кількох напрямків → вплив засобу РЕБ → хаотичний рух, втрата координації та падіння окремих апаратів.

Така послідовність відповідає методичному принципу: аналіз → рішення → алгоритм → ілюстрація → висновок.

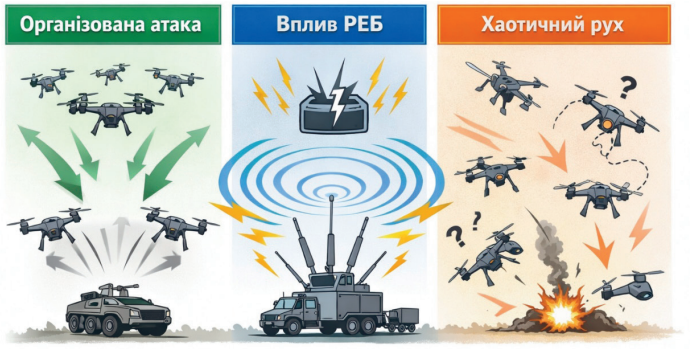


Рисунок 6.1 – Зрив групової атаки дронів засобами РЕБ

Отже, тактика «Рій» небезпечна тим, що створює одночасний тиск із кількох напрямків. Мета РЕБ полягає не у знищенні всіх дронів, а у зриві координації атаки, щоб виграти час для маневру й застосування вогневих засобів.

6.2.4 Тактика № 4: «Виманювання» («Приманка»)

Тактика противника «Виманювання» спрямована не на ураження цілі, а на знищення самого засобу РЕБ. Противник використовує дрон-приманку, аби спровокувати ввімкнення станції, зафіксувати її випромінювання засобами радіотехнічної розвідки (РТР) і завдати артилерійського удару. Розуміння такого «ланцюга ураження» є запорукою виживання оператора РЕБ.

Послідовність дій противника подано на рис. 6.2: дрон-приманка → активація засобу РЕБ → фіксація випромінювання засобами РТР → артилерійський удар по позиції засобу РЕБ. Схема демонструє, як активація засобу РЕБ стає ключовим етапом для виявлення його позиції засобами РТР.

Для ефективної протидії тактиці «Приманка» недостатньо знати лише її механізм. Оператор засобу РЕБ повинен мати чіткий алгоритм дій, який дає змогу уникнути хибної активації, мінімізувати ризик пеленгування та забезпечити мобільність після роботи. Таблиця 6.3 узагальнює протокол (алгоритм протидії), якого слід дотримуватися без винятків.



Рисунок 6.2 – Ланцюг ураження під час тактики «Приманка»

Таблиця 6.3 – Алгоритм протидії тактиці «Приманка»

Етап	Дія оператора засобу РЕБ	Очікуваний ефект
Виявлення дрона	Підтвердження агресивної траєкторії за даними спостерігачів	Уникнення хибної активації засобу РЕБ
Активація засобу РЕБ	Імпульс 15–30 с	Зрив атаки, мінімізація ризику пеленгування засобами РТР
Завершення роботи	Негайна зміна позиції на 100–200 м	Уникнення артилерійського удару по скомпрометованій позиції

Отже, ключовим принципом є дисципліна й мобільність. Кожний етап – від підтвердження загрози до зміни позиції – спрямовано на зрив задуму противника та збереження живучості засобів РЕБ.

Проблема

Противник створює ланцюг ураження: поява дешевого дрона-приманки → ввімкнення вашого засобу РЕБ → виявлення позиції засобами РТР → артилерійський/мінометний удар.

Дрон-приманка – лише спусковий гачок для вашого знищення.

Рішення

Ключ – радіоелектронна дисципліна та мобільність.

1. Підтвердження загрози:

– не вмикайте засіб РЕБ на кожну віддалену ціль;

– отримайте підтвердження від спостерігачів, що дрон летить за агресивною траєкторією, а не просто веде розвідку.

2. Короткочасна активація:

– використовуйте короткі імпульси (15–30 с);

– цього достатньо, щоб зірвати атаку, але замало для точного пеленгування вашої позиції.

3. *Негайна зміна позиції*:

– після кожної бойової роботи засобу РЕБ вважайте позицію скомпрометованою;

– змінюйте місце на 100–200 м, найкращий контрартилерійський маневр для засобу РЕБ – це робота коліс.

6.2.5 Тактика № 5: «Стрибки по частотах»

Сучасні системи керування дронами дедалі частіше використовують технологію частотних стрибків (*FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum*). Це дає змогу противнику уникати вузькосмугових завад, автоматично перемикаючись на запасні канали. Для оператора засобу РЕБ така тактика є викликом, що практично не має простого тактичного вирішення.

Проблема

Противник застосовує системи керування, які в разі виявлення завади на одному каналі можуть автоматично або за командою оператора перемкнутися на інший канал у межах робочого діапазону. Це робить вузькосмугове подавлення малоефективним.

Рішення

Єдиний дієвий спосіб – технологічна перевага:

– використання широкосмугових засобів РЕБ, які створюють завади не в одному каналі, а одночасно «забивають шумом» увесь робочий діапазон противника (наприклад, 850–950 МГц);

– виникнення такої загрози є підставою для запиту на більш сучасне обладнання РЕБ.

Для розуміння ефективності широкосмугових засобів РЕБ важливо порівняти дві моделі: вузькосмугове подавлення, яке дає змогу дрону уникнути завад шляхом стрибка на інший канал; широкосмугове подавлення, що перекриває весь робочий діапазон і робить стрибки безрезультатними (див. рис. 6.3).

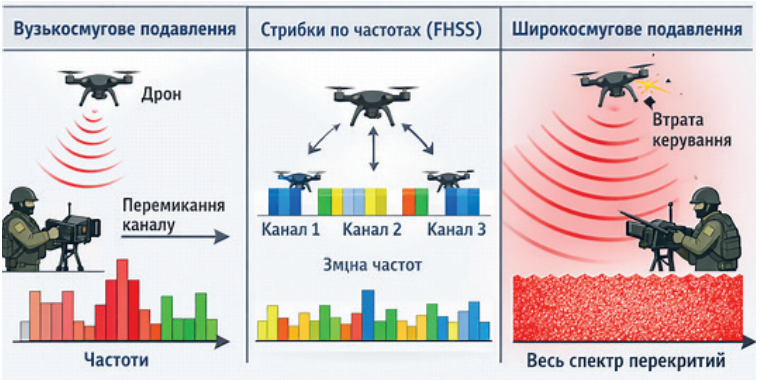


Рисунок 6.3 – Принцип протидії FHSS

Рисунок 6.3 демонструє різницю між вузькосмуговим і широкосмуговим подавленням. Ліва частина – вузькосмугове подавлення: дрон легко перемикається на інший канал. Центральна частина – принцип FHSS: автоматичні стрибки між каналами. Права частина – широкосмугове подавлення: увесь спектр перекритий шумом, дрон втрачає керування.

Отже, тактика «Стрибки по частотах» показує обмеженість тактичних рішень проти сучасних систем керування. Єдиний ефективний захист – широкосмугові засоби РЕБ, що забезпечують технологічну перевагу й перекривають увесь робочий спектр противника.

6.3 Інтеграція засобів РЕБ у комплексну систему захисту: сила в синергії

Мобільний комплекс РЕБ – це не ізольований щит, а частина багатошарової системи оборони. Його ефективність значно зростає, коли він діє у взаємодії з іншими засобами: спостереженням, розвідкою та вогневими компонентами. Сила РЕБ – у синергії.

6.3.1 Інтеграція з візуальним спостереженням

Пост візуального спостереження (ПВС) – це перший рубіж оборони, який забезпечує раннє виявлення загрози за рахунок візуального та аудіо- спостереження. Його ефективність визначає,

наскільки своєчасно й безпечно буде застосовано засоби РЕБ. Взаємодія між ПВС і постом РЕБ є прикладом правильної синергії людського фактора й технології.

Роль ПВС:

– виявлення дронів на дальніх підступах;

– визначення кількості, напрямку й типу цілей;

– надання ключової інформації для ухвалення рішення: реальна загроза чи розвідувальний БпЛА на великій висоті.

Синергія

ПВС виконує роль «*навідника*» для посту РЕБ:

– засіб РЕБ перебуває в режимі тиші, не демаскуючи позицію;

– після доповіді спостерігача (*«Дрон із напрямку Альфа наближається!»*) оператор засобу РЕБ коротко активує комплекс для подавлення підтвердженої цілі (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 – Переваги інтеграції ПВС і посту РЕБ

Показник	**Результат взаємодії**
Прихованість	Засіб РЕБ випромінює лише за потреби
Економія ресурсу	Зменшується час роботи, зберігається заряд АКБ
Ефективність	Оператор знає напрямок загрози, готовий до реакції

Як видно з табл. 6.4, інтеграція ПВС і посту РЕБ дає змогу забезпечувати одночасно прихованість, раціонально використовувати ресурс та підвищувати ефективність. Це формує перший рівень багатошарової системи захисту.

Розглянемо алгоритм взаємодії ПВС і посту РЕБ.

1. *Виявлення дрона.* Початок роботи системи. Спостерігачі фіксують появу дрона на дальніх підступах, використовуючи біноклі, тепловізори та іншу оптику. Визначається кількість апаратів і напрямок їхнього руху. Головне завдання – дати відповідь на питання: *чи є виявлений об'єкт реальною загрозою, чи це розвідувальний БпЛА, який діє на великій висоті.*

2. *Передавання координат.* Після підтвердження загрози ПВС повідомляє оператору засобу РЕБ про напрямок і характер цілі. Використовується радіозв'язок або умовні сигнали. Формулюється чітка команда: *«Дрон із напрямку Альфа!»*. Це є сигналом до переходу засобу РЕБ із режиму тиші в активну фазу.

3. *Активація засобу РЕБ.* Ключовий етап взаємодії. Оператор засобу РЕБ коротко вмикає комплекс для подавлення цілі, переходячи з режиму тиші до активного випромінювання. Тривалість імпульсу становить *15–30 с*, спрямування сигналу – на підтверджений сектор атаки.

4. *Подавлення цілі.* Дрон втрачає керування, зависає або рухається хаотично. Під час падіння апарата або його зупинки створюються умови для ураження вогневими засобами. Засіб РЕБ перетворює складну ціль на просту, що і є результатом правильної взаємодії з ПВС (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 – Взаємодія ПВС і посту РЕБ

Отже, алгоритм, наведений на рис. 6.4, відображає чітку координацію між спостерігачем і оператором засобу РЕБ. Така взаємодія забезпечує прихованість, раціональне використання ресурсу та високу ефективність реагування – перший рівень багатошарової системи захисту.

6.3.2 Інтеграція з пасивними детекторами

Пасивні системи радіоелектронної розвідки (РЕР) – це технологічний рівень раннього попередження, який працює без випромінювання. Вони «слухають» ефір, фіксуючи сигнали обміну між дроном і його оператором, а також «слухають» тропосферу аудіодатчиками, виявляючи звуки роботи гвинтів. Така інтеграція створює приховану, але надзвичайно ефективну пару з активним засобом РЕБ.

Алгоритм взаємодії РЕР і посту РЕБ

1. Виявлення сигналу. Детектор постійно сканує ефір, не випромінюючи нічого. У разі появи сигналів керування дроном система автоматично фіксує їх і визначає напрямок джерела.

2. Сигнал тривоги. Після виявлення загрози детектор подає звуковий або візуальний сигнал тривоги. Це повідомлення надходить оператору засобу РЕБ – подібно до сигналу системи сигналізації.

3. Активація РЕБ. Оператор засобу РЕБ переходить із режиму тиші до активного випромінювання, спрямовуючи сигнал на сектор, який визначив детектор.

4. Подавлення цілі. Дрон втрачає керування, а система повертається до пасивного режиму очікування.

Наведений алгоритм показує, що пасивний детектор виконує роль «сигналізації», а засіб РЕБ – «силової відповіді». Така взаємодія забезпечує прихованість, точність і миттєву реакцію. Рисунок 6.5 демонструє послідовність: виявлення сигналу → сигнал тривоги → активація засобу РЕБ → подавлення цілі.



Рисунок 6.5 – Взаємодія РЕР і посту РЕБ

Отже, інтеграція пасивних детекторів і засобів РЕБ забезпечує приховане виявлення та точне активне подавлення. Завдяки взаємодії створюється швидка, непомітна й ефективна система реагування на загрози.

6.3.3 Інтеграція з вогневими засобами

Інтеграція з вогневими засобами є кульмінацією захисних дій – фізичне знищення загрози. Навіть найпотужніший засіб РЕБ не знищує дрон, а лише позбавляє його керування. Завдання вогневих засобів – завершити роботу, яку почав РЕБ.

Алгоритм взаємодії постів РЕБ і вогневих засобів

1. Виявлення цілі. Пост РЕБ фіксує дрон у зоні дії та починає подавлення сигналу керування.

2. Захоплення цілі. Дрон втрачає керування, зависає або рухається хаотично – оператор засобу РЕБ повідомляє про успішне «захоплення».

3. Підготовка до ураження. Стрільці розподіляють сектори обстрілу, готують зброю до відкриття вогню.

4. Фізичне знищення. Вогневі засоби відкривають вогонь на ураження по дрону, що втратив керування.

Фізичне знищення дрона – кульмінація оборонних дій. Засіб РЕБ лише позбавляє апарат керування, але не ліквідує його. Завдання вогневих засобів – завершити роботу, перетворивши зупинену ціль на знищену (рис. 6.6).

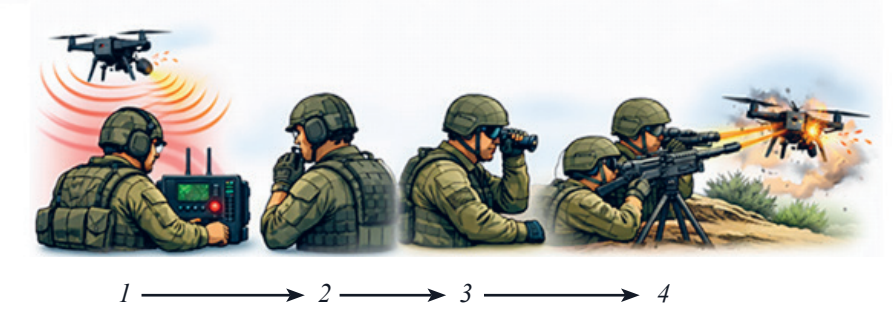


Рисунок 6.6 – Взаємодія РЕБ і вогневих засобів: *1* – зупинка дрона; *2* – повідомлення про захоплення; *3* – підготовка до ураження; *4* – знищення цілі

Отже, інтеграція постів РЕБ і вогневих засобів забезпечує завершальний рівень багатошарової оборони. Засіб РЕБ перетворює швидку й маневрену ціль на статичну або збиває її з маршруту, а зброя знищує її. Така взаємодія робить систему захисту повною та ефективною.

6.4 Тактичний прийом противника: «Прорив на інерції» та автономне донаведення (ШІ)

Розвиток засобів радіоелектронного подавлення змусив противника змінити тактику фінальної стадії атаки FPV-дронів. Очікування, що «купол» від засобу РЕБ повністю убезпечує техніку, – небезпечна ілюзія. Частина дронів досягає цілі навіть після успішного подавлення каналів керування та відеосигналу.

Причини ефективності атаки

Феномен пояснюється двома чинниками.

1. *Кінетична інерція* – дрон, що рухається зі швидкістю 100–120 км/год, після втрати сигналу продовжує політ за інерцією ще кілька секунд, чого достатньо для досягнення цілі.

2. *Автономне донаведення (ШІ)* – сучасні FPV-дрони оснащуються алгоритмами машинного зору, які дають змогу розпізнавати ціль і коригувати траєкторію навіть без зв'язку з оператором.

Засіб РЕБ ефективно зриває керування, але не зупиняє кінетичну енергію дрона. Протидія «прориву на інерції» потребує поєднання засобів РЕБ із фізичними бар'єрами, вогневими засобами та системами активного перехоплення (див. рис. 6.7).

На рисунку 6.7 показано слабке місце купольного захисту від засобу РЕБ, що пояснює потребу у багатошаровій обороні: навіть після втрати керування дрон може досягти цілі завдяки кінетичній енергії. Це доводить, що купольний РЕБ ефективно зриває керування, але не гарантує фізичної безпеки. Для протидії необхідна інтеграція засобів РЕБ із вогневими засобами та бар'єрами.



Рисунок 6.7 – Механізм «інерційного прориву» FPVдрона

6.4.1 Механізм «інерційного прориву»

Під час атаки на систему купольного прикриття засобом РЕБ FPV-дрон, що рухається зі швидкістю 100–140 км/год, потрапляє в зону ефективного подавлення на відстані 20–50 м від машини. У цей момент оператор противника повністю втрачає *канал відеотрансляції та керування БпЛА*.

Проте, якщо дрон уже вийшов на фінальну пряму пікірування, його висока кінетична енергія та маса дають змогу подолати останні 30 м по інерції – за чистою балістичною траєкторією. Зі швидкістю 120 км/год цей відрізок долається менш ніж за секунду, що робить ураження техніки реальним навіть після успішного подавлення сигналу.

Тактика противника:

– досвідчені оператори навмисно розганяють дрон;

– виводять його на курс атаки під кутом уразливої зони техніки;

– припиняють активне керування безпосередньо перед входом у зону дії засобу РЕБ;

– дрон влітає у «купол» заблокованим, але фізично влучає у борт чи башту носія.

6.4.2 Автономне донаведення за допомогою машинного зору (ШІ)

Більш небезпечним є технологічне вдосконалення FPV-камікадзе – інтеграція бортових обчислювальних модулів з алгоритмами оптичного захоплення цілі (*Object Tracking* – оптичний потік).

Принцип дії:

– на відстані 150–300 м оператор противника виводить дрон на пряму видимість техніки;

– на екрані силует машини фіксується рамкою;

– після цього керування бере на себе бортовий комп'ютер.

Поведінка під дією засобу РЕБ:

– навіть у разі повного блокування радіоканалу та відеосигналу дрон продовжує атаку;

– бортовий ШІ аналізує відеопотік із камери, коригує рульові поверхні та утримує курс на ціль;

– атака завершується детонацією заряду.

6.4.3 Комплексний тактичний маневр протидії: «РЕП + рух+ завіса»

Нейтралізація інерційного прориву та систем машинного зору можлива лише через комбінування активного радіоелектронного подавлення із негайним оборонно-тактичним маневруванням.

Алгоритм «Зрив траєкторії та контрасту»

1. *Виявлення* → РЕР фіксує частоту / ПВС бачить дрон.
2. *Активація* → умикається засіб РЕП, блокується радіокерування.
3. *Маневр* → водій різко змінює швидкість або напрямок руху.
4. *Маскування* → пуск мультиспектральної димової завіси.
5. *Результат* → ШІ втрачає захват, інерційна траєкторія зсунута, дрон пролітає повз ціль.

Інструкція для екіпажу

1. Протиінерційний маневр (водій). У разі отримання сигналу про атаку FPV категорично не можна зупинятися чи рухатися з тією самою швидкістю. Необхідно різко змінити швидкість або закласти віраж. Зміна положення машини на 3–5 м виводить її з точки ураження.

2. Зрив автозахоплення ШІ (екіпаж). Одночасно з маневром активувати систему постановки завіс (димові гранати 3Д6/3Д17 або ТДА). Щільна аерозольна хмара приховує силует техніки, алгоритм трекінгу збивається, дрон втрачає ціль.

Отже, розглянемо *тактичне правило:* РЕП – це не абсолютна стіна, а інструмент, що «купує» екіпажу 2–3 с часу для реагування. Без синхронного маневру та маскування ефективність захисту знижується на 50 %.

Алгоритм «РЕП + рух + завіса» демонструє, що лише поєднання активного подавлення, маневрування та маскування забезпечує реальний захист від FPV-дронів з інерційним проривом чи автономним донаведенням. РЕП дає екіпажу кілька додаткових секунд часу, які необхідно використати для зміни положення машини та постановки завіси (рис. 6.8).



Рисунок 6.8 – Алгоритм «РЕП + рух + завіса»

Як видно з рис. 6.8, ефективність захисту базується на синхронності дій: засіб РЕП зриває керування, маневр зміщує точку ураження, а завіса позбавляє дрон оптичного маркера. У результаті навіть дрон із ШІ втрачає ціль і пролітає повз.

Сам по собі РЕБ не є абсолютним бар'єром. Його сила – у створенні часової переваги для екіпажу. Реалізація цієї переваги через маневр і маскування формує комплексний захист, що на 70–80 % знижує ймовірність ураження. Отже, «РЕП + рух + + завіса» є базовим тактичним правилом виживання в умовах сучасної дронової війни.

Розділ 7. ПАСИВНЕ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ ТА АКТИВНА ПРОТИДІЯ: ІНТЕГРАЦІЯ ДЕТЕКТОРІВ І ЗАСОБІВ РЕП

Рання обізнаність – запорука виживання. Перед тим як застосувати засоби радіоелектронного подавлення, екіпаж повинен знати про наближення загрози. Саме тому ключову роль відіграють детектори дронів – інструменти пасивного захисту.

Роль детектора

Детектор дає екіпажу найцінніший ресурс – *час*. Це час на оцінювання загрози, приведення засобу РЕП у готовність, зміну позиції чи пошук укриття.

Пасивність – головна перевага: детектор *«слухає» ефір*, не випромінюючи сигналів, і не демаскує позицію.

Зміна характеру захисту:

1) без детектора захист є *реактивним* – ми відповідаємо на дрон, що вже атакує;

2) із детектором захист стає *проактивним* – ми готові до атаки ще до її початку.

Тому детектор є першим рівнем оборони, який забезпечує раннє попередження і створює часовий коридор для дій засобу РЕП та екіпажу. Без нього навіть найпотужніший засіб РЕП не зможе своєчасно відреагувати на загрозу.

7.1 Два ключові методи радіочастотного виявлення

Ворожий FPV-дрон залишає в ефірі два основні радіочастотні «сліди», які можливо виявити. Сучасні детектори спеціалізуються на виявленні одного з них. Розуміння цієї різниці є ключем до їх правильного спільного застосування.

7.1.1 Метод 1: Виявлення загроз за каналами керування і телеметрії

Перший метод радіочастотного виявлення ґрунтується на аналізі каналів керування і телеметрії FPV-дрона. Саме ці сигнали є «нервовою системою» апарата, адже через них оператор передає

команди й отримує дані про стан польоту. Виявлення цього каналу дає змогу якомога раніше отримати попередження про загрозу, ще до того, як дрон наблизиться до цілі.

1. Принцип роботи

Детектор аналізує ефір на предмет цифрових сигналів керування дроном:

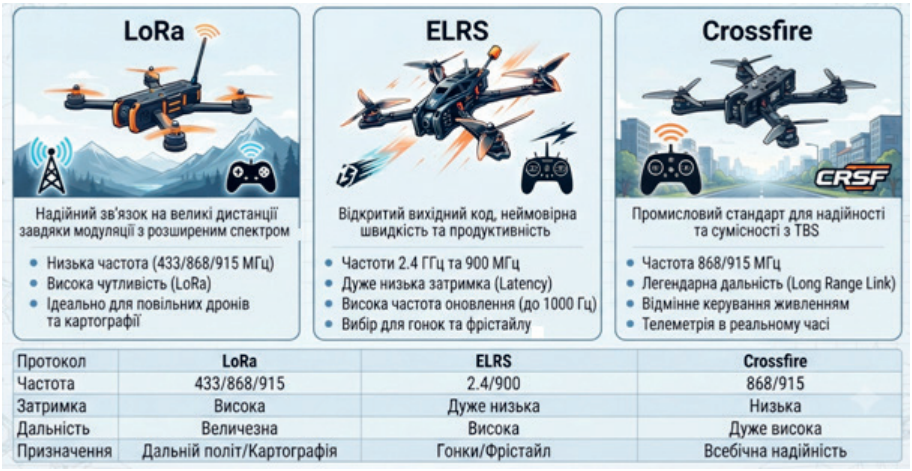
– використовує вузькоспеціалізований сканувальний приймач (компактний засіб РЕР);

– виявляє сигнатури протоколів ELRS, Crossfire, TBS Tracer (рис. 7.1; табл. 7.1);

– безперервно «полює» за сигналами пульта оператора.

На рисунку 7.1 систематизовано ключові характеристики основних протоколів зв'язку (*LoRa, ELRS, Crossfire*), що використовуються в сучасних FPV-системах. Розуміння цих технологій є критично важливим для оцінювання їхньої стійкості до засобів радіоелектронної боротьби та вибору оптимального рішення для конкретних бойових завдань.

LoRa: орієнтований на максимальну дальність завдяки високій чутливості та роботі на низьких частотах, проте має високу затримку, що обмежує його застосування для динамічних польотів.



Протокол	LoRa	ELRS	Crossfire
Частота	433/868/915	2.4/900	868/915
Затримка	Висока	Дуже низька	Низька
Дальність	Величезна	Висока	Дуже висока
Призначення	Дальній політ/Картографія	Гонки/Фрістайл	Всебічна надійність

Рисунок 7.1 – Протоколи керування FPV: LoRa, ELRS, Crossfire

ELRS: протокол із відкритим кодом, що забезпечує наднизьку затримку та високу частоту оновлення, стаючи стандартом для швидкісних маневрів (гонки, фрістайл).

Crossfire: є промисловим стандартом, що пропонує баланс між великою дальністю та надійністю керування, зокрема передавання телеметрії в реальному часі.

У таблиці 7.1 наведено ключові параметри ELRS, Crossfire та TBS Tracer, що визначають їхню дальність, затримку та стійкість до засобів радіоелектронної боротьби.

Таблиця 7.1 – Сигнатури основних протоколів (ELRS, Crossfire, TBS Tracer)

Протокол	**ELRS**	**Crossfire**	**TBS Tracer**
Частота роботи	2,4 ГГц / 868–915 МГц	868–915 МГц	2.4 ГГц
Макс. дальність	30–100+ км	40–100+ км	25–30 км
Частота кадрів / пакетів	50–1000 Гц	50–150 Гц	250–500 Гц
Мін. затримка	~3 мс (1000 Гц)	~7 мс (150 Гц)	~4 мс (500 Гц)
Потужність ТХ	1000 мВт (динамічна)	2000 мВт	100 мВт
Особливості сигнатур	LoRa/FLRC модуляція, кадри CRSF 0×17, унікальні binding-фрази	CRSFShot, стабільні пакети, закритий протокол	Вузькі пакети, орієнтовані на швидкість
Практичне значення для РЕР	Найнижча затримка, відкрите ПЗ, легко детектується за високочастотними пакетами	Висока проникність сигналу, надійність, але менша частота кадрів	Середній варіант: швидше за Crossfire, але поступається ELRS за дальністю й ціною

Примітка. Дані таблиці довідкові й можуть змінюватися.

Варто зауважити, що жодний протокол не є універсальним. Для РЕР найцінніші сигнатури ELRS (швидкість і частота) та Crossfire (дальність і стабільність). Їхнє комбіноване виявлення забезпечує найповнішу картину ефіру та підвищує ефективність раннього попередження про загрози.

2. Представники

Цей метод реалізується типовими засобами:

– TinySA;

– «Ванільний цукорок» (див. рис. 7.4);

– Teneta SkyLink;

– інші подібні детектори.

3. Результат застосування:

– інформація про наявність активного дрона або пульта керування;

– виявлення активності у зоні дії;

– можливість визначення напрямку (пеленгу) за допомогою направленої антени.

4. Переваги:

– раннє попередження;

– метод забезпечує найбільшу дальність та раннє виявлення;

– канал керування більш «далекобійний», аніж відеосигнал;

– попередження можливе за кілька кілометрів;

– дрон можливо виявити ще на етапі підготовки чи зльоту.

5. Недоліки:

– не дає візуального підтвердження й не розкриває намірів оператора;

– не працює під час польоту в режимі радіомовчання (GPS-маршрут).

Отже, метод виявлення загроз за каналами керування і телеметрії є основою системи раннього попередження, але його ефективність досягає максимуму лише в поєднанні з іншими методами (наприклад, виявлення за каналами відеотрансляції чи візуальним спостереженням).

7.1.2 Метод 2: Виявлення загроз шляхом перехоплення відеосигналу

Другий метод ґрунтується на перехопленні відеосигналу FPV-дрона. Це найбільш наочний спосіб підтвердження загрози, адже екіпаж бачить те саме, що й оператор противника.

1. Принцип роботи

Детектор є спеціалізованим швидкісним відеоприймачем, що:

– сканує ефір на наявність аналогових або цифрових FPV-передач;

– відображає відео з камери дрона на власному екрані.

2. Представники

Детектори відеосигналу з функцією перехоплення: «Обрій», «Дзиґа», «Чуйка» та ін.

Obriy 1.3 – портативний детектор дронів FPV та DJI, що працює на частотах 1,2; 2,4/3,3 та 4,9 – 6,0 ГГц (рис. 7.2).

Детектор відеосигналу БпЛА Teneta SkyLink має дальність до 4,5 км у польових умовах, частоти детекції: 415, 433, 750, 868, 915, 921 МГц +2,4 –2,485 ГГц. Його спеціалізація – аналіз телеметрії та сигналів керування, включно із сучасними протоколами ExpressLRS (рис. 7.3).



Рисунок 7.2 – Детектор FPV-дронів з перехопленням відео, модель Obriy 1.3



Рисунок 7.3 – Детектор відеосигналу БпЛА Teneta SkyLink

«Ванільний Цукорок» – компактний детектор для виявлення літаючих крил і Mavic. Дальність виявлення – від 8 до 16 км; принцип роботи – детекція сигналів керування і телеметрії; частотні діапазони – 865–885 МГц, 895–928 МГц, 970–1020 МГц і 2400–2500 МГц; можливість налаштування за умови використання відповідних антен (рис. 7.4).



Рисунок 7.4 – «Ванільний Цукорок»

«Дзиґа» – детектор відеосигналу для перехоплення відеосигналу FPV-дронів. Працює у трьох діапазонах: 980–1800 МГц – 29 каналів; 4900–6200 МГц – 137 каналів включно з кастомними; опційно 3000–4040 МГц – 120 каналів (див. рис. 7.5).

«Чуйка 3.0» (від BlueBird) – інноваційний детектор із функцією автопілота та швидким скануванням частот. Швидкість сканування вражає: повний діапазон 900–6000 МГц проходить за 4–8 с. Працює у трьох ключових частотних діапазонах: 1,2 ГГц, 3,3 ГГц і 5,8 ГГц, які покривають до 95 % найпоширеніших частот FPV-дронів (див. рис. 7.6)

Результати застосування:

1) візуальне підтвердження загрози – екіпаж бачить картинку «очима ворога»;

2) оцінювання намірів оператора – напрямок польоту, висота, ціль;

3) психологічна перевага – екіпаж отримує інформацію до початку атаки.



Рисунок 7.5 – Детектор відеосигналу «Дзиґа»



Рисунок 7.6 – Пристрій радіоелектронної розвідки «Чуйка 3.0»

Переваги:

1) 100 % ідентифікація FPV-дрона – немає плутанини з іншими об'єктами;

2) надійність сигналу – передавач на самому дроні, що рухається у ваш бік;

3) інструмент ближнього рубежу – дає підтвердження загрози на короткій дистанції.

Недоліки. Детектор завжди показує *найпотужніший сигнал*, який може йти не від найближчого дрона. Це може створювати хибне уявлення про напрямок атаки.

Отже, метод перехоплення відеосигналу забезпечує найточніше підтвердження загрози, але працює переважно на ближньому рубежі. Він незамінний для оцінювання намірів противника, проте потребує комбінування з методами дальнього виявлення (канали керування) для повної картини.

7.1.3 Метод 3: Акустичне (аудіо) виявлення загрози

Метод акустичного виявлення базується не на радіочастотах, а на акустиці. FPV-дрон завжди залишає характерний звуковий слід – високочастотний гул пропелерів, який відрізняється від фонового шуму техніки чи довкілля. Акустичні датчики дають змогу фіксувати цю сигнатуру навіть у разі повного радіомовчання противника. Це робить метод незамінним у ситуаціях, коли РЕР нічого «слухати» в ефірі, але загроза все одно наближається.

Розглянемо зазначений метод у вигляді покрокового інженерного керівництва з інтеграції акустичних датчиків на транспортний засіб.

1. Віброізоляція та монтаж.

Захист мікрофонів від структурних вібрацій кузова:

– не кріпити датчики безпосередньо до металевих елементів;

– використовувати гумові або силіконові демпфери;

– монтувати на даху або щоглі, подалі від двигуна та вихлопу.

2. Диференційне шумоподавлення.

Віднімання шуму двигуна для виділення чистого сигналу:

– установити опорний мікрофон біля двигуна/вихлопу;

– ЦСП віднімає спектр двигуна від загального сигналу;

– залишається «чистий» звук пропелерів у небі.

3. Аеродинамічний захист.

Зменшення шуму від набігаючого повітряного потоку:

– використовувати обтічники з акустично прозорого матеріалу;

– застосовувати вітрозахист типу ″deadcat″ або хутро;

– забезпечити роботу датчиків на швидкості понад 30 км/год.

4. Тактичні умови експлуатації.

Максимальна ефективність у тихому режимі:

– дальність виявлення до 300–500 м у засідці;

– на швидкості 80 км/год ефективність падає на 70–80 %;

– використовувати за мінімальних обертів двигуна.

Отже, акустичне виявлення – це єдиний доступний метод, який працює в умовах повного радіомовчання противника й дає змогу чути FPV-дрон навіть крізь туман, ліс або за будівлями. Проте ефективність залежить від належного інженерного монтажу й тактичних умов застосування. Тому акустичні датчики є інструментом ближнього рубежу, що доповнює радіочастотні методи, забезпечуючи раннє попередження у складних умовах.

7.1.4 Інженерні вимоги до кабельних ліній і захисту від наведень (EMC фідерів)

Сигнал від акустичної мікрофонної матриці є слабким і вразливим до електромагнітних завад. У зоні роботи потужних засобів РЕБ будь-які наведення здатні повністю знищити корисну інформацію або спричинити хибні спрацьовування. Тому правильний вибір кабельних ліній, їхнє екранування та належне прокладання є критично важливими для забезпечення надійності системи.

На рисунку 7.7 і таблиці 7.2 наведено порівняння трьох найпопулярніших типів кабелів UTP, FTP і STP, які можуть застосовуватися для передавання сигналів акустичного детектора. Відмінності в конструкції та наявність екрана визначають їхню стійкість до електромагнітних наведень. UTP не має жодного екранування і є найбільш уразливим до електромагнітних наведень. FTP має

загальний екран із алюмінієвої фольги, що підвищує захист від завад. STP забезпечує максимальну стійкість завдяки індивідуальному екрануванню кожної пари та загальному мідному обплетенню.

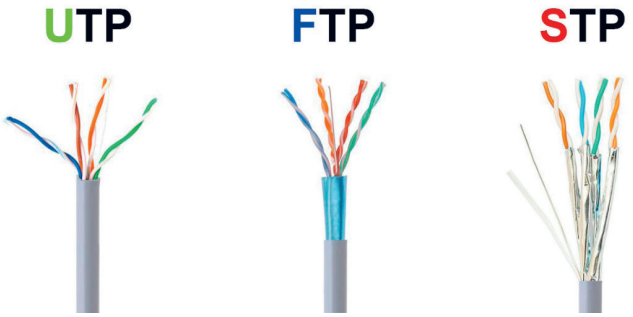


Рисунок 7.7 – Характеристики та екранування кабелів типу UTP, FTP та STP

Таблиця 7.2 – Типи кабелів та їх екранування

Абревіатура	**Опис**	**Екранування кабелю**	**Екранування пар**
UTP (U/UTP)	Неекранована вита пара	–	–
F/UTP	Загальний екран із фольги	Алюмінієва фольга	–
U/FTP	Кожна пара екранована	–	Алюмінієва фольга
S/FTP	Кожна пара екранована + загальний екран	Мідне обплетення	Алюмінієва фольга
SF/UTP	Загальний екран із фольги + обплетення	Фольга + обплетення	–
F/FTP	Загальний екран + екранування пар	Алюмінієва фольга	Алюмінієва фольга

Отже, різні типи кабелів мають принципово різний рівень захисту від електромагнітних наведень. UTP повністю непридатний для використання в умовах роботи засобів РЕП, тоді як FTP та STP забезпечують базовий і розширений захист. Найвища ефективність варіантів з екрануванням кожної пари (U/FTP, F/FTP) та комбінованим захистом (S/FTP, SF/UTP).

Основні правила інтеграції кабельних ліній

1. Використання екранованої крученої пари:

– заборонено застосовувати неекрановані кабелі (UTP);

– дозволено лише FTP або STP категорій Cat 6a / Cat 7 із суцільним екраном (фольга + мідне обплетення).

2. Заземлення екрана:

– екран кабелю заземлюється лише з одного боку – на корпусі центрального процесора;

– двостороннє заземлення створює «земляну петлю» (Ground Loop), яка сама стає джерелом низькочастотних завад.

3. Просторове рознесення:

– лінія акустичного детектора прокладається окремо від силових кабелів засобу РЕБ та коаксіальних фідерів;

– мінімальна відстань паралельного прокладання становить 20–30 см;

– перетин дозволено лише під кутом 90°, щоб мінімізувати індукцію сигналів.

Дотримання зазначених правил – екранування, правильного заземлення та просторового рознесення – є обов'язковою умовою для роботи акустичних детекторів у зоні дії потужних засобів РЕБ. Їх ігнорування призводить до втрати сигналу або постійних хибних спрацьовувань.

7.2 Практична інтеграція та монтаж на техніку

Ефективність роботи детекторів залежить не лише від їхніх характеристик, а й від правильного монтажу на транспортні засоби. Нижче наведено ключові правила вибору місця встановлення та роботи з антенами.

7.2.1 Вибір місця встановлення: два фундаментальні правила

Правило № 1 – найвища точка. Антена детектора встановлюється максимально високо з оглядом на 360° (див. рис. 7.8). Це забезпечує найбільшу дальність та якість прийому.

Правило № 2 – максимальне рознесення. Антена приймача розташовується якнайдалі від власних передавальних антен (засобу РЕБ, радіостанції) (рис. 7.9). Потужний передавач поруч може «засліпити» детектор – це як спроба почути шепіт під час ревіння двигуна.

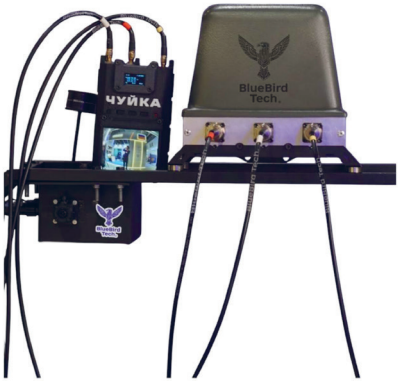


Рисунок 7.8 – Виносна антена для дрона-детектора «Чуйка» (кабель завдовжки 10 м)



Рисунок 7.9 – Антена для приймача 2,4 ГГц 280 мм (із підсиленням 2,5 dBi)

7.2.2 Робота з антенами: інтегровані та виносні

Вибір типу антени є критичним етапом інтеграції детектора на техніку. Від нього залежить якість приймання сигналу, стійкість до завад, а також зручність експлуатації. Інтегровані антени залишаються компромісним рішенням для портативних сценаріїв, тоді як виносні антени забезпечують максимальну ефективність у стаціонарному монтажі.

Практичні інженерні правила інтеграції детектора на техніку

1. Вибір типу антени.

Визначте, яка антена потрібна – інтегрована чи виносна.

Інтегровані антени: оптимальні для портативних сценаріїв, однак під час установлення на техніці через екранування корпусом ефективність падає. Антени типу Вівальді добре підходять

для інтегрованих систем РЕБ та SDR, особливо коли є потреба у широкій смузі частот, стабільній діаграмі спрямованості та компактності. Вони забезпечують ефективне випромінювання в діапазоні від 1 до 20 ГГц і можуть інтегруватись у корпуси техніки чи платформи (рис. 7.10; див. рис. 7.11; табл. 7.3).

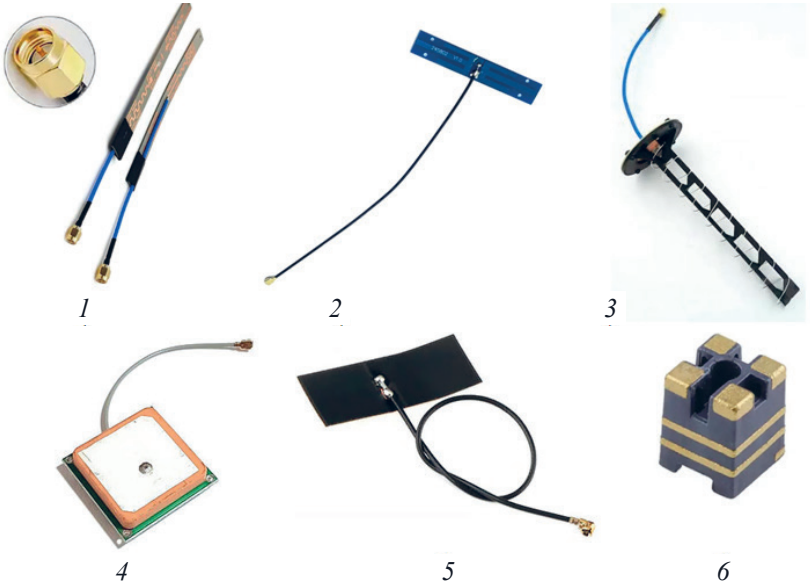


Рисунок 7.10 – Інтегровані антени: *1* – антена всеспрямована PCB (2,4/5,8 ГГц 10 Дб), високоефективна легка антена для дронів WavLink SMA_10; *2* – PCB WIFI антена 4dbi IPEX (частота – 2,4 ГГц); *3* – антена Helical/Хелікс (3,3 ГГц 21 см (легка) 12 dBi); *4* – GPS антена активна керамічна (1575 МГц 32 dBi 25×25 мм) із кабелем 7 см IPEX; *5* – класична виносна FPC-антена (2,4/5 ГГц); *6* – компактна керамічна антена Molex серії 47948 (2,4 ГГц)

Для покращення роботи інтегровану антену слід виставляти на дах або у відкритий люк.

Виносні антени – єдиний правильний вибір для стаціонарного монтажу на техніку, вони забезпечують висоту та віддалення від джерел перешкод. Для оцінювання можливостей застосування інтегрованих антен у сучасних системах зв’язку та системах РЕБ

у табл. 7.4 наведено основні їхні типи й параметри. Це дає змогу порівняти конструктивні рішення та визначити оптимальні варіанти для конкретних умов експлуатації. На рисунку 7.12 подано приклад інтегрованої плоскої FPC-антени – практичну реалізацію одного з рішень, наведених у таблиці.



1 *2* *3*

Рисунок 7.11 – Інтегровані/виносна (подвійна функція) антени Вівальді:
1 – плоска антена (700 МГц – 6,5 ГГц); *2* – широкосмугова антена InLab Вівальді-Метелик (400–6000 МГц); *3* – широкосмугова рупорна антена (1–20 ГГц)



1 *2* *3* *4*

Рисунок 7.12 – Типи виносних антен: *1* – антена Ягі-Уда (хвильовий канал) (370–530 МГц); *2* – надпотужна колінеарна антена Uline YM-4567 Green під ретранслятори та потужні радіостанції Motorola/Hytera vhf; *3* – штирова антена VHF-діапазону на магнітній основі Vitex BPA 04.136.03 BNC; *4* – квадрифілярна антена (QHA) (2,4 ГГц)

Таблиця 7.3 – Основні типи інтегрованих антен

Тип антени	**Діапазон частот**	**Переваги**	**Недоліки**	**Оптимальне застосування**
PCB-антени	0,8–6 ГГц (WiFi, BT, SDR)	Дешеві, прості у виробництві, компактні	Чутливі до розміщення, вплив корпусу	SDR-модулі, WiFi, Bluetooth
FPC-антени	0,8–6 ГГц	Гнучкі, легко інтегрувати у корпус	Потребують точного монтажу	IoT-пристрої, сенсори, маршрутизатори
Керамічні чип-антени	1,5 ГГц (GPS/GNSS), NBIoT	Дуже компактні, SMT-сумісні	Вузька смуга, менша ефективність	GPS, GNSS, IoT
Гелікс-антени	0,8–2,5 ГГц	Добра ефективність, невеликі розміри	Обмежені діапазони	Смартфони, ноутбуки
Слот-антени	1–10 ГГц	Маскування у корпусі, стабільність	Складність налаштування	Бронетехніка, дрони
Активно інтегровані	2–20 ГГц	Менші втрати, підсилення сигналу	Складні у виробництві	Високочастотні системи, засоби РЕБ
Антени типу Вівальді	1–20 ГГц	Надширока смуга, стабільна діаграма, плоска конструкція	Великі габарити для низьких частот	Засоби РЕБ, SDR, дрони, інтеграція в корпуси

Таблиця 7.4 – Основні типи виносних антен

Тип антени	**Діапазон частот**	**Переваги**	**Недоліки**	**Оптимальне застосування**
Штирові	30 МГц – 3 ГГц	Простота, низька вартість, мобільність	Низьке підсилення	Радіостанції, мобільні платформи
Колінеарні	30 МГц – 3 ГГц	Простота, низька вартість, всеспрямованість	Вузька смуга, середня ефективність	Базові системи, навчальні комплекси
Кловерліф	1–6 ГГц	Кругова діаграма, справжня поляризація	Крихкість, низька ремонтопридатність	Дрони, статичні системи
QHA	0,8–3 ГГц	Найкраща кругова діаграма, професійний рівень	Дорога, велика, помітна	Захист критичних об’єктів
Vivaldi	1–20 ГГц	Надширока смуга, стабільна діаграма	Великі габарити для низьких частот	Засоби РЕБ, SDR, дрони
Ягі	30 МГц – 3 ГГц	Високий коефіцієнт підсилення, спрямованість	Вузька смуга, громіздка	Спрямовані завади, зв’язок на відстань
Параболічні	1–30 ГГц	Максимальне підсилення, вузький промінь	Великі розміри, складність монтажу	Стаціонарні комплекси, далекі канали

2. Монтаж антени.

Антена має бути надійно закріплена:

– використовуйте кріплення, що витримують вібрацію та рух;

– приймальні антени легші за передавальні, тому вимоги менш жорсткі;

– розташовуйте антену на найвищій точці машини.

3. Прокладання кабелю.

Використовуйте якісний коаксіальний кабель мінімальної довжини:

– рекомендовано RG-58 або кращий (рис. 7.13);

– мінімізуйте довжину кабелю, щоб зменшити втрати сигналу;

– уникайте паралельного прокладання поряд із силовими кабелями засобу РЕБ.



Рисунок 7.13 – Коаксіальний кабель RG-8

4. Живлення детектора.

Забезпечте стабільне живлення для чутливого приймача:

– забезпечуйте живлення від бортової мережі через якісний перетворювач;

– використовуйте стабілізатор для уникнення перешкод від системи живлення;

– перевіряйте напругу та рівень шумів перед підключенням.

7.3 Тактика комплексного застосування в циклі «Виявив – подавив – змінив позицію»

Тактика застосування детекторів у бойових умовах не може обмежуватися лише їхнім технічним використанням. Вона має інтегруватись у загальний цикл дій екіпажу – від моменту виявлення загрози до подавлення та зміни позиції. Саме комплексний підхід дає змогу створити ешелонований периметр безпеки й забезпечити ефективну взаємодію пасивних та активних засобів РЕБ.

У сучасних умовах протидії дронам найефективнішим є поєднання двох типів детекторів, які працюють у парі. Їхня взаємодія формує багаторівневий контур виявлення, що дає змогу своєчасно активувати купольний захист засобу РЕБ. Цикл «Виявив – подавив – змінив позицію» ґрунтується на трьох послідовних кроках: радіоелектронна розвідка, акустичний контроль та командні дії екіпажу.

Алгоритм взаємодії контурів

Крок 1. РЕР:

– сканує ефір на наявність сигналів ELRS / Crossfire / відеоканал;

– у разі радіомовчання переходить до наступного контуру.

Крок 2. Акустика:

– фіксує специфічний спектр шуму дронів (дзижчання у діапазоні 200–400 Гц);

– є підтвердження загрози після РЕР.

Крок 3. Команда:

– водій готує протидроновий маневр або постановку димів;

– оператор ініціює точкове SDR-глушіння (окрім випадків з оптоволоконним каналом).

7.3.1 Етап 1: Раннє попередження (дальній периметр)

Етап раннього попередження формує дальній периметр захисту. Його завдання – завчасно виявити активність каналів керування дронами й забезпечити екіпажу додатковий час для переходу в режим готовності. Саме цей етап запускає весь цикл «Виявив – подавив – змінив позицію».

Покроковий алгоритм із поясненням дій екіпажу *(створює логіку переходу до наступних етапів – середній і ближній периметри)*

1. Увімкнення РЕР-детектора.

Постійно активний аналізатор спектра забезпечує раннє попередження:

– використовуйте *TinySA ULTRA* або аналогічний аналізатор спектра (рис. 7.14);

– скануйте ефір на наявність сигналів *ELRS, Crossfire, відеоканалів;*

– забезпечте безперервний моніторинг.

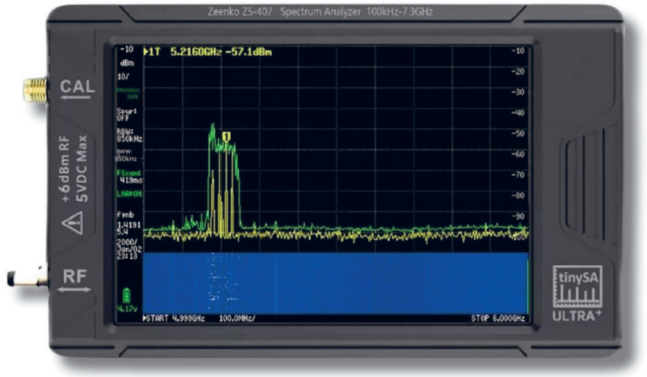


Рисунок 7.14 – Аналізатор спектра TinySA ULTRA+

2. Отримання сигналу попередження.

Сигнал є першим індикатором активності ворожого дрона чи пульта:

– повідомлення: *«Увага, в зоні (до кількох км) активний ворожий дрон/пульт»*;

– екіпаж переходить у режим підвищеної готовності;

– оператор засобу РЕБ готує комплекс до миттєвої активації;

– водій готується до маневру.

Етап раннього попередження формує дальній периметр захисту. Він дає екіпажу додатковий час для підготовки до протидії, переводить систему у режим готовності та створює основу для наступних етапів – акустичного підтвердження та командних дій.

7.3.2 Етап 2: Ідентифікація та прийняття рішення (ближній периметр)

Другий етап циклу формує ближній периметр захисту. Його завдання – підтвердити загрозу й надати командиру інформацію для прийняття рішення. Саме тут відбувається ідентифікація дрона та оцінювання його намірів, що визначає доцільність активації засобу РЕБ.

Покроковий алгоритм

1. Інструмент – детектор відеосигналу:

– використовуйте пристрої типу «Дзига», «Чуйка» та ін.;

– перехоплення відеопотоку з камери дрона дає пряму візуальну інформацію.

2. Ідентифікація загрози:

– «це точно ворог?» – так, якщо видно картинку з його камери;

– «які його наміри?» – дрон, який летить у наш бік або веде спостереження за нашими силами й засобами, вважається ворожим.

3. Прийняття рішення:

– якщо дрон атакує – команда «До бою!», активація засобу РЕБ;

– якщо ціль інша, а екіпаж в укритті – зберігати радіомовчання, щоб не демаскувати позицію.

Отже, етап ідентифікації та прийняття рішення дає змогу уникнути зайвого використання засобу РЕБ, зберегти ресурс системи й залишатися непоміченим. Водночас він забезпечує своєчасну активацію захисту в разі прямої загрози.

7.3.3 Етап 3: Активна протидія та оцінювання ефективності

Третій етап циклу формує фазу активної протидії та є кульмінацією циклу «Виявив – подавив – змінив позицію». Саме тут засіб РЕБ переходить від готовності до дії і здійснює подавлення каналів керування дроном. Важливо не лише ввімкнути систему, а й одразу підтвердити результат, аби екіпаж міг своєчасно змінити позицію та уникнути контратаки.

Покроковий алгоритм

Інструмент: засіб РЕБ, використовується для активного подавлення каналів керування дроном.

Дія екіпажу: за командою командира оператор вмикає засіб РЕБ, а водій готується до маневру.

Оцінювання ефективності: виконується через детектор відеосигналу типу «Чуйка 3.0» або сучасніші аналоги, наприклад, CONTRA-DRONE SENSE-4 (рис. 7.15):

– «замерзла» картинка → канал керування заблоковано;

– «посипалась» або зникла картинка → оператор дрона втратив контроль.

Тактичне значення – це миттєвий і надійний спосіб підтвердити успіх радіоелектронної атаки без додаткових засобів.



Рисунок 7.15 – Детектор дронів (відеосканер) CONTRA-DRONE SENSE-4

Отже, етап активної протидії завершує цикл «Виявив – подавив – змінив позицію». Він забезпечує не лише подавлення каналу керування, а й негайне підтвердження результату, що дає екіпажу змогу швидко змінити позицію та уникнути контратаки.

Отже, активна протидія не лише блокує канал керування дроном, а й забезпечує негайне підтвердження ефективності, даючи екіпажу змогу діяти швидко й упевнено.

7.3.4 Етап 4: Маневр і виживання

Четвертий етап циклу завершує комплексну тактику протидії дронам. Його завдання – забезпечити виживання екіпажу шляхом негайної зміни позиції після активації засобу РЕБ. Увімкнення

комплексу є подією, що демаскує машину: сигнал подавлення поширюється на кілометри, тому залишатися на місці означає наражатися на вогонь у відповідь.

Покроковий алгоритм

Інструмент: техніка, що використовується для маневрування та швидкої зміни позиції після застосування засобу РЕБ.

Дія екіпажу: незалежно від результату подавлення (успішного чи ні) машина має негайно залишити позицію:

– водій здійснює маневр або використовує дими для прикриття;

– оператор засобу РЕБ переводить систему в режим готовності до повторного застосування з нової точки.

Тактичне значення:

– активація засобу РЕБ – це «постріл», який чутно далеко;

– зміна позиції після подавлення є обов'язковою умовою виживання;

– ешелонована система обізнаності (візуальні спостерігачі + пасивні детектори) забезпечує інформацію, яка дає змогу застосовувати «щит» РЕБ точково та приховано.

Отже, ефективний захист – це не лише робота засобу РЕБ, а й належна тактика маневрування. Візуальні спостерігачі та пасивні детектори дають екіпажу інформацію, а активний засобу РЕБ – засіб подавлення. Завершальним етапом завжди має бути зміна позиції, що гарантує живучість техніки та виконання бойового завдання.

7.4 Людський фактор: робота в умовах стресу

Найсучасніший засіб РЕБ втрачає свою цінність, якщо екіпаж не готовий діяти в умовах стресу. Людський фактор є ключовим елементом ефективності: саме дисципліна, тренування та автоматизовані навички перетворюють техніку на реальний інструмент виживання.

Покроковий алгоритм

Стрес і когнітивні обмеження. У бойових умовах знижується здатність до аналізу, погіршується моторика, пам'ять «викидає» незавчені деталі, що створює ризик пропустити критичні кроки.

Чеклісти як дисципліна. Використання чеклістів – це професійний стандарт, а не ознака слабкості. Вони є «когнітивним запобіжником», що гарантує виконання базових процедур навіть у стресових умовах.

М'язова пам'ять і тренування. У момент атаки FPV-дрона немає часу гортати порадник. Дії мають бути доведені до автоматизму: розгортання системи, активація діапазонів, оцінювання ситуації.

Рекомендація: регулярні тренування «на час» у різних умовах (уночі, за обмеженої видимості, у засобах захисту).

Тактична гнучкість. Головне правило – постійний рух. Тактика застосування РЕБ змінюється залежно від можливостей противника та його способів обходу наших систем. Девіз *"Mobilis in mobili"* символізує цю динаміку: зміна за зміною.

Людський фактор у застосуванні РЕБ визначає ефективність усієї системи. Навіть найсучасніша техніка не компенсує відсутності дисципліни, тренувань та здатності діяти в умовах стресу. Узагальнена таблиця показує ключові аспекти – від когнітивних обмежень до тактичної гнучкості (табл. 7.5).

Таблиця 7.5 – Людський фактор у застосуванні РЕБ

Аспект	**Сутність**	**Значення для екіпажу**
Стрес	Зниження когнітивних функцій, моторики, пам'яті	Підвищує ризик пропуску критичних кроків
Чеклісти	Стандартизовані процедури	«Когнітивний запобіжник» від помилок
М'язова пам'ять	Автоматизовані навички	Швидке реагування без втрати часу
Тактична гнучкість	Постійний рух, адаптація	Збереження живучості та ефективності

Отже, ваша головна зброя – не лише залізо, а й знання і навички. Дисципліна, чеклісти і тренування до автоматизму перетворюють засіб РЕБ із приладу на продовження можливостей екіпажу. Головне правило тактики – постійний рух та адаптація до змін.

7.5 Пасивний захист і тактичні алгоритми в умовах абсолютного радіомовчання

У випадку дронів з абсолютним радіомовчанням головним інструментом стає не РЕБ, а тактика пасивного захисту та дисципліна екіпажу. Візуальні й акустичні сенсори, маневр і маскування – це новий ешелон виживання. Тактика протидії змінюється разом із розвитком противника, тож головним правилом залишається постійний рух та адаптація.

7.5.1 Тактичний маркер асиметричної загрози

В умовах абсолютного радіомовчання єдиним надійним джерелом первинної інформації залишаються пости візуального спостереження (ПВС). Коли технічні засоби не дають жодних сигналів, саме людський фактор стає тактичним маркером асиметричної загрози.

Покроковий алгоритм

Тактичний маркер. Якщо ПВС фіксує наближення FPV-дрона бойовим або пікірувальним курсом, а всі РЕР-детектори (TinySA, «Дзиґа», «Чуйка») показують нульову активність, це може свідчити про застосування оптоволоконного або автономного БпЛА.

Обмеження технічних засобів. Автоматизовані оптичні системи не застосовуються через уразливість до пилу, вібрацій та погодних умов. Пріоритет віддається пасивним RF-детекторам у синергії з людською пильністю.

Роль екіпажу. Людський фактор інтегрується в систему безпеки як ключовий елемент. Візуальні спостерігачі стають «першою лінією» виявлення, коли техніка мовчить.

Тактичний маркер асиметричної загрози формується тоді, коли візуальне підтвердження атаки дрона не супроводжується жодними радіосигналами. Це єдиний надійний індикатор оптоволоконних або автономних БпЛА, і саме він визначає алгоритм дій екіпажу (див. табл. 7.6).

Таблиця 7.6 – Тактичний маркер асиметричної загрози

Елемент	Ознака	Інтерпретація
Візуальне підтвердження	ПВС фіксує наближення FPV-дрона бойовим чи пікірувальним курсом	Дрон атакує, загроза реальна
Нульова активність РЕР	Аналізатори спектра (TinySA, «Дзига», «Чуйка») показують нуль	Відсутність радіоканалів керування
Висновок	Поєднання двох ознак	Застосування оптоволоконного або автономного БпЛА

Отже, тактичний маркер асиметричної загрози є поєднанням візуального підтвердження атаки та відсутності будь-яких радіосигналів. У таких умовах головним сенсором стає людина, а головним інструментом – дисципліна й пильність екіпажу.

7.5.2 Модифікований алгоритм дій екіпажу

Проти дронів із провідним керуванням чи автономним штучним інтелектом класичний цикл РЕБ не працює. Екіпаж повинен перейти до модифікованого алгоритму, який ґрунтується на маневрі, маскуванні та використанні середовища. Це оборонно-тактичний підхід, що гарантує виживання.

Модифікований алгоритм дій екіпажу

1. Переривання фізичної лінії (проти оптоволоконних БпЛА).

Оптоволоконний кабель має обмежену міцність і може бути розірваний маневруванням:

– виконати різкий маневр у разі фіксації загрози;

– використати рельєф: пагорби, круті повороти, лісосмуги, будівлі.

Кабель неминуче зачепиться за перешкоди та розірветься.

2. Зрив машинного зору (проти автономних БпЛА).

Автономні системи наведення орієнтуються на контрастний силует і тепловий контур:

– негайно застосувати мультиспектральні аерозольні або димові завіси;

– створити щільну непрозору хмару;

– засліпити камеру дрона та зірвати алгоритм захоплення.

3. Використання природних радіотіней (пасивний захист).

Середовище може стати природним екраном від автономних систем:

– перебувати в низинах або під щільним покровом зеленки;

– використовувати складки місцевості як укриття;

– не намагатися перегратися алгоритм в ефірі.

4. Дотримання радіомовчання («залізне правило»).

Активація засобів РЕБ проти таких дронів є фатальною помилкою:

– не вмикати активний РЕБ під час атаки;

– працювати виключно колесами, рельєфом і димами;

– увімкнення засобу РЕБ перетворює машину на радіомаяк для РТР.

Проти оптоволоконних та автономних БпЛА класичний цикл РЕБ не працює. Екіпаж повинен діяти за модифікованим алгоритмом, оскільки ця оборонно-тактична методика гарантує виживання та збереження техніки (табл. 7.7).

Таблиця 7.7 – Модифікований алгоритм дій екіпажу

Елемент алгоритму	**Дія екіпажу**	**Очікуваний ефект**
Переривання кабелю	Виконати різкий маневр через рельєф (пагорби, лісосмуги, будівлі)	Оптоволоконний кабель обривається, внаслідок чого дрон втрачає керування
Зрив машинного зору	Застосувати мультиспектральні аерозольні/димові завіси	Камера дрона «сліпне», алгоритм ШІ не утримує ціль
Використання радіотіней	Зайняти низину, сховатися під «зеленкою» чи укриттям	Природний екран приховує машину від автономної системи

Кінець таблиці 7.7 – Модифікований алгоритм дій екіпажу

Елемент алгоритму	**Дія екіпажу**	**Очікуваний ефект**
«Залізне правило»	Умикати засіб РЕБ проти таких дронів категорично не рекомендується	Уникнення демаскування та артилерійського удару

Отже, модифікований алгоритм дій екіпажу проти оптоволоконних та автономних БпЛА ґрунтується на маневрі, маскуванні та використанні середовища. Радіомовчання є критичною умовою виживання: увімкнення засобу РЕБ у цих умовах не зупинить дрон, але гарантовано призведе до артилерійського удару чи атаки дронів.

Розділ 8. ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ ІЗ КОМПЛЕКСОМ РЕБ

Надійність комплексу РЕБ визначається не лише якістю обладнання, а й дисципліною екіпажу. Щоденна експлуатаційна «гігієна» та регулярне технічне обслуговування є критично важливими для довговічності системи та безпеки роботи.

8.1 Регламент щоденного технічного обслуговування (ЩТО)

Щоденне технічне обслуговування комплексу РЕБ має стати таким самим ритуалом, як перевірка зброї чи заправлення пальним. Це не формальність, а гарантія надійності й довговічності системи. Чекліст передбойового огляду забезпечує дисципліну та виключає випадкові поломки.

Узагальнений чекліст ЩТО

1. Огляньте антени. Перевірте корпуси та кріплення на наявність тріщин, вигинів або пошкодженнь; легке струшування не має створювати сторонніх звуків.

2. Перевірте кабелі та роз'єми. Огляньте на предмет окислення, підтягніть з'єднання, використовуйте очищувачі контактів; для довготривалих з'єднань застосуйте герметичну стрічку.

3. Оцініть кріплення та заземлення. Переконайтесь у відсутності тріщин на кронштейнах, перевірте затягування болтів і стан клеми заземлення.

4. Дотримуйтеся «золотого правила». Категорично заборонено вмикати комплекс РЕБ без справної антени – це призводить до миттєвого виходу з ладу передавача.

5. Контролюйте охолодження. Радіатори мають бути чистими та не перекритими сторонніми предметами; перегрів знижує ресурс системи.

6. Дотримуйтеся послідовності. Завжди спочатку підключайте навантаження (антену), а потім живлення; під час вимкнення – навпаки.

Щоденне технічне обслуговування комплексу РЕБ має бути обов'язковою процедурою перед кожним бойовим виходом. Воно гарантує надійність системи та запобігає аварійним відмовам. Узагальнена таблиця 8.1 нижче систематизує ключові елементи передбойового огляду.

Таблиця 8.1 – Чекліст щоденного технічного обслуговування (ЩТО)

Елемент огляду	**Дія екіпажу**	**Мета / Очікуваний ефект**
Антени	Візуальний огляд на наявність тріщин, вигинів, пошкоджень радома; легке струшування для перевірки внутрішніх дефектів	Запобігання проникненню вологи та аварійному зростанню КСХ
Кабелі та роз'єми	Перевірка затягування, люфту, окислення; очищення контактів; герметизація стрічкою	Забезпечення надійного з'єднання та захист від корозії
Кріплення та заземлення	Контроль болтів, кронштейнів, зварних швів; перевірка клеми заземлення	Виключення механічних відмов і втрати електробезпеки
«Золоте правило»	Заборона ввімкнення комплексу РЕБ без підключеної справної антени	Захист вихідного каскаду від «радіочастотного гідроудару»
Охолодження	Очищення радіаторів від бруду, листя, сторонніх предметів	Запобігання перегріву та виходу з ладу
Послідовність дій	Під час увімкнення «Навантаження → живлення»,а вимкнення – навпаки	Недопущення аварійних режимів роботи

Отже, щоденне технічне обслуговування – це не формальність, а важливий чинник надійності комплексу РЕБ. Дотримання чекліста гарантує стабільну роботу системи навіть у найскладніших умовах.

8.2 Тактичні аспекти застосування

Мобільність є одним із визначальних чинників виживання під час застосування комплексу РЕБ. Кожне ввімкнення комплексу – це сигнал для противника, який може бути виявлено протягом хвилин. Тому тактика ″Shoot and Scoot″, а також чітка координація в підрозділі стають основою безпечного та ефективного використання комплексів РЕБ.

Короткий аналіз

Мобільність. Засоби РТР противника здатні виявити випромінювання за 30–90 с. Артилерія відкриває вогонь через 3–7 хв. Отже, безперервна робота комплексу РЕБ понад 5–7 хв створює високий ризик вогневого ураження позиції.

Приклад тактики. Колона долає небезпечну ділянку з увімкненим комплексом РЕБ лише на час проходження, після чого комплекс вимикається. Наступне ввімкнення має здійснюватися вже з іншої позиції.

Координація. Неконтрольоване ввімкнення комплексу РЕБ може «оглушити» власні радіостанції та зірвати евакуацію чи зв’язок. Тож потрібна чітка команда на активацію/деактивацію.

Кодові слова. Простий сигнал («Щит угору!» / «Щит униз!») забезпечує зрозумілу координацію для всіх учасників бою.

Тактичні аспекти застосування комплексу РЕБ потребують мобільності та дисципліни. Узагальнена таблиця 8.2 систематизує головні правила тактики ″Shoot and Scoot″ та координації дій підрозділу.

Таблиця 8.2 – Тактичні аспекти застосування РЕБ

Аспект	Дія екіпажу/підрозділу	Очікуваний ефект
Мобільність	Увімкнення комплексу РЕБ лише на час проходження небезпечної ділянки	Уникнення виявлення та артилерійського удару
Часові межі	Робота не більше 5–7 хв з однієї позиції	Збереження живучості техніки

Кінець таблиці 8.2 – Тактичні аспекти застосування РЕБ

Аспект	Дія екіпажу/підрозділу	Очікуваний ефект
Координація	Узгоджені команди на активацію/деактивацію	Виключення блокування власного зв'язку
Кодові слова	Використання простих сигналів («Щит угору!» / «Щит униз!»)	Швидке та зрозуміле управління діями

Отже, ефективне застосування засобів РЕБ ґрунтується на мобільності, часовій дисципліні та чіткій координації. Кожне ввімкнення має бути коротким і контрольованим, аби комплекс залишався «щитом», а не «маяком» для ворожої артилерії.

8.3 Безпека особового складу: вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ)

Вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ) на екіпаж – це не теоретична загроза, а реальний чинник, який може безпосередньо знижувати боєздатність екіпажу. Методичний підхід до аналізу потребує розглядати ЕМВ як системний ризик, що впливає на фізіологічний стан особового складу, дисципліну й тактику застосування комплексу РЕБ.

Короткий методичний аналіз

Вплив на боєздатність. Симптоми переопромінення (головний біль, «туман» у голові, сповільнена реакція) прямо знижують ефективність екіпажу та створюють ризик аварійних ситуацій.

Практичні заходи безпеки:

– дотримання умовної безпечної дистанції (2–3 м);

– виключення перебування у головному пелюстку діаграми спрямованості антени;

– заборона торкатися антени, що працює, та розміщувати біля неї металеві предмети;

– регулярне інформування медиків про симптоми хронічного впливу.

Міфи та реальність:

– організм не має рецепторів для ЕМВ → відсутність відчуттів ≠ безпека;

– інтенсивність опромінення зростає експоненційно під час наближення до антени.

Безпека особового складу під час роботи з комплексом РЕБ визначається не лише технічними характеристиками комплексу, а й знанням реальних ризиків електромагнітного випромінювання. В узагальненій табл. 8.3 систематизовано головні аспекти впливу ЕМВ та практичні заходи захисту.

Таблиця 8.3 – Безпека особового складу під час роботи з комплексом РЕБ

Аспект	**Ризик/Загроза**	**Метод захисту**
Вплив на екіпаж	Головний біль, сповільнена реакція, втома	Контроль часу роботи, ротація екіпажу
Безпечна зона	Перебування у головному пелюстку діаграми	Дистанція 2–3 м, уникати прямої дії антени
Метал біля антени	Нагрівання предметів, ризик займання	Заборона розміщення боєкомплекту, інструментів
Медичний контроль	Хронічна втома, безсоння, головний біль	Доповідь медику, профілактичні огляди
Міфи про ЕМВ	«Не відчуваю – отже, безпечно»	Усвідомлення накопичувального ефекту

Отже, безпека екіпажу під час роботи із засобами РЕБ визначається дисципліною та знанням реальних ризиків ЕМВ. Дотримання вимог щодо безпечної зони, заборона контакту з антеною та регулярний медичний контроль – основні заходи, що сприяють збереженню здоров’я та боєздатності особового складу.

8.4 Полювання на засоби РЕП: як противник нас виявляє

Застосування засобу РЕП завжди супроводжується ризиком бути виявленим. З моменту активації комплекс перетворюється на потужний радіомаяк, який може бути виявлено й використано

противником для наведення вогню. Методи виявлення противником та наші тактичні заходи протидії узагальнено у табл. 8.4.

Таблиця 8.4 – Полювання на засоби РЕП: методи виявлення та протидія

Аспект	**Дія противника/загроза**	**Наш захист/тактика**
Виявлення сигналу	РТР фіксує «сплеск» енергії на аналізаторі спектра	Мінімізувати час роботи в ефірі
Тріангуляція	Використання кількох постів для визначення координат	Негайна зміна позиції після кожного ввімкнення
Передавання координат	Дані передаються артилерії, мінометам, FPV-дронам	Тактика ″Shoot and Scoot″
Часовий фактор	Від виявлення до удару – 3–7 хв	Робота не більше 5 хвилин з однієї точки
Радіомовчання	Відсутність випромінювання означає невидимість	Радіомовчання як головне маскування

Отже, кожне ввімкнення засобу РЕП має бути коротким, контрольованим і супроводжуватися негайною зміною позиції. Радіомовчання залишається найкращим способом маскування, а мобільність – головним захистом від ворожої радіотехнічної розвідки.

Розділ 9. ПЕРЕВІРКА БОЄЗДАТНОСТІ: МЕТОДИ Й ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ РОБОТИ КОМПЛЕКСУ РЕБ

Боєздатність комплексу РЕБ залежить від постійного контролю його параметрів. У цьому розділі розглянуто інструменти та алгоритми оцінювання працездатності систем радіоелектронної боротьби – від базових експрес-тестів на позиціях до поглибленої апаратної діагностики. Висвітлено методи виявлення несправностей і забезпечення захисту від засобів РЕБ.

Методи й засоби контролю

Метрологічний та апаратний контроль: використання аналізаторів спектра та осцилографів для вимірювання вихідної потужності, діапазону робочих частот та КСХ (коефіцієнта стоячої хвилі) антен.

Польова перевірка (тестування в ефірі): застосування контрольних приймачів та імітаторів сигналів для оцінювання ефективності подавлення каналів керування (наприклад, сканувальні приймачі AOR).

Програмний моніторинг: діагностика вбудованого програмного забезпечення комплексу та перевірка цілісності прошивок, що особливо актуально під час випробувань та налаштування комплексів.

Експлуатаційні випробування: оцінювання цілісності кабельних ліній, роз'ємів, системи охолодження та джерел живлення, оскільки механічні пошкодження є найчастішою причиною відмов на позиціях.

Наявність вогника індикатора живлення на корпусі вашого комплексу РЕБ підтверджує лише одне: пристрій отримує електроенергію. Це *не дає жодної гарантії*, що найважливіші компоненти системи – високочастотний передавач і підсилювач потужності – працюють належним чином. Внутрішня несправність (наприклад, вихід із ладу вихідного каскаду через випадкове ввімкнення без антени) може призвести до ситуації, коли система споживає енергію, вентилятори працюють, індикатори світяться, але *реальний захист дорівнює нулю*. Екіпаж, упевнений у своєму «електронному щиті», насправді залишається абсолютно беззахисним. Мета цього

розділу – надати прості й надійні методи, які дають змогу отримати однозначну відповідь на головне питання: «Чи випромінює засіб РЕБ потужну заваду саме зараз?»

9.1 Прямі методи перевірки (з використанням спеціального обладнання)

Це найбільш надійні й рекомендовані методи, що дають об'єктивну оцінку роботи системи.

9.1.1 Використання індикатора поля та вимірювача потужності РЧ

Для перевірки наявності випромінювання засобу РЕБ використовують індикатори поля та вимірювачі потужності РЧ: РЕБ-тестер «Ультра» 240–1020 МГц, 2100–2700 МГц, 5150–5300 МГц, 5725–5850 МГц; Індикатор роботи засобу РЕБ MiniSA v1 (433, 700, 900, 1000 МГц + 2,4 ГГц).

Що це таке?

Індикатор роботи засобу РЕБ MiniSA є найпростішим, найдоступнішим і найважливішим інструментом для щоденної перевірки. Це невеликий портативний прилад з антеною, який вимірює напруженість електромагнітного поля та дає змогу оцінити інтенсивність радіовипромінювання.



Рисунок 9.1 – Індикатор роботи засобу РЕБ MiniSA

Процедура перевірки

1. Увімкніть індикатор поля.

2. Розташуйте його на *фіксованій, однаковій відстані* (наприклад, 2–3 м) від антени вашого засобу РЕБ. Це критично важливо для порівнянності результатів.

3. Увімкніть засіб РЕБ. Прилад покаже рівень випромінювання за допомогою світлодіодної шкали, стрілочного індикатора або цифрового значення.

Як це використовувати?

Абсолютне значення не таке важливе, як його *стабільність та повторюваність*. Під час першого встановлення та налаштування завідомо справного комплексу заміряйте цей показник і запишіть його як *еталонне значення* до «Паспорта комплексу» (див. додаток Д).

Щоденна перевірка. Повторіть вимірювання на тій самій відстані. Якщо сьогодні показник суттєво (більш ніж на 15–20 %) нижчий за еталонний – це *однозначний сигнал про несправність* в антенно-фідерній системі або в самому передавачі.

Що це доводить?

Підтверджує, що передавач генерує потужність, а антена її випромінює. Дає змогу відстежувати «здоров'я» системи в динаміці.

9.1.2 Використання аналізатора спектра *(професійний метод)*

Що це таке?

Аналізатор спектра – професійний радіовимірювальний прилад, який показує візуальний графік усіх радіосигналів в ефірі.

Процедура перевірки

1. Підключіть до аналізатора відповідну антену.

2. Налаштуйте потрібний діапазон частот (наприклад, 850–930 МГц). Ви побачите лінію фонового шуму.

3. Увімкніть засіб РЕБ.

Результат

На екрані аналізатора ви миттєво побачите, як рівень шуму в усьому діапазоні роботи засобу РЕБ різко «стрибне» вгору, утворюючи характерний «горб». Це *найбільш наочне підтвердження* того, що ваш засіб РЕБ працює та випромінює сигнал у потрібному діапазоні частот.

Що це доводить?

Дає змогу наочно підтвердити факт роботи комплексу, перевірити його робочий діапазон частот і оцінити відносну потужність випромінювання. Такий тест можна вважати «золотим стандартом» практичної перевірки.

9.2 Непрямі методи перевірки (коли немає приладів)

Непрямі методи менш точні, але дають змогу отримати хоча б приблизне уявлення про працездатність системи.

9.2.1 Тестування працездатності комплексу за допомогою «дружнього» дрона *(найбільш наочний непрямий метод)*

Принцип. Перевірка ефективності роботи комплексу за допомогою спроби подавити канал керування власного, некритичного дрона у контрольованих умовах.

Процедура

1. Виберіть безпечну, відкриту місцевість. *Обов'язково попередьте всі дружні підрозділи* про час і місце проведення перевірки, щоб уникнути непорозумінь.

2. Один боєць керує засобом РЕБ.

3. Другий боєць на відстані (починаючи з 500–1000 м) злітає на *тренувальному дроні* і намагається наблизитися до машини.

4. За командою вмикається засіб РЕБ. Пілот дрона повинен чітко повідомити по радіостанції, на якій відстані він втратив відеосигнал або керування.

Критично важливе застереження

Ніколи не використовуйте для тестування бойовий дрон, споряджений боєприпасом. Пам'ятайте також, що подібна перевірка *демаскує вашу позицію* так само, як і реальна бойова робота. Проводьте її максимально швидко.

Що це доводить?

Практично підтверджує, що ваш «купол» працює, а також дає змогу приблизно оцінити його ефективний радіус.

9.2.2 Тестування за допомогою портативної радіостанції *(найпростіший метод)*

Принцип. Використання звичайної радіостанції як примітивного індикатора поля.

Процедура

1. Візьміть будь-яку аналогову радіостанцію (наприклад, Baofeng, Kenwood).

2. Перемкніть її на частоту, що лежить *безпосередньо за межами* діапазону роботи вашого засобу РЕБ (наприклад, 433 МГц).

3. Вимкніть шумоподавлювач, щоб ви чули постійний фоновий шум (шипіння).

4. Увімкніть засіб РЕБ.

5. Повільно наближайте радіостанцію до антени засобу РЕБ.

Результат

У міру наближення до працюючої антени рівень шуму в динаміку радіостанції має *різко значно зрости*. Шипіння перетвориться на гучний рев, гул або тріск.

Що це доводить?

Лише те, що передавач випромінює *якусь потужну радіочастотну енергію*. Цей метод *не може підтвердити* ані правильність частоти, ані достатню потужність, але все ж кращий за відсутність перевірки. Дає змогу відрізнити повністю неробочий комплекс від такого, що працює хоча б частково.

9.3 Вбудовані системи самодіагностики (BIST)

Деякі сучасні й дорогі комплекси РЕБ оснащено вбудованими системами самотестування (*Built-In Self-Test, BIST*). Зазвичай вони мають окремий індикатор (наприклад, «RF OK»), який світиться лише тоді, коли система внутрішнього контролю підтверджує, що вихідна потужність і КСХ перебувають у межах норми.

Рекомендація. Якщо ваш комплекс має таку систему, довіряйте їй. Однак для повної впевненості рекомендується періодично (наприклад, раз на тиждень) перевіряти її показники за допомогою зовнішнього індикатора поля, аби переконатися, що сама система діагностики працює коректно.

В узагальнювальній таблиці 9.1 систематизовано всі методи перевірки боєздатності комплексу РЕБ.

Таблиця 9.1 – Методи перевірки боєздатності комплексу РЕБ

Метод	**Суть перевірки**	**Що доводить**	**Надійність**
Індикатор поля	Вимірювання інтенсивності випромінювання на фіксованій відстані	Генерація потужності та випромінювання антеною	Висока для щоденного контролю
Аналізатор спектра	Візуалізація сигналів у діапазоні	Робочий діапазон, факт випромінювання, відносна потужність	«Золотий стандарт»
«Дружній» (тренувальний) дрон	Перевірка ефективності подавлення у контрольованих умовах	Практичний радіус дії «купола»	Середня, але наочна
Портативна радіостанція	Реакція шуму в міру наближення до антени	Лише факт випромінювання	Низька, але доступна
BIST-система	Вбудований самоконтроль («RF OK»)	Вихідна потужність і КСХ у нормі	Висока, але потребує зовнішньої верифікації

Регулярні перевірки – це не зайва робота, а невід'ємна частина професійної експлуатації. *Комбінація швидкої щоденної перевірки за допомогою індикатора поля і періодичної комплексної перевірки за допомогою «дружнього» дрона* дає найвищий рівень упевненості у вашому «електронному щиті».

Розділ 10. БЕЗПЕКА ОСОБОВОГО СКЛАДУ: ВПЛИВ ЕЛЕКТОРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) становить невидимий, але реальний фактор ризику для екіпажу. Потужні комплекси РЕБ, які є нашим «щитом» проти противника, водночас створюють інтенсивні електромагнітні поля, вплив яких може позначатися на здоров'ї та боєздатності особового складу. Дотримання правил безпеки під час роботи з ЕМВ – не формальність, а умова збереження концентрації, швидкої реакції та боєздатності підрозділу.

Поряд із видимими загрозами поля бою – кулями, уламками, дронами – існує ще одна, невидима, але реальна небезпека: електромагнітне випромінювання. Потужні комплекси радіоелектронної боротьби становлять джерело інтенсивного ЕМВ. Ігнорування цього чинника й нехтування правилами безпеки може призвести до серйозних наслідків для здоров'я та, що не менш важливо, до *зниження боєздатності екіпажу* в найвідповідальніший момент.

Головна теза цього розділу: дотримання правил безпеки під час роботи засобу РЕБ – не бюрократична формальність, а *безпосередній внесок у збереження вашого здоров'я, високої концентрації, швидкої реакції та, зрештою, в успішне виконання бойового завдання*. У цьому розділі ми детально розглянемо, що таке ЕМВ, як воно впливає на людину, які існують норми безпеки та, найголовніше, які практичні заходи необхідно вживати щодня для мінімізації ризиків.

10.1 Що таке ЕМВ і як воно впливає на людину?

Електромагнітне випромінювання – енергія, що поширюється у просторі у вигляді хвиль. Ми постійно оточені слабкими ЕМВ (від Сонця, мобільних телефонів, Wi-Fi). Однак антени потужних передавачів РЕБ створюють ЕМВ значно вищої інтенсивності. Важливо розуміти, що це *неіонізуюче* випромінювання, оскільки воно не має достатньо енергії для безпосереднього руйнування ДНК клітин, на відміну від іонізуючого випромінювання (радіації), але за певних умов може чинити біологічний вплив на організм.

10.1.1 Джерела ЕМВ на техніці

Головне джерело інтенсивного ЕМВ – *випромінювальні антени комплексу РЕБ*. Потужні радіостанції також є джерелами ЕМВ, але зазвичай потужність їхнього випромінювання значно нижча, ніж у систем РЕБ.

10.1.2 Механізми впливу

За дуже високих рівнів ЕМВ (на близькій відстані від потужної антени) основним ефектом є *тепловий* – енергія випромінювання поглинається тканинами тіла та перетворюється на тепло, що може призвести до локального перегріву. За тривалого впливу ЕМВ нижчої інтенсивності можливі *нетеплові ефекти*, пов'язані переважно з впливом на центральну нервову систему.

10.1.3 Фактори, що визначають рівень опромінення

Інтенсивність ЕМВ, що діє на людину, залежить від кількох факторів.

Потужність передавача. Чим потужніший комплекс, тим вищий рівень ЕМВ.

Частота випромінювання. Вплив може дещо відрізнятися для різних частот.

Характеристики антени. Антена з високим коефіцієнтом підсилення концентрує енергію в певному напрямку, створюючи там більш інтенсивне поле.

Відстань до антени – *найважливіший фактор!* Інтенсивність ЕМВ падає дуже швидко зі збільшенням відстані (пропорційно квадрату відстані).

Тривалість опромінення. Чим довше ви перебуваєте в зоні випромінювання, тим більшу дозу отримуєте.

10.2 Потенційні ризики для здоров'я та боєздатності

10.2.1 Симптоми гострого впливу

Тривалий або інтенсивний вплив ЕМВ може викликати комплекс неприємних симптомів.

З боку нервової системи: головний біль (часто тупий, наростаючий), запаморочення, шум у вухах, підвищена втомлюваність, загальна слабкість, сонливість удень та безсоння вночі, дратівливість, погіршення пам'яті та здатності до концентрації уваги.

Інші симптоми: нудота, відчуття дискомфорту або болю в ділянці серця, підвищена пітливість.

10.2.2 Прямий вплив на боєздатність

Важливо розуміти, що симптоми – не просто дискомфорт, а безпосередня загроза боєздатності екіпажу.

Водій із головним болем та сповільненою реакцією може припуститися фатальної помилки на марші або під час маневрування під вогнем .

Оператор засобу РЕБ, що страждає від утоми та не здатен сконцентруватися, може пропустити сигнал тривоги від детектора або неправильно відреагувати на загрозу.

Командир із погіршеною пам'яттю та дратівливістю не зможе швидко й адекватно оцінити обстановку і прийняти правильне тактичне рішення.

10.2.3 Потенційні довгострокові наслідки

Хоча неіонізуюче випромінювання, на відміну від іонізуючого, не пошкоджує ДНК безпосередньо, деякі дослідження вказують на можливі ризики в разі хронічного (багаторічного) професійного опромінення, зокрема на підвищений ризик розладів нервової та серцево-судинної систем. Тому мінімізація опромінення важлива не лише для боєздатності сьогодні, але й для збереження здоров'я у майбутньому.

10.3 Норми та безпечні відстані

10.3.1 Державні санітарні норми України

В Україні чинні офіційні документи, що регламентують безпечні рівні ЕМВ: «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» (ДСанПіН 3.3.6.096-2002), «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» (ДСН 239-96).

10.3.2 Поняття гранично допустимих рівнів

Зазначені норми встановлюють гранично допустимі рівні (ГДР) інтенсивності ЕМВ для робочих місць та місць перебування населення. Хоча у бойових умовах допустимі рівні опромінення можуть вимушено перевищуватися, їх установлення підкреслює необхідність контролю та мінімізації опромінення.

10.3.3 Практичні безпечні відстані

«Золоте правило»: *тримайтеся на максимально можливій відстані від увімкненої антени!*

Закон квадрата відстані. Пам'ятайте, що інтенсивність випромінювання падає дуже швидко. Якщо ви збільшите відстань від антени вдвічі (наприклад, із 2 до 4 м), рівень опромінення зменшиться вчетверо. Якщо збільшите втричі (з 2 до 6 м), то рівень впаде вдев'ятеро!

Орієнтовні безпечні дистанції. Для потужних (десятки або сотні ват) всеспрямованих антен засобу РЕБ *мінімальна безпечна відстань становить не менше 3–5 м.* Це дуже умовна цифра, яка може бути більшою для потужніших систем або антен із високим підсиленням. *Ніколи не перебувайте ближче 2–3 м від увімкненої антени без нагальної потреби.*

Визначені зони безпеки. В ідеалі виробник комплексу РЕБ повинен надавати розрахункові або виміряні зони безпеки для свого обладнання. Якщо така інформація є, слід нею керуватися.

10.4 Практичні заходи безпеки

Знання ризиків без конкретних дій є марним. Наведемо ключові практичні кроки для мінімізації опромінення.

10.4.1 Максимізація дистанції

Під час монтажу: свідомо вибирайте місце встановлення антени так, щоб вона була якомога далі від місць постійного перебування екіпажу (сидінь, люків).

Під час роботи: *категорично заборонено без нагальної потреби перебувати у безпосередній близькості (ближче 3–5 м) від увімкненої антени.* Не стійте біля антени, не спирайтеся на неї.

Ураховуйте діаграму спрямованості. Пам'ятайте про зони максимального випромінювання: для колінеарної антени це зона збоку, для QHA – зона безпосередньо над нею.

10.4.2 Мінімізація часу опромінення

Тактика "Shoot and Scoot". Суворе дотримання цього принципу (короткі сеанси роботи + зміна позиції) є важливим не тільки для тактичної прихованості, але й для зменшення сумарної дози опромінення екіпажу.

Робота за потреби. Умикайте засіб РЕБ лише тоді, коли є підтверджена загроза або за командою. Не залишайте комплекс увімкненим без потреби.

10.4.3 Використання екранування

Броня як щит. Найбезпечніше місце під час роботи засобу РЕБ – *усередині броньованого корпусу техніки*. Метал є ефективним екраном для радіохвиль.

Уникайте відкритих люків. Не перебувайте у відкритому люку поруч із увімкненою антеною.

10.4.4 Використання систем дистанційного керування

Якщо ваш комплекс РЕБ має виносний пульт керування, використовуйте його. Це дає змогу оператору керувати системою з безпечного місця (зсередини машини або з бліндажа).

10.4.5 Попереджувальні знаки

Рекомендується наносити на корпус техніки біля основи антени простий попереджувальний знак (наприклад, жовтий трикутник із символом радіохвиль) з написом «Обережно! ЕМВ!».

10.5 Медичний контроль та звітність

Самоконтроль. Будьте уважні до свого стану та стану ваших побратимів. Симптоми, описані в п. 10.2.1 (головний біль, утома, дратівливість, проблеми з концентрацією, нудота), можуть бути першими ознаками надмірного опромінення.

Обов'язкова доповідь. У разі появи стійких, незвичних симптомів у членів екіпажу, що працюють із засобом РЕБ, *необхідно негайно доповісти про них командиру та медику підрозділу.* Не ігноруйте ці сигнали.

В узагальнювальній табл. 10.1 систематизовано ключові фактори впливу, симптоми та практичні заходи безпеки, які необхідно враховувати щодня.

Таблиця 10.1 – Вплив ЕМВ та заходи безпеки

Аспект	Ризик/Загроза	Практичні заходи
Джерела ЕМВ	Антени комплексу РЕБ, потужні передавачі	Монтаж антени подалі від місць постійного перебування екіпажу
Фактори опромінення	Потужність, частота, діаграма спрямованості, відстань, час	Максимальна дистанція, мінімальний час роботи
Симптоми гострого впливу	Головний біль, утома, запаморочення, дратівливість	Самоконтроль стану, негайна доповідь медику

Кінець таблиці 10.1 – Вплив ЕМВ та заходи безпеки

Аспект	Ризик/Загроза	Практичні заходи
Вплив на боєздатність	Сповільнена реакція водія, помилки оператора, неадекватні рішення командира	Ротація екіпажу, контроль часу роботи
Довгострокові наслідки	Ризик розладів нервової та серцевосудинної систем	Мінімізація опромінення, регулярний медичний контроль
Норми та відстані	Перевищення ГДР у бойових умовах	Дотримання принципу «закон квадрата відстані», $\geq$ 3–5 м від антени
Практичні заходи	Перебування біля антени, відкриті люки, тривала робота	Використання броні як екрана, дистанційне керування, попереджувальні знаки

Безпека під час роботи з потужними джерелами ЕМВ ґрунтується на трьох принципах: максимальна дистанція, мінімальний час опромінення та використання екранування. Дотримання зазначених правил і постійний контроль за самопочуттям екіпажу – не формальність, а запорука боєздатності та збереження здоров'я.

Розділ 11. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ПОРАДНИКА ПІД ЧАС ЗАНЯТЬ

11.1 Загальна мета та філософія навчання

Цей практичний порадник створено на основі реального бойового досвіду. Тому його використання під час занять має відходити від формату сухої лекції та зосереджуватися *на формуванні практичних навичок і бойової стійкості* в умовах, наближених до реальних.

Головна мета методики – перетворити знання, викладені у пораднику, на *стійкі навички* та впевнені, автоматизовані дії особового складу. Інструктор (викладач, командир) виступає в ролі наставника, що моделює бойові проблеми, а порадник є основним інструментом їх розв'язання.

11.2 Ключові принципи проведення занять

Пріоритет практики. Теоретична частина (наприклад, розд. 3) має бути максимально стислою, давати лише необхідний мінімум для розуміння «чому це працює». Практичні дії становлять 80 % навчального часу: монтаж, розрахунки, перевірка, пошук несправностей.

Наскрізна безпека. Кожне заняття починається й закінчується нагадуванням про заходи безпеки. Інструктор постійно контролює дотримання правил, викладених у розд. 10 (вплив ЕМВ), а також правил електробезпеки під час роботи з живленням (розд. 5) та *«Золотого правила»* (не вмикати засіб РЕБ без антени).

«Від простого до складного». Навчання проводиться послідовно, відповідно до структури порадника – від планування (розд. 1) до інтегрованих тактичних сценаріїв (розд. 6).

Проблемно-орієнтований підхід. Не ставте завдання «встановити антену». Ставте тактичне завдання: «Обладнати пікап для супроводу колони, враховуючи рух лісосмугою. Обґрунтувати вибір антени (розд. 4) та схеми живлення (розд. 5)».

«Не довіряй, а перевіряй». Принцип розд. 9 має стати основою навчання. Жодне практичне завдання з монтажу не вважається виконаним доти, доки боєздатність системи не підтверджено об'єктивними методами (індикатором поля або тестовим дроном).

11.3 Модульна структура навчального процесу

Навчальний процес рекомендується розділити на три основні модулі.

Модуль 1. Основа: інженерна грамотність

Мета – навчити особовий склад правильно й надійно монтувати компоненти засобу РЕБ та організовувати безпечне живлення.

Зміст (за порадником): розд. 1 (Розміщення компонентів засобу РЕБ: стратегія і компроміси); розд. 5 (Джерела живлення засобу РЕБ та архітектура підключення).

Практичні заняття

Монтаж з нуля. Навчальні групи отримують комплект засобу РЕБ, інструменти, автомобіль (пікап) та бронетехніку (БТР/БМП). Завдання: використовуючи додаток Б (Чекліст № 2), розробити план і виконати повний монтаж системи.

«Золотий стандарт» живлення. Практична робота з монтажу ізольованої системи живлення з автономною АКБ та реле заряду.

Розрахунок виживання. Вирішення ситуаційних завдань із розрахунку часу автономної роботи за допомогою додатку В. Приклад завдання: «Потужність засобу РЕБ − 600 Вт. Штатні АКБ БТР-80. Скільки часу екіпаж може безпечно працювати в «тихому режимі», залишивши 50 % заряду для запуску двигуна?»

Модуль 2. Тактика: усвідомлене застосування

Мета – навчити особовий склад підбирати конфігурацію засобу РЕБ відповідно до бойового завдання та протидіяти тактикам противника.

Зміст (*за порадником*): розд. 3 (Антени, їх ключові характеристики); розд. 6 (Тактика БпЛА противника та методи протидії).

Практичні заняття

Робота в класі. Інструктор моделює тактичні сценарії за підрозд. 4.3 (Супровід колон, оборона КП, бій у місті). Ті, хто навчаються, використовуючи табл. 4.1 (Порівняння антен), повинні обґрунтувати вибір антенної системи (колінеарні антени, антени типу «конюшина» чи QHA).

Здійснюється аналіз тактичних прийомів противника (розд. 6); моделювання на місцевості (або на карті) дій екіпажу засобу РЕБ у відповідь на «Прорив на інерції», «Атаку з висоти» та «Приманку».

Модуль 3. Боєготовність: повний цикл

Мета – інтегрувати всі навички в єдиний цикл бойової роботи – від виявлення до зміни позиції.

Зміст (*за порадником*): розд. 7 (Пасивне виявлення); розд. 9 (Перевірка боєздатності); додаток Г (Несправності).

Практичні заняття (тренування)

Щоденний контроль. Тренування на час. Навчальні групи за 5 хв повинні провести повний передбойовий огляд техніки згідно з додатком Б (Чекліст № 1). Інструктор може вносити приховані несправності (ослаблений роз'єм, заблокований вентилятор).

Пошук несправностей. Робота з додатком Г. Екіпажам надається техніка з типовою проблемою (наприклад, комплекс не вмикається або низька ефективність). Завдання – системно діагностувати й усунути причину.

Комплексне бойове тренування. Фінальне заняття, що об'єднує всі набуті знання та практичні навички.

Фаза 1 (Виявлення). Екіпаж у режимі тиші моніторить ефір за допомогою детекторів (TinySA , «Дзиґа», «Чуйка»).

Фаза 2 (Вирішення). Інструктор імітує загрозу (наприклад, умикає «дружній» дрон). Екіпаж ідентифікує загрозу.

Фаза 3 (Протидія). Екіпаж умикає засіб РЕБ.

Фаза 4 (Верифікація). Оператор засобу РЕБ за допомогою детектора відеосигналу («Дзиґа») підтверджує «замерзання» зображення, а за допомогою індикатора поля (″MiniSA″) – наявність випромінювання.

Фаза 5 (Маневр). Екіпаж негайно вимикає засіб РЕБ і виконує маневр ″Shoot and Scoot″ (зміна позиції).

11.4 Матеріально-технічне забезпечення занять

Для повноцінного проведення занять потрібно забезпечити наявність необхідної документації, обладнання, техніки, інструментів і засобів контролю, а також підготувати відповідну місцевість.

Документація. Друковані примірники цього порадника (по одному на 1–2 слухачів), бланки додатку Д (Паспорт комплексу) для заповнення.

Обладнання засобу РЕБ. Кілька комплектів мобільних засобів РЕБ (бажано різних типів) із повним набором антен, кабелів і кріплень.

Техніка. Як мінімум один легковий автомобіль (пікап) та одна одиниця бронетехніки (БТР, БМП, бронеавтомобіль).

Інструменти. Набори для монтажу (ключі, викрутки, дриль, свердла), інструменти для роботи з кабелем (обтискачі, стрипери), мультиметри, струмові кліщі.

Засоби контролю:

– індикатори поля (РЕБ-тестери);

– аналізатори спектра;

– детектори відеосигналу («Дзиґа», «Чуйка»);

– «дружній» тренувальний дрон.

Місцевість. Клас для теоретичної підготовки; парк (майданчик) для монтажних робіт; ділянка полігону для комплексних тренувань.

11.5 Контроль знань та оцінювання

Поточний контроль. Усні опитування за ключовими термінами (додаток А) та перевірка правильності розрахунків (додаток В).

Рубіжний контроль. Оцінювання виконання практичних робіт (монтаж, діагностика) на основі правильності та повноти заповнення чеклістів (додаток Б).

Підсумковий контроль. Комплексний практичний іспит, що імітує «Комплексне бойове тренування» (підрозд. 11.3). Оцінюються швидкість, правильність дій, дотримання заходів безпеки, а також здатність ухвалити рішення на основі даних детектора.

В узагальнювальній табл. 11.1 систематизовано ключові принципи навчання, модульну структуру та матеріально-технічне забезпечення, що забезпечують ефективність і безпеку занять.

Таблиця 11.1 – Методика використання порадника

Аспект	**Зміст/принцип**	**Практичне значення**
Мета навчання	Перетворення знань на автоматизовані дії	Формування бойової стійкості та стійких навичок
Пріоритет практики	80 % часу – практичні дії	Монтаж, розрахунки, пошук несправностей
Наскрізна безпека	Постійне нагадування про дотримання правил	Захист від ЕМВ, електробезпека, «Золоте правило»
Від простого до складного	Послідовність – від базових знань до тактики	Логічна структура занять, нарощування складності
Проблемно-орієнтований підхід	Завдання у формі бойових сценаріїв	Розвиток тактичного мислення
Не довіряй, а перевіряй	Перевірка боєздатності після кожного монтажу	Використання індикаторів поля, тестових дронів
Модульна структура	Основа → Тактика → Боєготовність	Системне нарощування навичок
Матеріально-технічне забезпечення	Документація, комплект засобу РЕБ, техніка, інструменти	Реалістичні умови навчання
Контроль знань	Поточний, рубіжний, підсумковий	Оцінювання практичних дій та дотримання безпеки

Методика використання порадника під час занять поєднує практичну спрямованість, безпеку та проблемно-орієнтований підхід. Модульна структура дає змогу поступово формувати навички, а системний контроль знань гарантує їх закріплення. Це забезпечує готовність екіпажу діяти впевнено та безпечно у реальних бойових умовах.

Розділ 12. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ТА КУРСАНТІВ В УМОВАХ ОНОВЛЕНОГО РАДІОЕЛЕКТРОННОГО СЕРЕДОВИЩА

Упровадження у друге видання порадника інженерних змін (SDR-технологій, акустичного ешелону, пасивного захисту від ШІ) потребує суттєвого оновлення методики навчання курсантів та особового складу. Сучасний офіцер або командир машини повинен відійти від шаблону «засіб РЕБ – це чорна коробка з однією кнопкою» та розвинути гнучке тактико-інженерне мислення.

12.1 Трансформація навчального процесу: від теорії до SDR-симуляції

Навчання курсантів більше не може базуватися на статичних плакатах із фіксованими частотами. Головна мета викладача – навчити майбутніх офіцерів візуалізувати ефір.

1. Застосування SDR-тренажерів у навчальних класах. Замість дефіцитної бойової техніки базову підготовку слід проводити на розгорнутих навчальних місцях із використанням доступних SDR-приймачів (наприклад, RTLSDR або HackRF One). Курсанти повинні наочно, через спектрограми («водоспади»), спостерігати:

– реальний стрибок частоти (FHSS) у протоколі ExpressLRS;

– чим відрізняється цифровий пакет керування від аналогового сигналу відеопередавача (VTX);

– як змінюється форма сигналу та його поляризація під час зміни положення антени.

2. Моделювання тактичних завад (без випромінювання в ефір). За допомогою програмного забезпечення симуляторів викладач моделює ситуацію: «Противник перейшов на частоту 350 МГц із розширеним профілем». Завдання курсанта – програмно переконфігурувати цифровий передавач, розрахувати кріплення антени під довжину хвилі $\lambda = 85$ см та обґрунтувати схему просторового рознесення для захисту радіостанції підрозділу.

12.2 Тактико-спеціальні заняття: двостороння гра «Дрон проти РЕП»

Найкращим способом перевірки засвоєння матеріалу є проведення практичних занять у форматі двостороннього протистояння за сценарієм «Детекція – подавлення – маневр».

Група А (Охорона комплексу / екіпаж БМП) розгортає на машині макети антенних полів, підключає пасивні RF-детектори, акустичні датчики та готує димові системи маскування.

Група Б («Оператори БпЛА противника») намагається підібратися до техніки, використовуючи різні тактичні прийоми (імітація зміни частот, імітація повного радіомовчання або застосування оптоволокна, імітація атаки з різних азимутів).

Критерій успіху для викладача: екіпаж вважається таким, що вижив, якщо під час спроби атаки «дрон-ШІ/радіомовчання» (Група Б підняла білий прапорець радіомовчання) екіпаж не просто ввімкнув тумблер засобу РЕБ, а зафіксував загрозу акустично/візуально, негайно здійснив маневр машиною на 10 м убік і умовно активував ТДА (термодимову апаратуру).

ВИСНОВКИ

Модернізація запропонованого порадника – це відповідь на виклики інтелектуальної війни в ефірі. Поєднання високотехнологічної SDR-архітектури, багатоканального пасивного виявлення (РЕР та акустика) з чіткою тактичною дисципліною екіпажів є єдиним інженерно правильним шляхом до збереження життя особового складу та бойової техніки Національної гвардії України.

Ми пройшли повний шлях – від стратегічного планування та монтажу до тактичних аспектів, мистецтва пасивного виявлення і методів підтвердження боєздатності. Мета порадника полягає у зміні підходу до мобільного засобу РЕБ − від сприйняття його як «чорної коробки» до усвідомленого використання як комплексної системи захисту, у якій кожний елемент має критичне значення.

Ключові тези практичного порадника

Правило розміщення: антена – на найвищій точці; блок управління – у захищеному місці з вентиляцією.

Надійність з'єднань: якісний монтаж; болти класу міцності ≥ 8,8; коаксіальний кабель 50 Ом.

Пріоритетна ціль – канал керування дрона з лінійною поляризацією.

Тактичний компроміс – вибір антени між міцністю (рух) та універсальністю (позиція).

«Золотий стандарт» живлення – ізольована система з автономною АКБ та реле заряду.

Розрахунок виживання: точний підрахунок часу автономної роботи з резервом 50 % ємності АКБ.

Пасивний захист: детектори як ключ до виграшу часу без демаскування.

Ешелоноване виявлення: дальня розвідка за каналами керування, ближня – по відео.

Цикл протидії: Виявив → Прийняв рішення → Подавив → Змінив позицію.

Знай свого ворога: готовність протидіяти «рою», «приманці», атакам із висоти.

Перевірка боєздатності: вогник індикатора живлення не є доказом роботи комплексу; використовуємо індикатор поля або здійснюємо практичне тестування.

П'ять засад ефективності мобільного захисту

1. Інженерна грамотність – фізична надійність кожного елемента, від гайки до кабелю.

2. Обізнаність – детектори як «вартові», що дають час та інформацію.

3. Тактична майстерність – інтеграція засобів РЕБ у систему захисту, передбачення дій противника.

4. Енергетична незалежність – архітектура живлення, що гарантує мобільність і виживання.

5. Професійна дисципліна – постійний контроль, відмова від самозаспокоєння, перевірка боєздатності комплексу за допомогою приладів.

Отже, цей практичний порадник є зброєю проти найнебезпечнішого ворога на полі бою – некомпетентності. Противник постійно вдосконалюється, тому наш захист має розвиватися разом із ним. Кожна перевірена гайка, кожний належно прокладений кабель, кожне тактичне рішення та кожна перевірка боєздатності є внеском у вашу перевагу в ефірі та збереження життя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Організація та ведення радіоелектронної боротьби у загальновійськовому бою : метод. реком. Київ : ГШ ЗСУ, 2022.

2. Застосування взводу радіоелектронної боротьби механізованої (мотопіхотної) бригади : метод. реком. Київ : УРЕБ КСП ЗСУ, 2022.

3. NATO. *Allied Joint Doctrine for Electronic Warfare (AJP-3.6)*. Edition C, Version 1. Brussels : NATO Standardization Office, 2020. 98 p.

4. United States. Joint Chiefs of Staff. *Joint Publication 3-13.1: Electronic Warfare*. 8 February 2012. 144 p.

5. Виконання заходів радіо-, радіотехнічного контролю окремим спеціальним центром радіоелектронної боротьби (окремим вузлом радіоелектронної боротьби) у ході застосування військ (сил) : ВКДП 10-27(56).01 : військ. кер. деталіз. публ. / Упр. РЕБ Командування Сил підтримки ЗСУ. Київ, 2020. 80 с.

6. ДСТУ 3761.3-98. Зварювання та споріднені процеси. Частина 3. Зварювання металів: з'єднання та шви, технологія, матеріали та устаткування. Терміни та визначення. Чинний від 01.07.1999. Київ : Держстандарт України, 1999. 54 с.

7. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT). Чинний від 31.12.2023. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

8. ДСТУ EN 14399-1:2019. З'єднання болтові високоміцні для попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги (EN 14399-1:2015, IDT). Чинний від 01.01.2024.

9. ДСТУ EN 15048-1:2019. З'єднання болтові без попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги (EN 15048-1:2007, IDT). Чинний від 01.01.2024.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Словник термінів та абревіатур

Український термін (абревіатура)	Англомовний відповідник (абревіатура)	Примітка/Уточнення
Аналізатор спектра	Spectrum Analyzer	Прилад для візуального відображення радіосигналів на шкалі частот
Акумуляторна батарея (АКБ)	Storage Battery / Rechargeable Battery	
Антенно-фідерна система (АФС)	Antenna-Feeder System (AFS)	Вмикає антену, кабель та роз'єми
Безпілотний літальний апарат (БпЛА)	Unmanned Aerial Vehicle (UAV) / Drone	UAV – офіційний військовий термін. Drone – загальновживаний
Глушіння (завади)	Jamming	Процес створення навмисних радіозавад для порушення роботи систем противника
Децибел відносно ізотропного випромінювача (dBi)	Decibel relative to isotropic radiator (dBi)	Стандартна одиниця вимірювання підсилення антени
Діаграма спрямованості (ДС)	Radiation Pattern	Графік, що показує, як антена випромінює енергію в різних напрямках
Довжина хвилі	Wavelength	Фізична відстань, яку проходить радіохвиля за один цикл. Зворотно пропорційна частоті
Електромагнітна сумісність (ЕМС)	Electromagnetic Compatibility (EMC)	Здатність пристроїв працювати поряд, не створюючи взаємних завад

Продовження ДОДАТКА А

Український термін (абревіатура)	**Англомовний відповідник (абревіатура)**	**Примітка/Уточнення**
Електромагнітне випромінювання (ЕМВ)	Electromagnetic Radiation (EMR)	
Загасання	Attenuation	Природне ослаблення сигналу з відстанню або під час проходження через перешкоди (ліс, дощова погода)
Інвертор	Power Inverter (DC to AC)	Перетворювач постійного струму (DC) на змінний (AC)
Індикатор поля	Field Strength Meter	Прилад для вимірювання інтенсивності електромагнітного поля
Канал керування	Command and Control Link (C2 Link)	Радіоканал для передачі команд від оператора до дрона
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	Efficiency / Coefficient of Performance (COP)	Показник ефективності перетворення енергії
Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ)	Standing Wave Ratio (SWR)	Ключовий показник «здоров'я» антенної системи
Коаксіальний кабель	Coaxial cable	
Навантаження	Load	Технічний термін для пристрою (зазвичай антени), що підключений до виходу передавача
Неузгодженість	Impedance Mismatch	Невідповідність хвильових опорів, що призводить до високого КСХ
Пеленгація	Direction Finding (DF)	Процес визначення напрямку на джерело радіовипромінювання

Український термін (абревіатура)	**Англомовний відповідник (абревіатура)**	**Примітка/Уточнення**
Підсилювач потужності	Power Amplifier (PA)	Компонент передавача, що підсилює радіосигнал до потрібної потужності для випромінювання
Поляризація (кругова, лінійна)	Polarization (circular, linear)	Орієнтація електромагнітної хвилі у просторі
Радіоелектронна боротьба (РЕБ)	Electronic Warfare (EW)	Містить три складові: атака (EA/РЕП), захист (EP/РЕЗ) та підтримка (ES/РЕР)
Радіотехнічна розвідка (РТР)	Signals Intelligence (SIGINT) / Electronic Intelligence (ELINT)	SIGINT – більш загальний термін. ELINT – розвідка некомунікаційних сигналів (наприклад, радарів)
Радіопрозорий обтічник/купол (радом)	Radome (Radio-transparent dome/ fairing)	Захисний корпус для антени
Реле заряду	Voltage Sensitive Relay (VSR) / Split Charge Relay	Пристрій для заряджання другої АКБ у «золотому стандарті» живлення
Рознесений прийом (антен)	Antenna Diversity	Технологія використання кількох антен для підвищення надійності
Роз'єм/Конектор	Connector (e. g., N-type, SMA)	Елемент для фізичного з'єднання кабелів та обладнання
Сигнатура сигналу	Signal Signature	Унікальний набір характеристик (частота, ширина, модуляція), що дає змогу ідентифікувати джерело сигналу
Спуфінг	Spoofing	Технологія підміни справжнього сигналу (наприклад, GPS) фальшивим для введення противника в оману

Кінець ДОДАТКА А

Український термін (абревіатура)	**Англомовний відповідник (абревіатура)**	**Примітка/Уточнення**
Співвідношення сигнал/шум	Signal-to-Noise Ratio (SNR)	Показник якості сигналу; відношення потужності корисного сигналу до потужності фонового шуму
Стабілізатор напруги DC-DC	DC-DC Voltage Stabilizer / Regulator	Пристрій для стабілізації постійної напруги
Тріангуляція	Triangulation	Метод визначення точних координат джерела сигналу шляхом перетину кількох пеленгів із різних точок
Фідер (Фідерна лінія)	Feeder / Feeder line	Синонім коаксіального кабелю в контексті живлення антени
Хвильовий опір	Wave Impedance / Impedance	Ключова характеристика кабелю (стандарт – 50 Ом)
Частота	Frequency	Кількість коливань радіохвилі за секунду. Вимірюється в герцах (Гц), кілогерцах (кГц), мегагерцах (МГц), гігагерцах (ГГц)
Щоденне технічне обслуговування (ЩТО)	Daily Technical Maintenance / Daily Checks	Комплекс щоденних перевірок
Квадрифілярна антена (QHA)	Quadrifilar Helix Antenna (QHA)	Антена з діаграмою спрямованості купольного типу

ДОДАТОК Б

Чеклісти для швидкої перевірки
(обов'язкові до використання)

Чекліст № 1: Передбойовий огляд (ЩТО)
(Проводиться щоденно перед виходом)

Антени:

☐ Візуальний огляд на відсутність тріщин, деформацій.

☐ Перевірка надійності кріплення до основи (без люфту).

Кабелі та роз'єми:

☐ Огляд кабелів на відсутність перетирань, зламів, пошкоджень ізоляції.

☐ Перевірка затяжки ВСІХ роз'ємів (щільно, до упору, від руки).

☐ Перевірка відсутності окислення на контактах.

Кріплення та заземлення:

☐ Перевірка затяжки болтів кронштейнів антен та основного блока засобу РЕБ.

☐ Перевірка надійності та цілісності контакту заземлення з корпусом.

Система живлення:

☐ Перевірка надійності кріплення силових кабелів до АКБ/ стабілізатора.

☐ Візуальний огляд стану автономної АКБ (якщо використовується).

☐ Перевірка рівня заряду АКБ.

УВАГА! ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО: ПЕРЕД подаванням живлення на засіб РЕБ переконайтеся, що антена надійно підключена.

Кінець ДОДАТКА Б

Чекліст № 2: Монтаж нової системи

(Використовується під час первинного встановлення комплексу на техніку)

Планування:

☐ Визначено оптимальне місце для антени (найвища точка, центр, подалі від інших антен).

☐ Визначено захищене місце для основного блока (з вентиляцією).

☐ Обрано архітектуру живлення («Золотий стандарт» у пріоритеті).

Монтаж компонентів:

☐ Використано надійні кронштейни та болти класу міцності не нижче 8.8.

☐ Усі різьбові з'єднання зафіксовані від вібрації (контргайки, гровери, фіксатор різьби).

☐ Прокладено коаксіальний кабель **50 Ом** без гострих згинів та в захищених місцях.

☐ Усі отвори в корпусі захищені гумовими втулками.

☐ Виконано надійне заземлення блока на корпус техніки.

Підключення живлення:

☐ Силові кабелі мають достатній переріз.

☐ У плюсовий кабель якомога ближче до АКБ встановлено запобіжник.

☐ Усі клеми надійно обтиснуті та заізольовані.

☐ Якщо використовується інвертор, він генерує «чисту синусоїду».

Фінальна перевірка:

☐ Проведено повторний огляд усіх з'єднань.

☐ Виконано тестове ввімкнення та перевірку індикації.

☐ (Рекомендовано) Проведено вимірювання КСХ за допомогою відповідного приладу.

ДОДАТОК В

Шпаргалка з розрахунку часу автономної роботи *(довідково)*

Основна формула:

$$T = \frac{C \times V \times \eta_{\text{batt}} \times \eta_{\text{inv}}}{p} \ ,$$

де T – час роботи, год; C – ємність АКБ, А·год; V – напруга, В (зазвичай 24 В); P – потужність вашого засобу РЕБ, Вт; η_{inv} – ККД інвертора (якщо інвертор використовується, для орієнтовного розрахунку можна прийняти $\eta_{\text{inv}} = 0{,}85$); η_{batt} – коефіцієнт глибини розряду (табл. В1) – *найважливіше!*

Таблиця В1 – Коефіцієнт глибини розряду

Тип живлення	**Значення η_{batt}**	**Пояснення**
Від штатних АКБ техніки	0,5	Запас на гарантований запуск двигуна
Від автономної АКБ засобу РЕБ	0,8	Можна розряджати глибше, не ризикуючи мобільністю

Формула для портативних зарядних станцій має такий вигляд:

$$T = \frac{E \times \eta_{\text{inv}}}{P} \ .$$

Заповніть для вашого комплексу:

Потужність мого засобу РЕБ (P) = _____ Вт.

Як визначити споживану потужність (P)?

Якщо потужність вашого комплексу невідома, її можна приблизно виміряти за допомогою мультиметра в режимі амперметра або струмових кліщів постійного струму.

Кінець ДОДАТКА В

1. Підключіть амперметр у розрив одного із силових кабелів, що живлять комплекс.
2. Увімкніть засіб РЕБ на повну потужність.
3. Зафіксуйте показник споживаного струму в амперах (А).
4. Помножте цей показник на напругу вашої бортової мережі (зазвичай 24 В).

Формула: Потужність (Вт) = Струм (А) × Напруга (В).

Приклад: прилад показує споживання 25 А у мережі 24 В. $P = 25\ А \times 24\ В = 600\ Вт$.

ДОДАТОК Г

Базовий чекліст із пошуку та усунення несправностей
(довідково)

УВАГА! Для того, щоб запобігти ураженню електричним струмом або пошкодженню апаратури, перед виконанням будь-яких дій з обладнанням (від'єднання кабелів, перевірка роз'ємів) необхідно переконатися, що комплекс РЕБ ***повністю вимкнений і від'єднаний*** від джерела живлення.

Цей чекліст (табл. Г1) побудовано за принципом «Проблема → ймовірна причина → що робити?». Дійте послідовно, крок за кроком.

Таблиця Г1 – Перелік можливих проблем та способи їх усунення

Проблема	**Імовірні причини**	**Покрокові дії (що робити?)**
1. Комплекс не вмикається (немає індикації, вентилятори не працюють)	1. Проблема з живленням на вході. 2. Перегорів запобіжник. 3. Несправний силовий кабель. 4. Глибокий розряд АКБ	1. *Перевірте базові речі:* чи увімкнений тумблер живлення на самому комплексі та на інверторі/стабілізаторі. 2. *Перевірте запобіжник*: знайдіть силовий запобіжник (зазвичай на кабелі біля клеми АКБ). Візуально огляньте його. Якщо нитка розжарення розірвана – замініть на новий *такого самого номіналу*. 3. *Перевірте з'єднання*: ретельно перевірте всі силові кабелі та їхні роз'єми – на клемах АКБ, вхід у засіб РЕБ, на інверторі. Похитайте їх, від'єднайте та приєднайте знову. 4. *Перевірте напругу*: якщо є мультиметр, заміряйте напругу на АКБ. Якщо вона значно нижча за номінальну (наприклад, < 22 В для системи 24 В), батареї розряджені

Продовження таблиці Г1 – Перелік можливих проблем та способи їх усунення

Проблема	Імовірні причини	Покрокові дії (що робити?)
1. Комплекс працює, але дрони прориваються (ефективність низька або нульова)	1. Неправильні налаштування. 2. Проблема в антенно-фідерній системі (АФС). 3. Недостатня потужність живлення. 4. Противник працює на інших частотах. 5. Перегрів комплексу	1. *Перевірте налаштування*: упевніться, що активовано правильний діапазон частот для подавлення (наприклад, 900 МГц – для дрона). 2. *Проведіть повний ЩТО* (див. додаток Б): найчастіша причина – пошкоджена або від'єднана антена/кабель. Ретельно огляньте всю лінію від виходу з блока до кінчика антени. 3. *Перевірте живлення*: під час роботи від АКБ переконайтеся, що вони достатньо заряджені. У разі сильного просідання напруги вихідна потужність засобу РЕБ може падати. 4. *Проаналізуйте загрозу*: якщо є змога, уточніть, на яких частотах працює противник. Можливо, ваш комплекс не перекриває потрібний діапазон. 5. *Перевірте охолодження*: доторкніться до радіаторів. Якщо вони надто гарячі, можливо, система перегрілась і автоматично знизила потужність (тротлінг). Забезпечте вентиляцію

Продовження таблиці Г1 – Перелік можливих проблем та способи їх усунення

Проблема	Імовірні причини	Покрокові дії (що робити?)
3. Високий КСХ (SWR) (якщо є індикатор або прилад для вимірювання)	Висока ймовірність, що проблема в АФС: а) пошкоджена антена; б) пошкоджений кабель; в) ослаб або окислився роз'єм; г) потрапляння води в кабель або антену	1. Негайно вимкніть передавач! Робота з високим КСХ гарантовано спалить підсилювач потужності. 2. *Дійте методом виключення* (якщо є запасні частини): а) замініть кабель на завідомо справний; якщо КСХ нормалізувався, то проблема в кабелі; б) якщо не допомогло, поверніть старий кабель і замініть антену на завідомо справну; якщо КСХ нормалізувався, то проблема в антені. 3. *Якщо немає запасних частин*: а) перевірте роз'єми (розкрутіть, огляньте, почистіть та щільно закрутіть); б) ретельно огляньте антену – шукайте тріщини, деформації, особливо на антенах типу «конюшина»; в) огляньте кабель – шукайте місця, де він міг бути перетиснутий дверима, гусеницею або пошкоджений уламками

Кінець ДОДАТКА Г

Кінець таблиці Г1 – Перелік можливих проблем та способи їх усунення

Проблема	Імовірні причини	Покрокові дії (що робити?)
4. Комплекс перегрівається (гарячий на дотик, спрацьовує захист)	1. Заблокована вентиляція. 2. Несправні вентилятори охолодження. 3. Робота під прямими сонячними променями. 4. Високий КСХ (*прихована причина*)	1. *Очистіть радіатори*: переконайтеся, що вентиляційні отвори та радіатори не закриті сторонніми предметами, брезентом, брудом. 2. *Перевірте вентилятори*: візуально і на слух переконайтеся, що вентилятори на корпусі обертаються. 3. *Створіть тінь*: якщо техніка стоїть на сонці, накрийте засіб РЕБ маскувальною сіткою або чимось іншим, не перекриваючи вентиляцію. 4. *Перевірте АФС*: відбита потужність через високий КСХ перетворюється на тепло всередині блока (див. пункт 3)
5. Дим або запах горілого	1. Катастрофічна несправність внутрішніх компонентів. 2. Коротке замикання	1. Негайно і безпечно припиніть подачу живлення від АКБ! 2. Не намагайтеся ремонтувати! 3. За необхідності використайте вогнегасник. 4. Повідомте командира та передайте несправний блок технічним спеціалістам для ремонту. Безпека екіпажу й техніки – пріоритет

ДОДАТОК Д

Паспорт комплексу РЕБ
(обов'язково до використання)

Паспорт комплексу РЕБ заповнюється оператором або командиром екіпажу для конкретного комплексу РЕБ, установленого на техніку. Він забезпечує швидкий доступ до ключових технічних та експлуатаційних параметрів.

Загальна інформація

Модель комплексу: _____

Серійний номер: _____

Дата встановлення: _____

Встановлено на техніку (бортовий №): _____

Технічні характеристики (з паспорта виробу)

Робочі діапазони частот, МГц:

Діапазон 1: _____ Діапазон 7: _____

Діапазон 2: _____ Діапазон 8: _____

Діапазон 3: _____ Діапазон 9: _____

Діапазон 4: _____ Діапазон 10: _____

Діапазон 5: _____ Діапазон 11: _____

Діапазон 6: _____ Діапазон 12: _____

Заявлена вихідна потужність по діапазонах, Вт:

Діапазон 1: _____ Діапазон 7: _____

Діапазон 2: _____ Діапазон 8: _____

Діапазон 3: _____ Діапазон 9: _____

Діапазон 4: _____ Діапазон 10: _____

Діапазон 5: _____ Діапазон 11: _____

Діапазон 6: _____ Діапазон 12: _____

Споживана потужність (P), Вт (для розрахунків): _____
Робоча напруга, В: _____ (напр., 24 В або 220 В)
Тип роз›ємів для антен: _____ (напр., N-type, SMA)

Компоненти встановленої системи
Антени (напр., 2 похилі колінеарні антени, QHA):

Діапазон 1: _____ Діапазон 7: _____
Діапазон 2: _____ Діапазон 8: _____
Діапазон 3: _____ Діапазон 9: _____
Діапазон 4: _____ Діапазон 10: _____
Діапазон 5: _____ Діапазон 11: _____
Діапазон 6: _____ Діапазон 12: _____

Кабель (фідер):
Марка кабелю: _____ (наприклад, LMR-400, RG-213)
Довжина кабелю, м (орієнтовно): _____ м
Система живлення:
Архітектура підключення: _____
(«Золотий стандарт» / «Срібний» / «Пряме»)
Параметри автономної АКБ *(якщо є)*:
Ємність (C): _____ А·год
Напруга (V): _____ В

Розрахункові показники (заповнити згідно з додатком В)
Розрахунковий час автономної роботи:
Від **автономної** АКБ (розряд 80 %): _____ годин
Від **штатних** АКБ (розряд 50 %): _____ годин

Кінець ДОДАТКА Д

Журнал обслуговування та нотатки

Дата	Виконані роботи / Помічені проблеми	Підпис

ДОДАТОК Е

Фінальний чекліст готовності АФС та засобу РЕБ перед виходом на завдання

Етапи перевірки боєздатності засобу РЕБ

Етап 1. Механічна цілісність АФС

Контролюється: фіксація антен низьких діапазонів (200–500 МГц) на екрані/«мангалі».

Інженерний маркер норми: відсутність люфтів у кріпленнях; антени не розхитуються від вібрації (ризик зламу або КЗ на броню).

Етап 1 полягає у проведенні інспекції надійності кріплень. Головна мета – уникнути розхитування антен від вібрації під час руху, оскільки це може призвести до їхнього зламу або короткого замикання (КЗ) на броню.

Покроковий план дій на техніці

1. Огляд кріплень. Візуально та механічно перевірте місця з'єднання антен низького діапазону (200–500 МГц) з екраном або «мангалом».
2. Перевірка на люфт. Візьміться за основу антени та спробуйте похитати її в різні боки. Антена має жорстко стояти на базі, будь-які хитання чи «гуляння» неприпустимі.
3. Усунення слабини:

– підтягніть усі різьбові з'єднання (болти, гайки, хомути);

– за потреби використовуйте контр-гайки, гроверні шайби або фіксатор різьби, щоб запобігти розкручуванню від постійної вібрації.

4. Захист від зламу. Переконайтеся, що конструкція антени має пружину-демпфер біля основи для пом'якшення ударів гілок.
5. Ізоляція. Перевірте цілісність кабелів та їхніх роз'ємів. Жодні оголені контакти чи обплетення не мають торкатися металевої броні чи «мангала».

Виконання зазначених кроків забезпечить стабільну роботу засобу РЕБ та захистить обладнання від виходу з ладу.

Етап 2. Просторове рознесення

Контролюється: відстань між низькочастотними антенами засобу РЕБ та штатними антенами зв'язку.

Інженерний маркер норми: не менше 1,5 м; антени не перетинаються і не торкаються металевих конструкцій екрана.

Просторове рознесення антен – ключовий крок для забезпечення електромагнітної сумісності.

Головні вимоги до монтажу

1. Дистанція. Мінімальна відстань між низькочастотними антенами засобу РЕБ та антенами штатного зв'язку становить не менше 1,5 м.

2. Ізоляція. Антени не мають фізично перетинатися або торкатися металевих конструкцій екрана, щоб уникнути утворення рефлекторів і спотворення діаграми спрямованості.

Для ефективного функціонування комплексів радіоелектронної боротьби та недопущення приглушення власного зв'язку обов'язково дотримуйтеся:

1) частотного рознесення: рознесення робочих частот операторів та засобів РЕБ;

2) правильної орієнтації: розміщення антен засобу РЕБ на максимально можливій відстані від приймачів з огляду на вимоги до кабелів.

Етап 3. Кабельний контур (фідери)

Контролюється: цілісність коаксіальних кабелів (50 Ом) та екранованої крученої пари акустики.

Інженерний маркер норми: кабелі прокладені через гумові втулки в люках, зафіксовані стяжками; відсутні перегини під гострим кутом; траса акустики рознесена із силовою лінією засобу РЕБ на 20–30 см.

Необхідно виконати 3 головні кроки.

1. Перевірити й захистити кабелі:

– оглянути всі кабелі (коаксіальні та акустичні) по всій довжині на предмет порізів, тріщин, надривів ізоляції;

– у місцях, де кабелі проходять через металеві люки або отвори, обов'язково встановити гумові втулки (ущільнювачі), щоб метал не перерізав дроти;

– жорстко зафіксувати кабелі пластиковими стяжками до корпусу чи монтажних вушок, щоб вони не переміщувались і не перетиралися під час руху.

2. Контроль кутів вигину. Перевірити, чи немає різких, «ламаних» перегинів. Усі кабелі (особливо коаксіальні) прокладаються з плавним радіусом вигину. Перегин під гострим кутом пошкоджує екран кабелю та ламає центральну жилу.

3. Рознесення трас (захист від наведень):

– силові кабелі засобу РЕБ (живлення, високочастотні фідерні лінії) створюють сильне електромагнітне поле, що в разі прокладання акустичних кабелів (або кабелів керування) впритул до них може спричиняти електромагнітні завади, спотворення або втрату сигналу;

– прокладати трасу акустики на відстані 20–30 см від силових дротів і кабелів засобу РЕБ, оскільки вони не мають бути в одному джгуті.

Етап 4. Енергетичний блок

Контролюється: рівень заряду автономної $LiFePO_4$ АКБ та стан DCDC стабілізатора.

Інженерний маркер норми: напруга АКБ у межах норми; під час тестового запуску двигуна зелений індикатор стабілізатора не гасне; SDR-модулі не перезавантажуються.

Суть етапу полягає в перевірці надійності енергосистеми та відсутності просадок напруги. Система має забезпечувати безперебійне живлення чутливих модулів навіть у момент екстремальних навантажень (наприклад, запуск двигуна), щоб уникнути втрати даних або виходу обладнання з ладу.

На практиці це працює таким чином.

$LiFePO_4$ АКБ. Оцінюється поточний запас енергії для автономної роботи. Батарея не має бути розрядженою.

DC-DC стабілізатор. Контролює, щоб різкі стрибки навантаження не призводили до короткочасного вимкнення приладів.

Тест двигуном. Запуск двигуна створює величезне імпульсне короткочасне падіння напруги у бортовій мережі. Якщо індикатор стабілізатора залишається зеленим, а SDR-модулі продовжують працювати без перезавантаження, то живлення стабільне.

Етап 5. Тепловий контур

Контролюється: стан радіаторів SDR-блоків та вентиляції відсіку АКБ.

Інженерний маркер норми: решітки охолодження чисті від пилу/мастила; вентилятори працюють рівно, без сторонніх шумів.

Цей етап є критично важливим для запобігання перегріву та забезпечення стабільної роботи обладнання.

Для зручності наводимо чекліст перевірки теплового контуру, який допоможе швидко оцінити стан системи (табл. Е1).

Таблиця Е1 – Чекліст перевірки теплового контуру

Контрольований вузол	**Ознака норми (інженерний маркер)**	**Дії в разі відхилення**
Решітки охолодження SDR-блоків	Чисті, без слідів пилу, бруду та мастила	Продути стисненим повітрям або акуратно очистити сухою шкіркою
Вентилятори відсіку АКБ	Працюють рівно, плавно, без сторонніх шумів, тріску чи вібрації	Перевірити наявність сторонніх предметів, за потреби змастити підшипник або замінити кулер

Рекомендація. Перевірку доцільно проводити регулярно (особливо перед початком спекотного сезону або інтенсивними циклами навантаження). Запилені радіатори значно знижують ефективність охолодження, що може призвести до аварійного відключення або виходу обладнання з ладу.

Етап 6. Пасивний ешелон

Контролюється: чистота аеродинамічних обтічників (вітрозахисту) мікрофонної матриці.

Інженерний маркер норми: поролон або хутро акустичних датчиків сухі, очищені від бруду, снігу чи листя.

Цей етап забезпечує чутливість і точність системи акустичного виявлення (наприклад, FENEK або подібних акустичних сенсорів). Стан вітрозахисту безпосередньо впливає на здатність алгоритмів розпізнавати акустичні підписи повітряних і наземних загроз.

Правила обслуговування аеродинамічних обтічників (вітрозахисту)

Відсутність перешкод. Хутро або поролон мають бути очищені від листя, гілок чи снігу. Забруднення створюють додаткові перешкоди для звукової хвилі.

Вимога щодо вологи. Матеріал має бути сухим. Накопичена волога (дощ, роса чи розталий сніг) критично знижує провідність звуку та може призвести до спотворення частот.

Очищення та просушування. Регулярно перевіряйте стан датчиків, обережно струшуючи або очищуючи їх від сміття. Уникайте сильного механічного тертя, щоб не пошкодити захисну структуру.

Етап 7. Взаємодія з ПВС

Контролюється: наявність і справність внутрішнього зв'язку (СПУ) між спостерігачем і водієм.

Інженерний маркер норми: команда «Дрон ззаду, радіомовчання!» проходить чітко; водій знає сектор негайного протиінерційного маневру та стан готовності димової системи.

Етап передбачає перевірку готовності екіпажу до дій під загрозою атак ворожих БпЛА. Основні елементи контролю такі.

Справність СПУ: безперебійний та якісний внутрішній зв'язок між спостерігачем і водієм.

Чіткість команд: успішне проходження сигналу «Дрон ззаду, радіомовчання!».

Реакція водія: миттєва обізнаність щодо сектора протиінерційного маневру та контроль готовності димової системи.

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток

Виробничо-практичне видання

СУСЛОВ Роман Володимирович
ЛАХНЕНКО Євген Миколайович
УДОВЧЕНКО Олег Анатолійович

РОЗМІЩЕННЯ І ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ РЕБ НА ТЕХНІЦІ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Практичний порадник

Редактор *Я. М. Холоденко*
Комп'ютерне макетування *Д. В. Кубайчук*

Формат 60 × 90/16. Папір офсет. Умовн. друк. арк. 11,5. Наклад 26 прим. Зам. .
Видавець: Київський інститут Національної гвардії України.
Адреса: вул. Оборони Києва, 7, м. Київ, 03179 Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції Серія ДК № 7696 від 08.11.2022 р.