

УДК 621.396.677

О.В. Стаховський

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЛІНІЇ ПРИ ФУНКЦІОНАЛЬНОМУ УРАЖЕННІ РАДІОКЕРОВАНИХ ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЇВ. ТЕХНІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОТИДІЇ

*Проведено оцінку параметрів радіолінії при використанні радіокерованих вибухових пристроїв: робочої частоти, ширини спектру, чутливості приймача, втрат на трасі. Обґрунтовується використання надширокопasmових сигналів з шириною смуги 100 МГц ÷ 3 ГГц для блокування або функціонального ураження вибухових пристроїв. Наведено якісні оцінки по створенню засобів функціонального ураження.*

**Ключові слова:** радіокеровані вибухові пристрої, надширокопasmове радіозаглушення, функціональне ураження.

### Вступ

**Аналіз літератури.** Статистика показує, що на цей час радіокеровані вибухові пристрої (РКВП) знаходять все більше застосування при проведенні терористичних акцій. Найчастіше РКВП використовують при нападі на транспортні військові колони – автомобілі, бронетехніку та ін. Не виключена і можливість їхнього застосування проти стаціонарних об'єктів військового і цивільного призначень або об'єктів особливої важливості (АЕС, хімічні заводи, телецентри, в'язниці тощо). Заряди можуть встановлюватися на різних ділянках дороги, конструкціях мостів, шляхопроводів, тунелів та інших дорожніх об'єктах; не виключено закладання вибухових речовин в автомобілях і укриттях, розташованих поблизу від об'єкта ураження [1]. Протистояти подібним диверсіям значно складно, тим більше, що останнім часом завдяки широкому розвитку радіоелектроніки терористи отримали можливість виготовляти радіолінії в домашніх умовах. До їхніх послуг випускаються промисловістю функціонально закінчені модулі, дешеві радіокомпоненти, а також вже готові вироби, в яких використаний принцип радіоуправління (радіомоделі, автосигналізації, пейджери тощо) [2].

**Метою статті** є аналіз технічних можливостей протидії РКВП шляхом їх функціонального ураження.

### Основна частина

Як показує світова статистика, більш ніж в 97% РКВП, застосованих терористами, радіолінія будувалася на базі загальнодоступної апаратури, що випускається промисловістю для дистанційного керування різними моделями. Розподіл радіочастот, виділених в різних країнах для радіоуправління згідно "регламенту радіозв'язку", охоплює ділянки частотного діапазону від 20 до 500 МГц. Мобільні радіостанції загального застосування, системи пейджингового та стільникового (мобільного) зв'язку працюють в окремих ділянках частот до 2000 МГц, які

виділені також для наукових, промислових і медичних цілей. В даний час інтенсивно освоюється діапазон частот 2300-2400 МГц. Найбільш вірогідним частотним діапазоном для РКВП є освоєний діапазон до 1000 МГц, також, ймовірно, в даний час застосування розширеного діапазону до 2000 МГц, в перспективі слід очікувати розширення діапазону РКВП до 3000 МГц [2].

Дальність дії РКВП залежить від енергетичного потенціалу передавача і чутливості приймача. Енергетичний потенціал являє собою добуток значень потужності вихідного підсилювача передавача і коефіцієнта посилення випромінюючої антени.

У переносному варіанті виконання передавальної частини вихідна потужність передавача може становити від часток до одиниць Вт. При подачі команди на підрив з автомобіля може використовуватися автомобільна радіостанція загального застосування, вихідна потужність якої може досягати декількох десятків Вт. У цьому випадку дальність дії РКВП може бути значно більше, ніж для переносного передавача. Ефективне посилення передавальної і приймальної антен визначається конструкцією і їх допустимими розмірами. Більшість антен, використаних в РКВП, є антенами штирового типу і виконані у вигляді телескопічних антен або відрізків проводів. У більшості випадків розміри антен не відповідають  $0,5\lambda$  ( $\lambda$  - робоча довжина хвилі), а значно коротше, так як необхідно забезпечити їх скритність. У діапазоні частот 20 – 100 МГц розміри антен складають не більше  $(0,05...0,1) \lambda$ , що визначає їх низьку ефективність. У більш високочастотному діапазоні розміри антен наближаються до  $0,5\lambda$ , а на частотах 200...500 МГц часто застосовуються рамкові антени з розмірами витків порядку  $25 \times 50$  мм. Відзначимо, що неоптимальність розмірів антен призводить до того, що їх ефективне посилення становить не більше 6 дБ.

Втрати потужності сигналу на трасі можуть бути розділені на поляризаційні і дальнісні. Поляризаційні втрати викликані неоптимальним розташу-

ванням випромінюючої і приймальної антен відносно один одного, щоб виконати вимоги на скритність їх розміщення. У цьому випадку додаткові втрати можна оцінити величиною 3 дБ.

Через близькість траси поширення радіосигналів РКВП до земної поверхні напруженість електричного поля сигналу зменшується пропорційно 2-го ступеня замість 1-го для випадку розповсюдження у вільному просторі [3]:

$$E_{\text{нб}} = \frac{4\pi\sqrt{90P_{\text{изл}}G}}{\lambda} \frac{H_{\text{прд}}H_{\text{прм}}}{R_{\text{нб}}^2}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{изл}}$  – випромінююча пікова потужність засобу;  $G$  – коефіцієнт посилення антени;  $\lambda$  – робоча довжина хвилі;  $H_{\text{прд}}$ ,  $H_{\text{прм}}$  – висота підйому антенних систем передавача і приймача перешкод;  $R_{\text{нб}}$  – відстань між постановником перешкод і приймачем РКВП.

У РКВП можуть використовуватися приймачі, зібрані по супергетеродинній або надрегенеративними схемами. Останні мають високу чутливість, але дещо поступаються супергетеродинним за рівнями шумів і стабільності роботи, одночасно перевершуючи їх по габаритам, масі і енергоспоживанню. Узгоджені зі спектром командного сигналу смути пропускання приймачів по високій частоті складають 5...20 кГц для супергетеродинних і 200...300 кГц для надрегенеративних приймачів. Найбільш вірогідне очікуване значення чутливості приймачів становить від 2 до 10 мкВ при відстанях дії 100...300 м [2]. Зазначені параметри РКВП в істотному ступені визначають можливість протидії проведенню диверсійних акцій.

*Особливості радіоелектронного заглушення і ураження РКВП.* Умови радіоелектронного заглушення і функціонального ураження (ФУ) РКВП можуть бути охарактеризовані наступними факторами [2]:

- невизначеністю місця розташування об'єкта заглушення;
- невизначеністю частоти роботи РКВП;
- короткочасністю роботи РКВП;
- високою ціною ризику неефективного заглушення;
- небезпекою радіоелектронного заглушення засобів зв'язку.

Невизначеність місця розташування вимагає випромінювання перешкод в усіх напрямках, що визначає необхідність застосування ненаправлених передавальних антен і забезпечення високих рівнів потужності перешкоди на вході антени. Звуження просторової невизначеності, наприклад, у випадку інспекції об'єктів, місце розташування яких точно відомо, дозволяє застосовувати направлені антени, що забезпечує істотне підвищення рівня випромінюючої потужності перешкоди, а отже підвищує надійність захисту інспектуючого персоналу від ураження вибухом.

Оператору передавача перешкод відомий тільки передбачуваний частотний діапазон, в якому знаходиться робоча частота РКВП, що вимагає створення перешкод у всьому частотному діапазоні. Таким чином, перешкода повинна носити характер загороджувальної, яка енергетично менш вигідна, ніж прицільна за частотою перешкоди.

Тривалість роботи РКВП визначається тривалістю разової команди, яка може досягати не більше одиниць секунд. У розпорядженні оператора передавача перешкод занадто мало часу для перехоплення сигналу команди і формування на цій частоті прицільної перешкоди. Отже, при радіоелектронному заглушенні РКВП необхідно орієнтуватися на безперервне випромінювання широкосмугової загороджувальної перешкоди. За наявності оперативної інформації про частоту РКВП можливе застосування і прицільної по частоті завади з більш високою ефективністю.

Робочі частоти РКВП знаходяться в діапазоні, насиченому каналами зв'язку та мовлення. Тому при заглушенні радіолінії можливе втручання в роботу цих радіоканалів в деякій зоні навколо апаратури створення перешкод. Однак основний вплив перешкоди зробить на засоби зв'язку, розташовані в безпосередній близькості від апаратури. При необхідності забезпечення радіозв'язку доцільним є використання тимчасового розносу роботи засобів зв'язку та засобів функціонального ураження (зглушення) РКВП.

*Показники ефективності радіоелектронного заглушення і функціонального ураження РКВП.* Передавач перешкод створює навколо себе зону безпеки, в якій забезпечується ефективне заглушення приймача РКВП. Так як в РКВП в передавачі перешкод передбачається використання всеспрямованої антени, то зона безпеки за своєю формою в азимутальній площині близька до окружності, центр якої збігається з місцем розташування радіовибухового пристрою.

Ефективність передавача перешкод може бути оцінена за величиною відстані від місця закладки вибухового пристрою до передавача перешкод  $D$ , при якому забезпечується заглушення радіолінії або поразка елементів приймального тракту (не відбувається спрацьовування виконавчого пристрою РКВП), для деякого заданого відстані між  $D_1$  передавачем сигналів управління і місцем закладки [2]:

$$K = D/D_1.$$

Коефіцієнт  $K$  є функцією параметрів передавача перешкод і РКВП і не залежить від їх взаємного розташування. Для широкосмугової завади і розташування антен приймача і передавача перешкод поблизу поверхні землі, показник ефективності захисту визначається у вигляді:

$$K = \left( \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}} \Delta f_{\text{пр}} \gamma}{\alpha P G \Delta f_{\text{п}}} \right)^{1/4}, \quad (2)$$

де  $P_G$  – енергетичний потенціал передавача РКВП;  $P_n G_n$  – енергетичний потенціал передавача перешкод;  $\Delta f_{\text{пр}}$  – ефективна смуга пропускання лінійної частини приймача РКВП;  $\Delta f_n$  – ширина спектру перешкоджаючого сигналу;  $\gamma$  – коефіцієнт поляризації;  $\alpha$  – граничне відношення сигнал / перешкода на вході приймача РКВП, при якому настає його заглушення.

Коефіцієнт захисту буде тим більше, чим вище випромінювана потужність передавача перешкод і чим вузше спектр завади. За допомогою цього показника для кожної тактичної ситуації, яка характеризується мінімальною відстанню, на яку може наблизитися терорист до місця диверсії, можна розрахувати дальність захисту, забезпечуваний передавачем перешкод. Коефіцієнт  $K$  при однакових параметрах РКВП дозволяє об'єктивно порівнювати різні типи передавачів перешкод по ефективності блокування або функціонального ураження РКВП. Практичний інтерес представляє значення дальності захисту, безпечної для особи, що охороняється або об'єкта. Очевидно, що дальність захисту повинна перевищувати радіус зони ураження бойової частини радіовибухового пристрою.

Типова дальність фугасного ураження при потужності заряду 100...500 г тротилу становить 2...5 м. Тому мінімальна дальність захисту повинна бути прийнята не менше 10 м, а максимальна - не більше 20 м. При знаходженні терориста від місця закладки вибухового пристрою на 50 м, коефіцієнт захисту повинен бути не менше 0,2 ... 0,4 залежно від потужності заряду. При знаходженні терориста на 100 м можна використовувати передавач перешкод з коефіцієнтом захисту 0,1 ... 0,2.

З визначення коефіцієнта захисту випливає, що збільшення зони безпеки може бути досягнуто за рахунок збільшення енергетичного потенціалу передавача перешкод, збільшення якості перешкоди і зменшення ширини спектру перешкод. Збільшення якості перешкод має фізичну межу. Тому збільшення зони безпеки може бути досягнуто тільки за рахунок застосування передавача перешкод з більшою вихідною потужністю і з великим коефіцієнтом посилення передавальної антени.

В якості показника ефективності функціонального подавлення доцільно прийняти мінімальну потужність випромінюючого перешкоджаючого сигналу, достатню для блокування приймального пристрою РКВП з урахуванням динамічного діапазону приймача. В якості показника ефективності функціонального ураження доцільно прийняти мінімальну потужність випромінюючого для ФУ перешкоджаючого сигналу, достатнього для виведення з ладу напівпровідникових елементів приймального пристрою РКВП.

*Основні принципи побудови засобів створення загороджувальних і руйнівних перешкод РКВП.* Проведений вище аналіз параметрів радіоліній

управління вибуховими пристроями дає можливість зробити такі основні висновки.

Актуальність проблеми примушує шукати і аналізувати різні способи протидії радіоуправляючим засобам тероризму, в тому числі і радіотехнічними методами. Для протидії РКВП можуть бути використані методи радіозаглушення і функціонального ураження. Функціональне ураження РКВП здійснюється потужними одиночними імпульсами, що викликають руйнування вхідних ланцюгів приймача.

Радіозаглушення РКВП перешкодами може здійснюватися шляхом порушення її нормального функціонування, що викликає відмову у виконанні команди. Для радіозаглушення РКВП можуть бути використані прицільні або загороджувальні перешкоди. Як зазначалося вище, прицільна перешкода має значний енергетичний вигравш в порівнянні з загороджувальною, але для її реалізації необхідна інформація о значенні частоти, на якій працює радіоелектронний засіб який подавлюється. Отримання такої інформації пов'язане з витратами часу на виявлення небезпечного сигналу і вимір його частоти. При широкосмуговій загороджувальній перешкоді потужність випромінюється у всьому заданому діапазоні частот. Несуча частота, використана терористом, і тип його апаратури в цьому випадку не береться до уваги. Основними недоліками при цьому є можливе порушення роботи каналів зв'язку в умовах поразки перешкодою всіх частот і зниження дальності захисту, оскільки потужність передавача перешкод розподілена по широкому діапазону частот, включаючи і дзеркальні канали приймальних пристроїв. Загороджувальна перешкода ускладнює терористові пошук вільних частотних ділянок для вибору робочих частот РКВП.

В якості широкосмугової загороджувальної або руйнівної перешкоди можливе використання надширокосмугових (НШС) сигналів наносекундної тривалості [4]. В даний час проведені теоретичні дослідження і створені надширокосмугові радіотехнічні системи (РТС) різного призначення.

Основу таких систем складає тракт формування, випромінювання та обробки НШП сигналів відеоімпульсного типу, що представляє собою досить відпрацьоване технічне рішення. Його особливістю є широка смуга частот 0 ... 5 ГГц. Тому такий тракт може бути покладений в основу і при розробці і створенні конкурентоздатних засобів блокування і функціонального ураження РКВП.

Найбільш перспективними НШС системами є системи дискретно-безперервної дії, що використовують суміщений ємнісний накопичувач енергії з пристроєм формування з використанням генераторів імпульсних напруг Аркадьєва-Маркса [5, 6] і узгоджену з ним антенну систему, що дозволяє випромінювати електромагнітні імпульси високої інтенсив-

ності з напруженістю електричного поля до декількох кВ/м і тривалістю фронту близько 100 пс [7].

Формувач НШС сигналів може бути також виконаний на перспективній аналоговій і цифровій елементній базі, що дозволяє за допомогою цифрового управління не тільки здійснювати контроль функціонування передавача, але й оперативно змінювати параметри і режими створення перешкод, включаючи регулювання випромінюваної потужності, необхідної для радіозаглушення приймального пристрою РКВП. В якості перешкод РКВП можуть бути використані або одиночні НШС сигнали, або послідовності НШС сигналів малої шпаруватості.

Енергетичний потенціал встановлювача перешкод залежить від потужності перешкоди і коефіцієнта посилення антени, визначеного шириною її діаграми спрямованості (ДС). Використання всеспрямованих антен штир'яного типу призводить до зниження енергетичного потенціалу засобів подавлення РКВП. Тому для ФУ радіопідричників доцільним є застосування засобів ФУ з ДС голчастого типу, ширина головної пелюстки яких буде достатньою для перекриття, наприклад, ширини траси маршруту руху колони автотехніки. При цьому повинна бути передбачена можливість секторного огляду або механічно керованого обертання такої антени по азимуту, що припускає зниження випромінюваної потужності в напрямках, відмінних від напрямку головного максимуму діаграми спрямованості ДС. Це відіграє істотну роль при захисті обслуговуючого персоналу від електромагнітного випромінювання.

Для захисту військових колон, стаціонарних об'єктів особливої важливості військового і цивільного призначень доцільно антенний пост виносити на дах об'єкта, що захищається, або розташовувати на бронетранспортері. Це дає можливість використовувати крупноапертурні, наприклад, дзеркальні антени, розміри яких дозволяють ефективно випромінювати низькочастотні складові спектри переш-

код. Для усунення втрат з поляризації необхідно використовувати антени з круговою поляризацією [7]. Цього можна добитися, якщо в якості опромінювача дзеркальної антени використовувати спіральну конічну антену.

## Висновки

Проведено аналіз технічних шляхів реалізації засобу ФУ радіокерованих вибухових пристроїв. Обґрунтовано використання надширококутових сигналів. В якості генератора доцільно використовувати генератор Аркадьєва-Маркса, в якості антени – дзеркальну антену з круговою поляризацією.

## Список літератури

1. Щербаков Г.Н. Средства обнаружения управляемых взрывных устройств / Г.Н. Щербаков // Специальная техника. – 2000. – № 5. – С. 38-41.
2. Хабаров В.Б. Еще раз о перспективах развития радиоуправляемых взрывных устройств и способов борьбы с ними / В.Б. Хабаров // Специальная техника. – 2004. – № 1. – С. 16-24.
3. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1972. – 464 с.
4. Астанин Л.Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений / Л.Ю. Астанин, А.А. Костылев. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
5. Искровой сверхвысокочастотный генератор-излучатель высокой пиковой мощности / К.П. Грачев, Н.Н. Гривцов, И.И. Есаков, К.В. Ходатаев // Радиотехника и электроника. – 1994. – Вып. 12. – С. 2044-2049.
6. Studies of electromagnetic radiation of ultra-short duration pulse interference on UHF electronics devices / N.P. Gadetski, I.I. Magda, K.A. Kravtsov [and oth.] // AMEREM'96 Conference, Book of Abstracts. Albuquerque, USA. – 1996. – P. 79.
7. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие / В.И. Кравченко. – Х.: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.

Надійшла до редколегії 21.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛИНИИ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ПОРАЖЕНИИ РАДИОУПРАВЛЯЕМЫХ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

А.В. Стаховский

*Проведена оценка параметров радиолинии при использовании радиоуправляемых взрывных устройств: рабочей частоты, ширины спектра, чувствительности приемника, потерь на трассе. Обосновывается использование сверхширокополосных сигналов с шириной полосы 100 Мгц 3 Ггц для блокировки или функционального поражения взрывных устройств. Приведены качественные оценки по созданию средств функционального поражения.*

**Ключевые слова:** радиоуправляемые взрывные устройства, сверхширокополосное радиозаглушение, функциональное поражение.

## EVALUATIONS OF PARAMETERS OF RADIOLINE AT FUNCTIONAL DEFEAT OF RADIO-CONTROLLED EXPLOSIVE DEVICES. FEASIBILITIES OF COUNTERACTION

O.V. Stakhovskiy

*The estimation of parameters of radiolines is conducted at the use of radio-controlled explosive devices: working frequency, width of spectrum, sensitiveness of receiver, losses on a route. The use of superwideband signals is grounded with the width of band 100 Mhz 3 Ggc for blocking or functional defeat of explosive devices. High-quality estimations are resulted on creation of facilities of functional defeat.*

**Keywords:** radio-controlled explosive devices, superwide-streakiness, functional defeat.