УДК 621.396.67

В. В. Вознюк

ШВИДКИЙ ТА ДЕШЕВИЙ ПОЛЬОВИЙ РЕМОНТ АНТЕН ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШИРОКОСМУГОВИХ БІКОНІЧНИХ АНТЕН

Анотація. *Розглянуто проблему виходу з ладу антен засобів радіозв'язку та радіоприймальної апаратури, встановлених на легкобронюваній та колісній техніці (пікапах, MRAP тощо). Запропоновано як засіб швидкого відновлення працездатності замінювати пошкоджені квадрифілярні антени, антени типу «конюшина» та диполі на широкосмугові біконічні антени, які виготовляються з двох однакових металевих стаканів або цеберок, відрізків коаксіального кабелю та роз'ємів. Наведено співвідношення для вибору розмірів антени, порядок її виготовлення та перевірки за коефіцієнтом стоячої хвилі за напругою.*

Ключові слова: *біконічна антена, польовий ремонт, військова техніка, широкосмугова антена, КСХН.*

Annotation. *The paper considers the problem of failure of antennas of radio communication and receiving equipment installed on light armoured and wheeled vehicles (pickups, MRAPs, etc.). As a means of rapid restoration of operability, it is proposed to replace damaged quadrifilar, cloverleaf and dipole antennas with broadband biconical antennas made of two identical metal cups or buckets, coaxial pigtails and connectors. Relations for choosing antenna dimensions, the manufacturing procedure and verification by voltage standing wave ratio are given.*

Keywords: *biconical antenna, field repair, military vehicles, broadband antenna, VSWR.*

В умовах ведення бойових дій антенні системи, встановлені на зовнішніх поверхнях військової техніки, належать до елементів, що найчастіше зазнають пошкоджень. Антени засобів зв'язку, приймачів відеосигналу та командних радіоліній безпілотних систем, апаратури радіоелектронної розвідки ушкоджуються уламками, стрілецьким вогнем, гілками дерев під час руху, а також через вібрацію та вплив вологи. Особливо вразливими є квадрифілярні антени та антени типу «конюшина», які мають тонкі дротові елементи складної просторової форми, а також штирові та дипольні антени з пластиковими обтічниками. Пошкодження антени призводить до різкого зростання коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН), зменшення дальності зв'язку, а в окремих випадках – до виходу з ладу вихідних каскадів передавача.

Заміна пошкодженої антени на штатну потребує часу на її доставку з тилових складів, а вартість фабричних антен для техніки є значною. Тому актуальним є пошук рішень, що дозволяють відновити працездатність радіоканалу силами екіпажу або ремонтного підрозділу безпосередньо в польових умовах, з використанням доступних матеріалів і без спеціального обладнання.

Одним із таких рішень є використання біконічної антени. Біконічна антена являє собою два провідні конуси, розташовані співвісно вершинами один до одного, між якими розміщується точка живлення [1, 2]. Завдяки плавній зміні поперечного розміру випромінювачів така антена має широку смугу пропускання (у кілька разів за частотою), кругову діаграму спрямованості в азимутальній площині та вертикальну поляризацію при вертикальному розташуванні осі. Хвильовий опір нескінченної біконічної лінії визначається кутом розкриву конусів [1, 3]:

$$Z_0 = 120 \ln \operatorname{ctg}\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad (1)$$

де θ – половина кута розкриву конуса (кут між віссю та твірною). Для узгодження з кабелем 50 Ом відповідно до (1) потрібен кут $\theta \approx 67°$, однак на практиці прийнятне узгодження в широкій смузі частот забезпечують і випромінювачі у формі зрізаних конусів із меншим кутом розкриву, а також «товсті» диполі [2, 4].

Саме такою конструкцією є пара однакових металевих стаканів або цеберок, розташованих співвісно днищами один до одного з невеликим зазором. Кожна ємність утворює зрізаний конус із великим відношенням діаметра до довжини, що забезпечує широкосмуговість.

Нижня робоча частота антени визначається її загальною довжиною L (сумою висот двох ємностей і зазору) і може бути орієнтовно оцінена за співвідношенням

$$f_{\min} \approx (0{,}4 \ldots 0{,}5)\frac{c}{L}, \quad (2)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла. Менше значення коефіцієнта відповідає більш «товстим» випромінювачам. Вище нижньої граничної частоти КСХН антени зберігається на прийнятному рівні у смузі, що в кілька разів перевищує f_{min}. Таким чином, вибір ємності визначається частотним діапазоном радіозасобу, антену якого потрібно замінити (табл. 1).

Таблиця 1 – Орієнтовні розміри біконічної антени залежно від типу ємностей

Тип ємності	**Висота однієї ємності, см**	**Загальна довжина L, см**	**Орієнтовна f_{min}, МГц**
Металевий стакан (кухоль)	10	21	570–710
Металева банка 0,5–1 л	15	31	390–480
Цеберко 5 л	21–22	44	270–340
Цеберко 10–12 л	29–30	60	200–250

Для виготовлення антени потрібні: дві однакові металеві ємності (бажано з нержавіючої сталі або алюмінію), відрізок коаксіального кабелю (пігтейл) з роз'ємом типу, відповідного радіозасобу (SMA, TNC, N, BNC), діелектрична вставка між ємностями (відрізок пластикової труби, текстоліт), кріпильні елементи, термоусадна трубка та герметик. З інструментів достатньо дриля, паяльника (або обтискного інструмента для клемного з'єднання) та ключів.

Порядок виготовлення є таким. У центрі днища кожної ємності свердлиться отвір. Ємності встановлюються днищами одна до одної на діелектричну вставку з зазором 5–15 мм (менший зазор – для вищих частот). Кабель пропускається через отвір нижньої ємності; центральна жила з'єднується з днищем верхньої ємності, а обплетення – з днищем нижньої. Місця з'єднань ізолюються та герметизуються. Оскільки біконічна антена є симетричною, а коаксіальний кабель – несиметричним, на кабель безпосередньо біля точки живлення доцільно встановити кілька феритових кілець або клямп для придушення синфазних струмів по обплетенню. Нижня ємність кріпиться до штатного кронштейна або магнітної основи на корпусі техніки. Повний цикл виготовлення займає не більше однієї години.

Під час монтажу антени на техніці слід враховувати вплив металевого корпусу. Антену доцільно розміщувати якомога вище над дахом або кузовом, оскільки близькість великих металевих поверхонь спотворює діаграму спрямованості та зміщує частоти узгодження. Відстань від біконічної антени до інших антен на тому самому корпусі бажано обирати не меншою за половину довжини хвилі на нижній робочій частоті, щоб зменшити їх взаємний вплив і проникнення сигналу власного передавача у вхідні кола приймачів. Кабель від антени до радіозасобу має бути якомога коротшим, оскільки на частотах у сотні мегагерц і вище втрати в тонких коаксіальних кабелях стають суттєвими.

Важливим є захист конструкції від впливу вологи та бруду. Верхня ємність, розташована відкритою частиною догори, накопичує дощову воду, тому в її стінці біля днища свердлиться дренажний отвір або відкрита частина закривається пластиковою кришкою. Нижня ємність розташовується відкритою частиною донизу і такого захисту не потребує. Для зменшення помітності антену можна пофарбувати матовою фарбою в колір корпусу техніки; тонкий шар фарби на металевих поверхнях практично не впливає на електричні характеристики. Порівняно з тонкими дротовими елементами квадрифілярних антен та антен типу «конюшина», металеві ємності мають значно вищу механічну міцність і краще витримують удари гілок та вібрацію під час руху.

Економічна доцільність запропонованого рішення визначається тим, що вартість матеріалів для виготовлення однієї біконічної антени (дві ємності, відрізок кабелю, роз'єми та кріплення) у багато разів менша за вартість фабричних антен для військової техніки, а витрати часу обмежуються годиною роботи одного виконавця. Крім того, усі необхідні матеріали є загальнодоступними і можуть бути придбані у господарських магазинах або знайдені на місці.

Це особливо важливо в умовах, коли постачання штатних антен затримується, а техніка повинна залишатися в строю.

Для підвищення оперативності ремонту доцільно заздалегідь виготовити та перевірити набір біконічних антен для типових частотних діапазонів радіозасобів підрозділу, укомплектувати їх перехідниками між роз'ємами різних типів і включити до ремонтного комплекту техніки. Результати вимірювання КСХН кожної антени доцільно фіксувати у паспорті антени із зазначенням робочої смуги частот. Це дозволяє екіпажу виконати заміну пошкодженої антени за кілька хвилин без додаткових вимірювань.

На характеристики антени впливають також форма та матеріал ємностей. Ємності з більшим діаметром відносно висоти забезпечують ширшу смугу узгодження, а ємності, що звужуються до днища, наближають конструкцію до класичної біконічної антени та покращують узгодження на вищих частотах. Ємності для однієї антени повинні бути однаковими за формою та розмірами, інакше порушується симетрія і погіршується КСХН. Під'єднання кабелю до днищ з нержавіючої сталі, яка погано паяється, доцільно виконувати не пайкою, а болтовим з'єднанням через кабельний наконечник із шайбою, що одночасно забезпечує механічну міцність вузла живлення.

Перед встановленням антени на техніку доцільно оцінити її роботу в реальних умовах: перевірити дальність зв'язку з кореспондентом або рівень прийнятого сигналу та порівняти їх із показниками справної штатної антени. Якщо КСХН у потрібній смузі виявився вищим за допустимий, слід змінити зазор між ємностями, перевірити якість з'єднань і довжину неекранованих ділянок кабелю біля точки живлення, яка повинна бути мінімальною, або обрати ємності іншого розміру відповідно до табл. 1.

Після встановлення антени обов'язково здійснюється перевірка КСХН у робочому діапазоні частот, наприклад, за допомогою портативного векторного аналізатора кіл. КСХН визначається через коефіцієнт відбиття Г, який залежить від вхідного опору антени Z_A та хвильового опору кабелю Z_0 [1]:

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}, \quad \text{КСХН} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}. \tag{3}$$

Для більшості радіозасобів прийнятним вважається КСХН ≤ 2, що відповідає втраті на відбиття близько 11 % потужності. За необхідності узгодження покращується зміною зазору між ємностями.

Слід враховувати обмеження запропонованого рішення. Квадрифілярні антени та антени типу «конюшина» мають кругову поляризацію, а біконічна антена – лінійну, що призводить до поляризаційних втрат близько 3 дБ. Для тимчасового відновлення каналу зв'язку чи приймання відеосигналу ці втрати, як правило, є прийнятними. Біконічна антена з ємностей побутових розмірів не придатна для діапазону 30–88 МГц, оскільки потребує надто великих розмірів. Для приймачів супутникової навігації заміна недоцільна через потребу в круговій поляризації та вбудованому малошумному підсилювачі.

Простота конструкції, доступність матеріалів і час виготовлення до однієї години роблять таке рішення придатним для польового ремонту силами екіпажів та ремонтних підрозділів.

Список використаних джерел:

1. Balanis C. A. Antenna Theory: Analysis and Design. 4th ed. Hoboken : Wiley, 2016. 1104 p.

2. Kraus J. D., Marhefka R. J. Antennas for All Applications. 3rd ed. New York : McGraw-Hill, 2002. 938 p.

3. Schelkunoff S. A., Friis H. T. Antennas: Theory and Practice. New York : Wiley, 1952. 639 p.

4. Volakis J. L. (ed.) Antenna Engineering Handbook. 4th ed. New York : McGraw-Hill, 2007. 1872 p.

Вознюк Володимир Володимирович *– Аспірант, Кафедра програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій Національний університет «Одеська*

політехніка», пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044 ,E-mail: 8712105@as.op.edu.ua , ORCID: https://orcid.org/0009-0003-0167-0137

Volodymyr Vozniuk Volodymyrovich *- PhD Student , Department of software and computer-integrated technologies, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044, E-mail: 8712105@as.op.edu.ua , ORCID: https://orcid.org/0009-0003-0167-0137*