

Загора О.В., канд. тех. наук, доцент, старший викладач Національного університету цивільного захисту України,
Фещенко А.Б., к.т.н., доцент, доцент Національного університету цивільного захисту України

МАЛОГАБАРИТНА АНТЕНА ПОРТАТИВНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИМІРЮВАЧА ТОВЩИНИ ЛЬОДУ

Більшість водойм України протягом холодної пори року покрито льодом. Мінімальне значення товщини льоду, при якому забезпечується безпечно подолання людиною і легким автотранспортом крижаних переправ, становить від 5 до 15 см. Визначення товщини льоду необхідно для пошуку переправ, побудови карт льодового покриву району надзвичайної ситуації (НС) для організації пошуково-рятувальних робіт та в інших аналогічних ситуаціях. Оперативне вирішення цих завдань можливе при використанні портативних радарів - радіолокаційних станцій підповерхневого зондування (РЛСПЗ), встановлених на автомобілях, безпілотних літальних апаратах (БЛА) або виконаних у переносному (носимому) варіанті. Оскільки можливості таких вимірювачів в значній мірі визначаються властивостями і характеристиками антенних систем, що застосовуються, вибір малогабаритної антени портативного радіолокаційного вимірювача є актуальним завданням при розробці (вборі) і моделюванні ефективності функціонування подібних систем.

В роботі [1] запропоновано методичне забезпечення і приклад роботи системи мобільного моніторингу, що має в складі БЛА, при оцінці характеристик НС. У роботі [2] досліджено залежність форми зонduючого сигналу на точність радіолокаційних вимірювачів товщини льоду; відзначений, зокрема, відносно вузький (приблизно від 25 до 200 МГц) діапазон радіопрозорості льоду. У [3] дана класифікація льодів, заснована на динаміці вод, розмірі водної поверхні і під час розвитку крижаного покриву, досліджені можливості безконтактних оперативних вимірювань товщини льоду за допомогою багатофункціонального портативного радара. В [4] проведено обґрунтування вимог до енергетичного потенціалу РЛСПЗ і основних характеристик зонduючих сигналів. Показано, зокрема, що потужності передавача в 1 Вт може бути достатньо для виконання відповідних вимірювань на висоті до 500 м.

Ринок антенних систем в наш час пропонує значну кількість вимірювальних антен вітчизняних і зарубіжних фірм-виробників, що відрізняються за своїм призначенням, діапазоном робочих частот, які представляють широкий спектр конструктивних рішень. Зазвичай виробники в технічній документації вказують конкретне призначення і технічні умови, вимогам яких відповідає та чи інша антена. Інтерес для фахівців представляє вибір найбільш ефективної антени при її мінімальній вартості.

Говорячи про ефективність вимірювальна антена слід чітко окреслити цілі та умови, в яких антена буде застосовуватися. У разі вимірювання товщини льоду мобільним радіолокаційним вимірювачем зростає роль як власне електричних, так і тактичних характеристик приладу (вага, габарити, вітровий опір та ін.). Вибираючи діапазон антени необхідно враховувати, що особливістю сучасних портативних радарів є використання в якості зонduючого сигналу коротких імпульсів без несучої частоти, що мають властивості широкопasmових сигналів [3]. Спрямованість антени також може істотно впливати на енергетичний потенціал РЛСПЗ [4]:

$$N_{дБ} = 10 \log(P_{прд}/P_{прм}) \approx 17 + 20 \log(H) - 20 \log(n) - 10 \log(K) \approx \approx 17 + 20 \log(H) - 10 \log(K), \quad (1)$$

де $P_{прд}$ - потужність зонduючого сигналу,
 $P_{прм}$ - чутливість приймача,

K – коефіцієнт спрямованої дії (КСД) антени;

$n \approx 1$ – середній коефіцієнт відбиття;

H – висота польоту.

Бачимо, що підвищення КСД антени дозволяє компенсувати втрати енергетичного потенціалу, які викликані збільшенням висоти вимірювань, обмеженням потужності передавача, що особливо важливо в умовах жорстких обмежень ваги РЛСПЗ при розміщенні на БЛА. Особливістю даного випадку є також те, що антена повинна поєднувати у собі спрямовані властивості з максимально можливою широкополосністю.

З теорії антенних систем відомо, що ефективність антени знаходиться у прямій залежності від її геометричних розмірів. Коефіцієнт посилення антени по відношенню до ненаправленого (ізотропному випромінювача) визначається за формулою:

$$G \approx \frac{4\pi S}{\lambda^2}, \quad (2)$$

де: S – еквівалентна площа антени;

$\lambda = c/f$ – довжина хвилі (c – швидкість поширення радіохвиль, f – частота) сигналу.

З формули (2) видно, що чим більше еквівалентна площа антени, тим більше коефіцієнт її посилення. Так, ширина головної пелюстки діаграми спрямованості пов'язана з лінійними розмірами наступним наближеним співвідношенням:

$$\Delta\Theta \approx \frac{50\lambda}{l}, \quad (3)$$

де: $\Delta\Theta$ – ширина головної пелюстки ДСА по рівню –3дБ, град;

l – лінійний розмір еквівалентної площадки у плоскості вимірювання ДСА.

Перетворив (3), отримаємо:

$$l \approx \frac{50\lambda}{\Delta\Theta} = 50 \frac{c}{f \cdot \Delta\Theta}. \quad (4)$$

Звідси випливає, що для антени з шириною ДНА в горизонтальній площині 60° еквівалентна майданчик матиме розмір по горизонталі 0,25 м для частоти 1 ГГц, а для частоти 100 МГц – вже 2,5 м. Розміри антени зворотно пропорційні частоті застосовуваного сигналу і визначаються даної частотою.

Ще одним важливим фактором, що визначає ефективність антени, є коефіцієнт корисної дії (ККД). У загальному випадку коефіцієнт посилення антени є добутком КСД антени і її ККД μ :

$$G = K \cdot \mu. \quad (5)$$

Тому недостатньо вибрати антену з великою еквівалентною площею, треба ще всю енергію, що падає на цю площу, з мінімальними втратами доставити до входу прийомо-передавача, до якого підключена антена.

У таблиці 1 наведено характеристики деяких конструкцій антен, що відповідають вимогам, які пред'являються.

Бачимо, що, наприклад, за коефіцієнтом посилення суттєву перевагу мають антени, розроблені на основі конструкції Вівальді. У той же час такі параметри, як ККД, вага і інші з тактичної групи в значній мірі визначаються матеріалами і технологіями, що використовуються виробником при їх виготовленні. Тому остаточне рішення щодо відповідності конструкції і характеристик антени пропонованим вимогам повинно прийматися за результатами натурних польових випробувань зразків, що пропонуються.

ТАБЛ.1.ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕН.

Назва (конструкція)	Робочий діапазон	Коефіцієнт стоячої хвилі	Габаритні розміри	Коефіцієнт підсилення, дБі, ДСА
антена Вівальді "Антрад-10"	0,6-8 ГГц	2,5	325 x 200 x 1.5 мм	до 13
Віальна антена	40-300 МГц	1,4-1,7		1,5 - 2
Широкопугова зигзагоподібна антена	вище 1 ГГц, 50-55% от F _{ср}	2		7 дБі, ширина ДСА 70° на 90°

Застосування портативного радара для вимірювань товщини льоду вимагає вибору антен, використовуваних локатором, за сукупністю технічних і експлуатаційних параметрів. Остаточний висновок про доцільність використання обраної конструкції антен може бути прийнятий в ході практичних досліджень її ефективності в реальних умовах експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кирочкин А.Ю. Использование системы мобильного мониторинга с беспилотным летательным аппаратом для оценки характеристик выброса опасной химического вещества /А.Ю.Кирочкин, А.А.Левтеров: Сборн.научн. трудов "Проблемы чрезвычайных ситуаций", № 15, С.72. – Х.: НУГЗУ, – 2012.

- Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol15/Kirochkin.pdf>

2. Оганесян А.Г. Влияние формы зондирующего сигнала на точность радиолокации слоистых сред. [Электронный ресурс] / А.Г.Оганесян, И.Б.Чайковский. // Журнал радиоэлектроники - 2001. - № 7. - Режим доступу: <http://jre.cplire.ru/alt/aug01/5/text.html> /

3. Многофункциональный портативный радар для измерения толщины льда. [Электронный ресурс] / Топольский Н.Г., Симаков В.В., Зеркаль А.Д., Серегин Г.М., Мокшанцев А.В., Агеев С.В.// Технологии техносферной безопасности – 2012. - № 1 (14) - Режим доступу: <http://uwbs.ru/wp-content/uploads/Статья-АГПС-МЧС.pdf>

4. Донцов В. Выбор широкополосных измерительных антенн в целях контроля эффективности защиты информации. [Электронный ресурс] / Донцов В.// Jet Info – 2008. - № 9. - Режим доступу: <http://www.jetinfo.ru/stati/vybor-shirokopolosnykh-izmeritelnykh-antenn-v-tselyakh-kontrolya-effektivnosti-zaschity-informatsii>

Zakora O.V., Ph.D, National University of Civil Defense of Ukraine

Feshchenko A.B., Ph.D, National University of Civil Defense of Ukraine

CHOOSING A SMALL-SIZED ANTENNA FOR PORTABLE RADAR ICE THICKNESS MEASURER

The recommendations on the choice of the portable radar antenna for measuring the thickness of ice at securing ice crossings in the area of emergency, as well as measures to save lives on the ice.