

*А.В. Загора, к.т.н., доцент, ст. преподаватель, НУГЗУ,
Е.Е. Селеенко, преподаватель, НУГЗУ,
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
А.Б. Фещенко, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

ВЫБОР МАЛОГАБАРИТНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА

(представлено д-ром техн. наук Чубом И.А.)

Разработаны рекомендации по выбору портативной антенны радиолокационного измерителя толщины льда при обеспечении безопасности ледовых переправ в районе чрезвычайной ситуации, а также мероприятий по спасению людей на льду.

Ключевые слова: радар, лёд, измерения толщины льда, антенна радара.

Постановка проблемы. Большинство водоёмов Украины в течение холодного времени года покрыто льдом. Минимальное значение толщины льда, при котором обеспечивается безопасное преодоление человеком и лёгким автотранспортом ледяных переправ, составляет от 5 до 15 см. Определение толщины льда необходимо для поиска переправ, построения карт ледового покрова района чрезвычайной ситуации (ЧС) для организации поисково-спасательных работ и в других аналогичных ситуациях. Оперативное решение данных задач возможно при использовании портативных радаров – радиолокационных станций подповерхностного зондирования (РЛСПЗ), установленных на автомобилях, беспилотных летательных аппаратах (БЛА) либо выполненных в переносном (носимом) варианте. Поскольку возможности таких измерителей в значительной степени определяются свойствами и характеристиками применяемых антенных систем, выбор малогабаритной антенны портативного радиолокационного измерителя является актуальной задачей при разработке (выборе) и моделировании эффективности функционирования подобных систем.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] предложено методическое обеспечение и пример работы системы мобильного мониторинга, имеющей в составе БЛА, при оценке характеристик ЧС.

В работе [2] исследована зависимость формы зондирующего сигнала на точность радиолокационных измерителей толщины льда; отмечен, в частности, относительно узкий (примерно от 25 до 200 МГц) диапазон радиопрозрачности льда.

В [3] дана классификация льдов, основанная на динамике вод,

размере водной поверхности и ходе развития ледяного покрова, исследованы возможности бесконтактных оперативных измерений толщины льда с помощью многофункционального портативного радара.

В работе [4] проведено обоснование требований к энергетическому потенциалу РЛСПЗ и основным характеристикам зондирующих сигналов. Показано, в частности, что мощности передатчика в 1 Вт может быть достаточно для выполнения соответствующих измерений на высоте до 500 м.

Постановка задачи и ее решение. Рынок антенных систем в настоящее время предлагает значительное количество измерительных антенн отечественных и зарубежных фирм-производителей, отличающихся по своему предназначению, диапазону рабочих частот, и представляющих широкий спектр конструктивных решений. Обычно производители в технической документации указывают конкретное назначение и технические условия, требованиям которых соответствует та или иная антенна. Интерес для специалистов представляет выбор наиболее эффективной антенны при её минимальной стоимости.

Говоря об эффективности измерительная антенна, следует четко обозначить цели и условия, в которых антенна будет применяться. В случае измерения толщины льда мобильным радиолокационным измерителем возрастает роль как собственно электрических, так и тактических характеристик прибора (вес, габариты, ветровое сопротивление и др.). Выбирая диапазон антенны необходимо учитывать, что особенностью современных портативных радаров является использование в качестве зондирующего сигнала коротких импульсов без несущей частоты, обладающих свойствами широкополосных сигналов [3]. Направленность антенны также может существенно влиять на энергетический потенциал РЛСПЗ [4]

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

где $P_{прд}$ – мощность зондирующего сигнала; $P_{прм}$ – чувствительность приёмника; K – коэффициент направленного действия (КНД) антенны; $n \approx 1$ – средний коэффициент отражения; H – высота полёта.

Видим, что повышение КНД антенны позволяет компенсировать потери энергетического потенциала, вызванные увеличением высоты измерений, ограничением мощности передатчика, что особенно важно в условиях жестких ограничений веса РЛСПЗ при размещении на БПЛА. Особенностью рассматриваемого случая является также то, что антенна должна сочетать в себе направленные свойства с максимально возможной широкополосностью.

Из теории антенных систем известно, что эффективность антен-

ны находится в прямой зависимости от ее геометрических размеров. Коэффициент усиления G антенны по отношению к ненаправленному (изотропному излучателю) определяется по формуле [5]

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

где S – эквивалентная площадь антенны; $\lambda=c/f$ – длина волны (c – скорость распространения радиоволн, f – частота) принимаемого сигнала.

Из формулы (2) видно, что чем больше эквивалентная площадь антенны, тем больше коэффициент ее усиления. Так, ширина главного лепестка диаграммы направленности связана с линейными размерами следующим приближенным соотношением

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

где $\Delta\Theta$ – ширина главного лепестка ДНА по уровню -3 дБ, град; l – линейный размер эквивалентной площадки в плоскости измерения ДНА.

Преобразовав (3), получим

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

Отсюда следует, что для антенны с шириной ДНА в горизонтальной плоскости 60° эквивалентная площадка будет иметь размер по горизонтали 0,25 м для частоты 1 ГГц, а для частоты 100 МГц – уже 2,5 м. Размеры антенны обратно пропорциональны частоте применяемого сигнала и определяются данной частотой.

Еще одним важным фактором, определяющим эффективность антенны, является коэффициент полезного действия (КПД). В общем случае коэффициент усиления антенны является произведением КНД антенны и её КПД μ

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

Поэтому недостаточно выбрать антенну с большой эквивалентной площадью, надо еще всю энергию, падающую на данную площадь, с минимальными потерями доставить ко входу приёмо-передатчика, к которому подключена антенна.

В таблице 1 приведены характеристики некоторых конструкций антенн, отвечающих предъявляемым требованиям [6-8].

Табл. 1. Основные характеристики широкополосных антенн

Название (конструкция)	Рабочий диапазон	Коэффици- ент стоячей волны	Габарит- ные раз- меры	Коэффициент усиления, дБи, ДНА
антенна Вивальди "Антрад-10"	0,6-8 ГГц	2,5	325 x 200 x 1.5 мм	до 13
Веерная антенна	40-300 МГц	1,4-1,7		1,5 - 2
Широкополосная зиг- загообразная антенна	выше 1 ГГц, 50-55% от F_{cp}	2		7 дБи, ширина ДНА 70° на 90°

Видим, что, например, по коэффициенту усиления существенным преимуществом обладают антенны, разработанные на основе конструкции Вивальди. В то же время такие параметры, как КПД, вес и другие из тактической группы в значительной степени определяются материалами и технологиями, используемыми производителем при их изготовлении. Поэтому окончательное решение о соответствии конструкции и характеристик антенны предъявляемым требованиям должно приниматься по результатам натурных полевых испытаний предлагаемых образцов.

Выводы. Мониторинг толщины ледового покрова необходим для предотвращения чрезвычайных ситуаций на воде. Применение портативного радара для измерений толщины льда требует выбора антенн, используемых локатором, по совокупности технических и эксплуатационных параметров. Окончательный вывод о целесообразности использования выбранной конструкции антенн может быть принят в ходе практических исследований её эффективности в реальных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

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». – Х.: НУГЗУ. – № 15. – 2012. – С. 72. – Режим доступа: <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 доступа: <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 доступа: <http://uwbs.ru/wp-content/uploads/Статья-АГПС-МЧС.pdf>.

4. Оганесян А.Г. О возможности создания орбитальной радиолокационной станции проникающего зондирования. [Электронный ресурс] / А.Г. Оганесян, И.Б. Чайковский // Журнал радиоэлектроники – 2000. – № 5. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/alt/may00/7/text.html>.

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

6. Сверхширокополосные печатные, рупорные антенны для георадаров, датчиков, измерительные антенны. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ledomer.ru/antennas>.

7. Широкополосные антенны. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://radiowolna.narod.ru/shyr.html>.

8. Пат. 2373619 Российская Федерация. Широкополосная зигзагообразная антенна. [Электронный ресурс] / Бесков О.А. – Заявитель и патентообладатель Фед.гос.унитар.пред. «Центр. науч.-исслед. ин-т химии и механики2. – № 2373619. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/237/2373619.html>.

О.В. Загора, Є.Є. Селєнко, Д.Л. Соколов, А.Б. Фещенко

Вибір малогабаритної антени для портативного радіолокаційного вимірювача товщини льоду

Розроблено рекомендації щодо вибору портативної антени радіолокаційного вимірювача товщини льоду при забезпеченні безпеки льодових переправ в районі НС, а також заходів з порятунку людей на льоді.

Ключові слова: радар, лід, вимірювання товщини льоду, антена радара.

O.V. Zakora, Y.Y. Seleenko, D.L. Sokolov, A.B. Feshchenko

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.

Keywords: radar, ice, ice thickness measurement, radar antenna.