

МАКЕТ АНТЕННОГО УСТРОЙСТВА СУДОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

М.Ю. Алиев, Д.А. Кузнецова, Д.Ю. Рыбаков, Н.В. Самбуров

ANTENNA ARRAY EXPERIMENTAL MODEL AT MARINE NAVIGATION RADAR

M.Yu. Aliev, D.A. Kuznetsova, D.Yu. Rybakov, N.V. Samburov

Анализируются варианты реализации антенного устройства судовой навигационной станции X-диапазона, удовлетворяющие требованиям низкой себестоимости и габаритных размеров конструкции при сохранении высоких технических характеристик. Приводятся результаты моделирования и натурных испытаний устройства.

Ключевые слова: корабельная навигационная станция, антенное устройство, X-диапазон.

The article analyzes different variants of antenna array implementation at marine navigation radar of X-range, meeting requirements of low costs and overall size of model at high technical characteristics. The results of modeling and full level testing of a device are given.

Keywords: marine navigator radar, antenna array, X-range.

Введение

Корабельные системы навигации являются одной из наиболее обширных областей производства радионавигационных средств.

Антенны [1] судовых навигационных систем обычно имеют апертуры размером около 2 м, что дает ширину луча по азимуту от $1,2^\circ$ до $1,7^\circ$, ширина диаграммы направленности (ДН) по углу места равна $20-30^\circ$, но допускаются и меньшие значения при условии стабилизации по крену. Выбор рабочей частоты систем обусловлен такими факторами, как видимость малых объектов над поверхностью, требуемая дальность обнаружения, угловая разрешающая способность и морские условия распространения радиоволн. Обычно используют выделенные полосы условных диапазонов S и X.

Широкое распространение и повсеместное использование предъявляют к таким системам требования упрощения, удешевления и снижения габаритных размеров конструкции при сохранении высоких тактико-технических характеристик.

Ниже приводятся конструкция и параметры макета радиолокационной антенны диапазона X для навигационных применений.

Основная часть

Вышеприведенным требованиям отвечают нерезонансные антенные решетки на основе волноводно-щелевых излучателей (ВЩИ). Очевидными достоинствами таких антенн является малый вес и габариты, а также пониженное ветровое сопротивление за счет отсутствия выступающих частей (рис. 1).

К недостаткам щелевых антенн следует отнести сильную частотную зависимость, что особенно характерно при коротких зондирующих импульсах (портовая навигация). Работа с круговой поляризацией и осуществление обратимого и необратимого изменения поляризации (с целью подавления отражений от осадков и т.п.) возможна только с применением специальных методов, существенно усложняющих и удорожающих конструкцию. Упомянутые недостатки лишь ограничивают, но

Алиев Михаил Юрьевич – аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Кузнецова Дарья Андреевна – инженер-конструктор Лаборатории СВЧ ОАО «Тайфун»; kda.taifun@gmail.com

Рыбаков Дмитрий Юрьевич – заместитель начальника Лаборатории СВЧ ОАО «Тайфун».

Самбуров Николай Викторович – аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана; samburov@ieec.org

Mikhail Yurievich Aliev – postgraduate student of the Department of Design and Production of Radio Electronic Equipment of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

Daria Andreevna Kuznetsova – design engineer of Ultra-high frequency laboratory of Joint Stock Company “Typhoon”; kda.taifun@gmail.com

Dmitry Yurievich Rybakov – deputy director for Ultra-high frequency laboratory of Joint Stock Company “Typhoon”.

Nikolay Victorovich Samburov – postgraduate student of the Department of Design and Production of Radio Electronic Equipment of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University; samburov@ieec.org

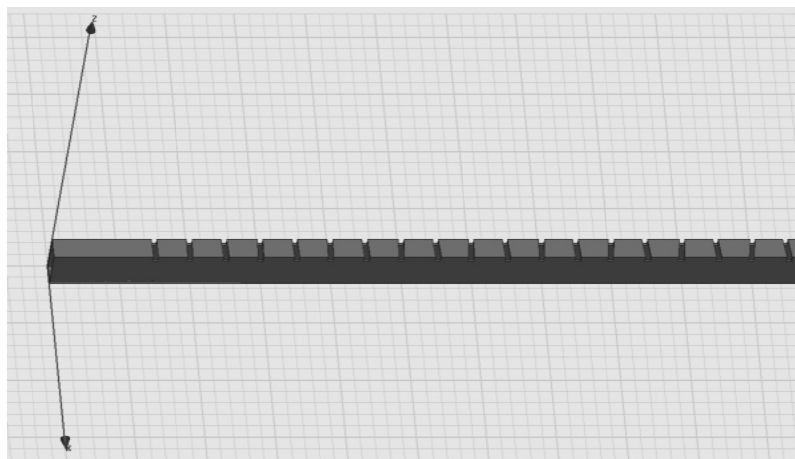


Рис. 1. Нерезонансный ВЩИ с наклонными щелями в узкой стенке

не исключают возможность использования антенных решеток на основе щелевых излучателей.

Единый щелевой излучатель линейного ВЩИ вследствие малых размеров отверстия (обычно значительно меньше длины волны) и низкого значения КНД является довольно неэффективным излучателем с точки зрения формирования направленных ДН в плоскости, перпендикулярной ВЩИ. Поэтому в антеннах на основе ВЩИ обычно используются следующие способы формирования требуемой ДН в вертикальной плоскости:

- с помощью рефлекторных зеркал;
- с помощью рупорного раскрытия.

Зеркальные антенны обладают преимущественным свойством для нужд двумерной радиолокации – позволяют строить диаграмму направленности специализированной (например, типа « cosec^2 ») формы. Однако реальные параметры таких антенн сильно зависят от качества изготовления конкретного рефлектора [2]. Кроме этого, для случая цилиндрического рефлектора, облучаемого линейной решеткой, необходимо обеспечить стабильность совпадения центра излучения «точечных» излучателей с «фокусной прямой» рефлектора. В общем случае для зеркальных антенн требуется точность изготовления параболического зеркала до 2 раз выше точности, предъявляемой к установке фазового центра облучателя и рупора для заданной частоты и синфазности эффективной излучающей апертуры [3].

По причине простоты конструктивных решений и отсутствия гнутых деталей сложного профиля для макета выбран вариант с рупорным раскрытием.

Рупорные антенны имеют соизмеримый с рефлекторными антеннами коэффициент использования поверхности (КИП), что крайне важно при проектировании эффективной антенны, устойчивой к ветровым нагрузкам. Отличительным достоинством по сравнению с классическими антеннами на основе параболоида также является отсутствие «перетекания» энергии за края рефлектора и связанного с данным эффектом возрастания УБЛ.

Конструкция, расчет, моделирование

Как уже сказано выше, с целью крайнего упрощения конструкции и снижения конечной себестоимости устройства, используется линейная фазированная антенная решетка на основе ВЩИ, помещенная в горловине Н-секториального рупора. Форма ДН в азимутальной плоскости определяется конфигурацией элементов решетки (щелевых излучателей), в угломестной – геометрическими параметрами раскрытия рупора. Условный диапазон частот – X. Поляризация – горизонтальная. Для подавления деполяризационной составляющей основной поляризации между щелями ВЩИ помещены металлические разделительные блоки (по аналогии с [2]) (рис. 2).

Расчет главных составляющих антенны производился классическими методами: ВЩИ – энергетическим методом [4], элементов рупорного раскрытия – числовым методом на основе методики расчетов оптимального Н-плоскостного рупора [5]. Полученные действующие размеры конструкции уточнялись методом параметрической оптимизации с помощью программных средств электродинамического моделирования [6]. Ограниченное множество векторов варьируемых параметров, при которых модель считается «условно работоспособной», было получено на основе анализа открытых источников [7, 8].

В процессе проектирования макета широко использовались конструктивные решения, обладающие конструкторско-технологической простотой: гнутые элементы раскрытия рупора, волноводно-щелевой излучатель, стандартный металлический прокатный профиль. В конструкции преобладают разъемные соединения (сочленения) типа «болт–гайка». Таким образом, на макете отработывалось не только решение задачи проектирования – разработка устройства с требуемыми электрическими характеристиками, – но и решение задачи конструкторской разработки – создание конструкции, пригодной для серийного производства.

Эксперимент

Электрические испытания макета проводились в два этапа

1. Испытания составных частей макета [9].
Корректировка конструкции по результатам испытаний.

2. Испытания макета антенного устройства.

Результаты моделирования и экспериментальных испытаний макета антенного устройства (рис. 3) представлены на рис. 4 и 5.

Результаты испытаний макета сведены в таблицу.

Коэффициент конструктивного качества макета [10] составил $K_k=0,989$.

Заключение

Приведенные данные демонстрируют возможность построения эффективного антенного устройства судовой навигации на основе несложных конструктивных элементов, с тенденцией к конструкторско-технологической простоте.

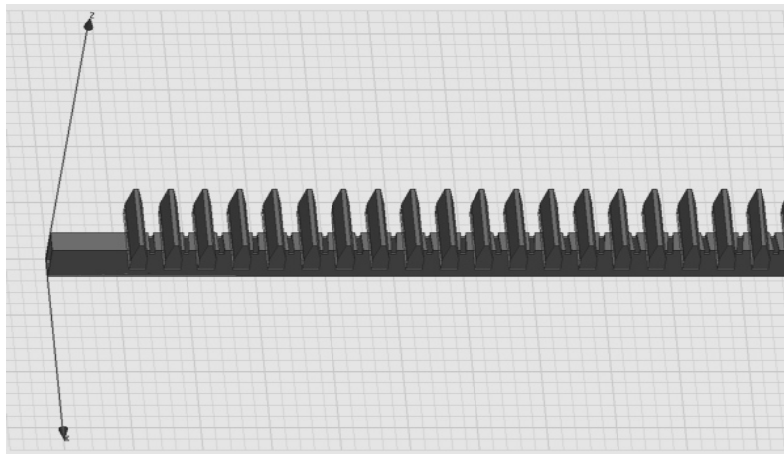


Рис. 2. ВЦИ с разделительными металлическими блоками



Рис. 3. Макет антенны. Внешний вид

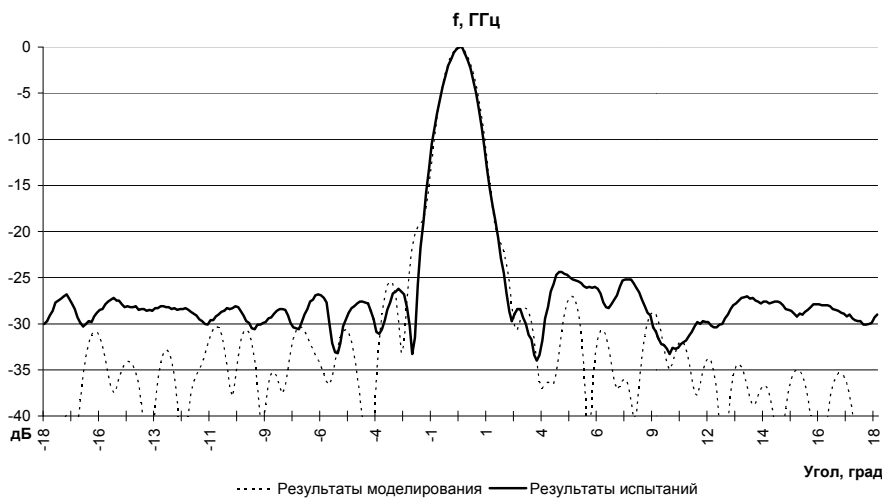


Рис. 4. Диаграмма направленности на частоте f_0 . Горизонтальное сечение



Рис. 5. Диаграмма направленности на частоте f_0 . Вертикальное сечение

Результаты натурных испытаний

Наименование параметра	Частота, МГц		
	f-200	f	f+200
Ширина ДН АЗ, θ_{AZ} , °	1,26	1,19	1,16
Ширина ДН УМ, θ_{UM} , °	11	10,07	9,19
КУ, дБ, не менее	33,8	34	33,8
УБЛ АЗ, дБ, не более	-21,3	-24,4	-25,7
УБЛ УМ, дБ, не более	-13	-15	-14,6
Габариты (LxWxH), мм, не более	2176x240x590		
КСВН по входу, не более	1,1		

Литература

1. Харвей, А.Ф. Техника сверхвысоких частот: в 3 т. / А.Ф. Харвей; пер. с англ. В.И. Сушкевича. – М.: Советское радио, 1965. – Т. 3. – 772 с.
2. Кюн, Р. Микроволновые антенны: в 2 ч. Ч. 2: Антенны СВЧ, используемые в технике / Р. Кюн; пер. с нем. В.И. Тарабин, Э.В. Лабецкий, под ред. проф. М.П. Долуханова. – Л.: Судостроение, 1967. – 517 с.
3. Айзенберг, Г.З. Антенны ультракоротких волн / Г. Айзенберг. – М.: Связьиздат, 1957. – 697 с.
4. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: учеб. пособие для вузов / Д.И. Воскресенский, В.И. Степаненко, В.С. Филиппов и др.; под ред. Д.И. Воскресенского. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2003. – 632 с.
5. Кобанский, Н.Н. Антенны / Н.Н. Кобанский. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
6. Банков, С.Е. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ структур с помощью HFSS / С.Е. Банков, А.А. Курушин, В.Д. Разевиг; под ред. С.Е. Банкова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 208 с.
7. Байрашевский, А.М. Судовые радиолокационные системы / А.М. Байрашевский, Н.Т. Ничипоренко. – М.: Транспорт, 1973. – 352 с.
8. www.furuno.com.ru
9. Кузнецова, Д.А. Моделирование и экспериментальные испытания волноводно-целевой антенной решетки с поперечными щелями в узкой стенке / Д.А. Кузнецова // ОАО «ЦНИИ «Электроника», журнал «Радиопромышленность». – М., 2011. – Вып. 1.
10. Воробьев, Е.А. Основы конструирования судовых устройств СВЧ / Е.А. Воробьев. – Л.: Судостроение, 1985. – 240 с.

Поступила в редакцию 15 августа 2012 г.