

УДК 621.396.67

© Кочугов А.А., Лопатин А.О., Смирнов Н.П., Студеникин Д.В., Тележкин Д.А.
Kochugov A., Lopatin A., Smirnov N., Stydenikin D., Telezhkin D.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ
ДЛЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЕТИ ВЧ РАДИОСВЯЗИ**

**EXPERIMENTAL RESEARCH DIRECTIONAL CHARACTERISTICS OF THE PHASED
ARRAY ANTENNA COMPLEX FOR TECHNICAL MEANS HF RADIO NETWORK**

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований характеристик направленности 48-элементной фазированной антенной решетки из состава приемного антенно-аппаратурного комплекса (ААК), предназначенной для обеспечения помехоустойчивого приема информации на стационарных объектах, оснащенных комплексом технических средств сети ВЧ радиосвязи.

Материалы статьи разработаны при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (контракт №07.524.11.4015 от 15.03.2012 г.).

Annotation. The article presents the results of experimental research of directional characteristics of 48-element phased array antenna. It is intended to provide interference-free reception of information on stationary objects with complex technical means of HF radio communication network.

Article Submissions are developed with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (contract № 07.524.11.4015 from 15.03.2012, the)

Ключевые слова. Фазированная антенная решетка, комплекс технических средств, сеть ВЧ радиосвязи, диаграмма направленности, земная волна.

Key words. A phased array antenna, a complex hardware, network HF radio radiation pattern, ground wave.

Объектом исследований является поперечная 48-элементная фазированная антенная решетка (ФАР), предназначенная для обеспечения помехоустойчивого приема информации на стационарных объектах, оснащенных комплексом технических средств (КТС) сети ВЧ радиосвязи (см. рис.1). В качестве базовых излучателей ФАР используются низкопрофильные излучатели типа «элемент ромбический» [1], формирующие кардиоидную диаграмму направленности.

Экспериментальные исследования характеристик направленности (диаграмм направленности – ДН) в азимутальной плоскости производились при приеме радиосигналов по земной волне от мобильной КВ-радиостанции, работающей на штыревую антенну в окрестностях места размещения испытуемой ФАР в радиусе от 1,5 до 2,5 км от нее.

При измерениях ДН по земной волне использовался класс излучений NON – излучение немодулированной несущей сигнала.



Рис.1. Фазированная антенная решетка

Кочугов Александр Александрович – доктор технических наук, заместитель генерального директора ОАО «ВИКОР»;

Лопатин Артем Олегович – начальник отдела ОАО «ВИКОР», тел.+7 495 5433676;

Смирнов Николай Павлович – начальник отдела ОАО «ВИКОР»;

Студеникин Дмитрий Викторович – ведущий инженер ОАО «ВИКОР»;

Тележкин Дмитрий Александрович – начальник отдела ОАО «ВИКОР».

Kochugov Alexandr – doctor of technical sciences, deputy director general, JSC «VIKOR»;

Lopatin Artem – head of department, JSC «VIKOR», tel.+7 495 5433676;

Smirnov Nikolay – head of department, JSC «VIKOR»;

Stydenikin Dmitriy – leading engineer, JSC «VIKOR»;

Telezhkin Dmitriy – head of department, JSC «VIKOR».

Измерения уровней радиосигналов на входе радиоприемного устройства (РПУ), подключенного к испытуемой ФАР, проводились с использованием программно-аппаратных комплексов (ПАК) оценки статистических характеристик сигналов и помех в нестационарных радиоканалах [2].

Условия и порядок проведения исследований

При организации и проведении исследований характеристик направленности ФАР для КТС сети ВЧ-радиосвязи за основу были приняты следующие положения:

- обеспечение излучения мобильной радиостанции с азимутальных направлений с дискретностью 5° в секторе азимутальных углов не менее 120° ;
- измерения ДН проводились на пяти частотах рабочего диапазона ФАР для КТС сети ВЧ-радиосвязи, для которых предварительно были проведены расчеты ДН по земной волне: 1,5; 3,0; 6,0; 12,0 и 24 МГц.

Для измерения ДН в азимутальном секторе шириной $\pm 60^\circ$ было обеспечено измерение уровней сигналов при приходе радиоволн с 25 направлений, что потребовало соответствующего перемещения мобильной радиостанции и работы на излучение с коротких остановок в 25 пунктах.

Следует учитывать, что при перемещении мобильной радиостанции даже по круговому маршруту на уровень поля в месте размещения испытуемой антенны будет сказываться влияние как окружающих испытуемую антенну кустарников, деревьев, строений, так и неровностей рельефа, лесных массивов и неоднородностей электрических свойств подстилающей поверхности.

Для исключения влияния указанных выше факторов экспериментальные исследования характеристик направленности ФАР проводить путем сравнения уровней напряжений сигналов, создаваемых на выходах испытуемой антенны и эталонной антенны (рис. 2) – типа вертикальная рамка (ориентированной на максимум ДН).

Порядок проведения исследований

1. Мобильная радиостанция прибывает в первый пункт. Выбирается место, наиболее благоприятное для работы на излучение (отсутствие близко расположенных металлоконструкций, ЛЭП, деревьев, строений).

С помощью GPS приемника определяются точные координаты пункта, которые записываются в аппаратный журнал мобильной радиостанции.

После выполнения подготовительных работ и настройки радиопередающего устройства (РПДУ) и согласующего устройства для работы на штывревую 4-метровую антенну стационарный объект извещается о готовности излучения радиосигнала на первой частоте в режиме NON.

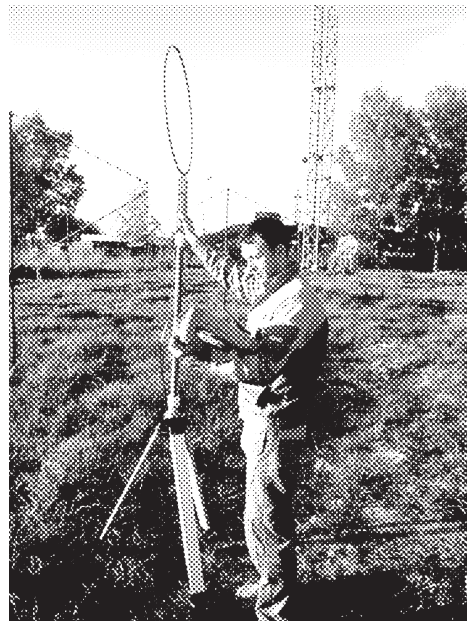


Рис.2. Измерения с использованием эталонной антенны

2. После получения команды на излучение проводится включение РПДУ на излучение. В процессе излучения проводится контроль подводимой к антенне мощности и при изменении ее значения делается соответствующая запись в аппаратном журнале (значение мощности и временной интервал). Длительность излучения радиосигнала на одной частоте – 5 мин.

3. На приемном пункте с использованием ПАК проводятся измерения уровней радиосигналов на входе РПУ, подключенного к испытуемой и вспомогательной антеннам.

Первоначально перед началом измерений на каждой частоте проводится оценка отношения сигнал/помеха при приеме на ненаправленную антенну. Значение отношения сигнал/помеха должно быть не менее 20 дБ.

Измерение сигнала (отношения сигнал/помеха) с выхода РПУ, подключенного к ФАР, проводится поочередно для всех диаграмм направленности в полосе частот 600 Гц.

Полный цикл измерений для каждой ДН составляет ~30 с, из которых ~10 с измеряется смесь сигнал+помеха и ~2×10 с измеряются помехи.

Результаты измерений обрабатываются в процессе измерений и записываются в память ПК АПК.

Для каждой ДН измеряются и рассчитываются:

- а) математическое ожидание (за 10 с) уровня смеси сигнал + помеха на входе РПУ в зоне несущей частоты – $U_{сш}^i$, В;4
- б) математическое ожидание (за 10 с) уровней помех (в полосе 600 Гц) на входе РПУ на частотах, ниже и выше несущей частоты – U_i^{n1} и U_i^{n2} В;
- в) математическое ожидание (за 10 с) отношения

уровней сигнал/помеха N_i на входе РПУ:

$$N_i = 20 \cdot \lg(U_i^c / U_i^n),$$

где $U_i^c = \sqrt{U_i^{cm2} - U_i^{n2}}$, В – математическое ожидание уровня сигнала на входе РПУ;

$$U_i^n = \frac{U_i^{n1} + U_i^{n2}}{2}, \text{ В – среднее значение уровня помех}$$

на входе РПУ.

4. После получения на мобильном объекте указания о прекращении излучения РПДУ выключается и производится его перестройка на вторую частоту. О готовности к излучению сообщается на приемный пункт и после получения указания о начале излучения включается РПДУ и начинается излучения радиосигнала. Время для подготовки к излучению на очередной частоте ~ 2...3 мин.

5. Дальнейший порядок измерений на остальных частотах – в соответствии с порядком, изложенным в пп. 2 и 3.

6. Ориентировочное время измерений в одном пункте на 5 частотах с учетом перестройки РПДУ ~ 15...14 мин для одной ДН.

Результаты исследований

В соответствии с описанной выше методикой на

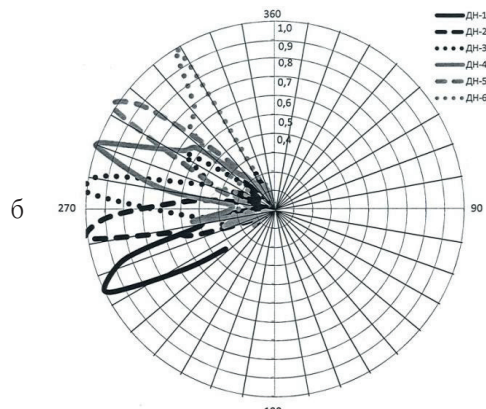
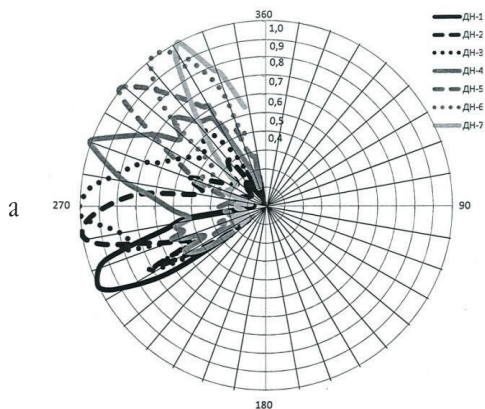


Рис.4. Нормированные диаграммы направленности 48-элементной ФАР, измеренные по земной волне: а – частота 12 МГц; б – частота 24 МГц

топографической карте местности были выбраны точки для работы мобильной радиостанции (см. рис. 3), которые обеспечивали передачу сигналов в секторе азимутальных углов ±60° от направления формирования основного лепестка ДН ФАР через 5°.

После обработки экспериментальных данных,

Литература:

1. Булыгин В.А., Кочугов А.А., Росляков Н.М. и др. Электродинамический анализ характеристик излучений малогабаритного сверхнаправленного излучателя приемных антенных систем КВ диапазона // Двойные технологии, №3 2003.
2. Булыгин В.А., Кочугов А.А., Тележкин Д.А. и др. Программно-аппаратный комплекс оценки статистических характеристик сигналов и помех в нестационарных радиоканалах. Труды РНТОРЭС имени А.С. Попова, выпуск XI-2, Москва – 2009.
3. Анализатор спектра R&S FSH4/8. Руководство по эксплуатации. Москва, 2010.
4. Антенна измерительная рамочная Пб-43. Комплект эксплуатационных документов ИУШЯ.464639.010.

Материал поступил в редакцию 15. 09. 2013 г.

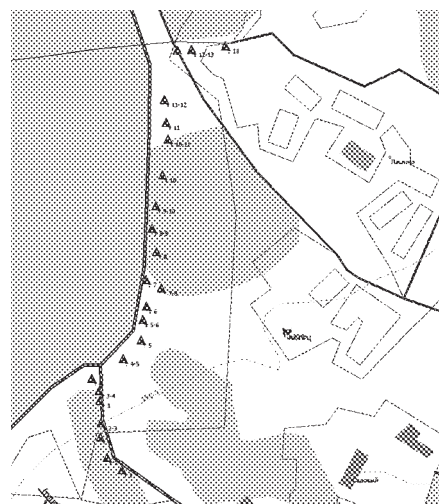


Рис.3. Схема проведения исследований характеристик направленности ФАР

включая нормировку измеренных значений уровней сигналов и помех к уровням, принятым эталонной антенной, были получены оценки характеристик направленности ФАР для КТС сети ВЧ-радиосвязи, которые в полярной системе координат изображены для частот 12 и 24 МГц на рис. 4.

Экспериментально полученные характеристики

направленности ФАР для КТС сети ВЧ радиосвязи имеют хорошее совпадение с их расчетными значениями для малых углов места, что свидетельствует о правильности выбранных технических решений и методики экспериментальных исследований.