

© Тележкин Д.А.
Telezhkin D.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ АНТЕННО-АППАРАТУРНОГО КОМПЛЕКСА С
ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ СЕТИ ВЧ-РАДИОСВЯЗИ**

**EXPERIMENTAL STUDY OF SENSITIVITY ELECTROMAGNETIC FIELD ANTENNA-
HARDWARE COMPLEX PHASED ARRAY COMPLEX FOR TECHNICAL MEANS HF
RADIO NETWORK**

***Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований реальной чувствительности по электромагнитному полю антенно-аппаратурного комплекса (ААК) с 48-элементной фазированной антенной решеткой (ФАР), 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 real sensitivity to electromagnetic field of the antenna-hardware complex (AAK) with a 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.** Антенно-аппаратурный комплекс, фазированная антенная решетка, комплекс технических средств, сеть ВЧ радиосвязи, чувствительность, электромагнитное поле.*

***Key words.** Antenna-hardware complex, phased array antenna, a complex hardware, network HF radio sensitivity, electromagnetic field.*

Объектом исследований является ААК в составе:

- 4-рядной 48-элементной поперечной ФАР с низкопрофильными базовыми излучателями типа «Элемент ромбический»;
- аппаратуры формирования диаграмм направленности;
- аппаратуры коммутации и согласования, предназначенной для обеспечения помехоустойчивого приема информации на стационарных объектах, оснащенных комплексом технических средств (КТС) сети ВЧ-радиосвязи.

В качестве базовых излучателей ФАР используются низкопрофильные излучатели типа «Элемент ромбический» [1], формирующие кардиоидную диаграмму направленности.

Габариты ФАР – 80х40 м.

ААК обеспечивает одновременное формирование 16 диаграмм направленности (ДН): 7 ДН в азимутальной плоскости для каждого из двух углов места 0 и 25 град и две ДН зенитного приема.

Под реальной чувствительностью ААК понимается минимальная величина напряженности электромагнитного поля (ЭМП) полезного сигнала в зоне расположения ФАР, при которой на входе РПУ обеспечивается в полосе 1200 Гц отношение сигнал/помеха+шум не менее 10 дБ.

Инструментальная чувствительность ААК определялась расчетным путем и соответствует условиям, при которых учитываются только собственные шумы ААК.

Реальная чувствительность ФАР может приближаться к инструментальной при условии снижения (полного исключения) стационарных помех, что для условий

использования ВЧ-диапазона частот не представляется возможным.

Экспериментальные исследования реальной чувствительности по электромагнитному полю ААК для КТС сети ВЧ-радиосвязи проводились при приеме по земной волне радиосигналов, излучаемых мобильной КВ-радиостанцией, при расположении ее в дальней зоне (в радиусе 1,5...2,0 км) в направлении основного лепестка центральной диаграммы направленности (ДН), формируемой ААК. Этот вариант измерений практически соответствует варианту фазирования $\theta=0$; $\varphi=0$.

При измерениях использовался класс излучений NON – излучение немодулированной несущей.

Поскольку при измерениях, помимо атмосферных помех, могут присутствовать станционные и индустриальные радиопомехи, результаты экспериментальной оценки характеризуют реальную чувствительность для помеховой обстановки, характерной данному региону, сезону и времени суток.

В соответствии с методикой измерений для оценки реальной чувствительности ААК предусматривалось измерение:

- абсолютных значений напряженности ЭМП в месте размещения ФАР;
- уровней смеси сигнала, помехи и шумов на входе РПУ;
- уровней помех и шумов на входе РПУ.

Абсолютные значения напряженности ЭМП измерялись с использованием селективного микровольтметра FSH-4 [2] с комплектом эталонных антенн [3].

Для измерения уровней радиосигналов и помех, а также расчета отношения сигнал/помеха на входе РПУ, подключенного к испытываемому ААК, использовался программно-аппаратный комплекс (ПАК) оценки статистических характеристик сигналов и помех в нестационарных радиоканалах [4].

Испытания проводились на пяти частотах рабочего диапазона ААК для КТС сети ВЧ-радиосвязи: 1,6; 3,0; 18,0; 24,0 и 29,0 МГц.

Обязательными условиями во время испытаний являлись:

- расположение мобильной радиостанции на азимуте, совпадающем с ориентацией максимума центральной диаграммы направленности, формируемой ФАР;
- обеспечение расстояния от ФАР ААК до мобильной радиостанции для работы на излучение в пределах 1,5...2,0 км;
- поддержание в антенне мобильной радиостанции в процессе измерений на каждой частоте постоян-

ной величины тока (мощности).

Подготовка к проведению исследований

При подготовке к проведению исследований с использованием топографической карты местности осуществлялось определение контрольных пунктов передачи для работы мобильной радиостанции на излучение.

Контрольные пункты передачи для работы мобильной радиостанции определялись из расчета обеспечения работы на передачу для приема сигналов испытываемой ФАР через 5° в азимутальной плоскости.

Порядок проведения исследований:

Мобильная радиостанция прибывала в контрольный пункт передачи. Выбиралось место, наиболее благоприятное для работы на излучение (отсутствие близко расположенных металлоконструкций, ЛЭП, деревьев, строений). С помощью GPS приемника контролировались координаты пункта передачи.

Излучение сигнала на каждой частоте проводилось циклами, каждый из которых соответствует определенному уровню мощности.

На приемном пункте проводился выбор основной ДН ААК и подключение к РПУ соответствующего высоко-частотного выхода комплекса.

После получения команды проводилось включение РПДУ мобильной радиостанции на излучение с максимальной мощностью. В процессе излучения контролировался уровень подводимой к антенне мощности.

Длительность каждого цикла излучения радиосигнала с определенным уровнем мощности на каждой частоте составляла 1 минуту.

На приемном пункте проводились измерения:

- уровня поля сигнала в месте размещения испытываемой ФАР с использованием измерителя напряженности поля;
- уровня радиосигнала на входе РПУ, подключенного к ААК с использованием ПАК.

Для каждого цикла излучения измерялись и рассчитывались:

- а) математическое ожидание (за 10 с) уровня смеси сигнал + помеха на входе РПУ в зоне несущей частоты – U_i^{cm} , В;
- б) математическое ожидание (за 10 с) уровней помех (в полосе 600 Гц) на входе РПУ на частотах, ниже и выше несущей частоты – U_i^{nl} 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;

$$U_i^n = \frac{U_i^{n1} + U_i^{n2}}{2}, B - \text{среднее значение уровня помех на входе РПУ.}$$

Результаты исследований

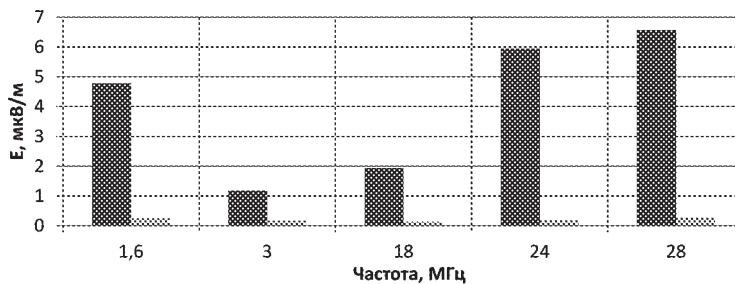
Результаты исследований

Исследования реальной чувствительности по электромагнитному полю ААК для КТС сети ВЧ-радиосвязи проводились на полигоне, расположенном в Западной Сибири.

В таблице и на рисунке представлены результаты оценки реальной и инструментальной чувствительности по ЭМП ААК с поперечной 48-элементной ФАР для КТС сети ВЧ-радиосвязи.

Результаты оценки реальной и инструментальной чувствительности по ЭМП ААК для КТС сети ВЧ-радиосвязи

Оцениваемые параметры	Ед. изм.	Значения параметров на частоте, МГц				
		1,6	3,0	18,0	24,0	29,0
Уровень смеси сигнала и помехи в полосе 600 Гц	дБ	100,79	109,17	104,54	99,95	88,78
Уровень помех в полосе 600 Гц	дБ	24,38	17,11	42,29	42,43	29,62
Уровень сигнала в полосе 600 Гц	дБ	100,79	109,17	104,54	99,95	88,78
Отношение сигнал/помеха в полосе 600 Гц	дБ	76,40	92,06	62,25	57,52	59,16
Отношение сигнал/помеха в полосе 1200 Гц	дБ	73,40	89,06	59,25	54,52	56,16
Измеренное напряжение на выходе эталонной антенны	дБмкВ	39,0	44,0	31,0	39,0	44,0
Поправочный коэффициент эталонной антенны	дБ	38,0	36,5	24,0	21,0	18,5
Напряженность поля в месте расположения ФАР	дБмкВ/м	77,0	80,5	55,0	60,0	62,5
Требуемое превышение сигнала над помехой	дБ	10	10	10	10	10
Реальная чувствительность ААК с ФАР	дБмкВ/м	13,6	1,45	5,76	15,49	16,35
Реальная чувствительность ААК с ФАР	мкВ/м	4,79	1,18	1,94	5,95	6,57
Инструментальная чувствительность ААК с ФАР	мкВ/м	0,25	0,18	0,14	0,19	0,28



Частотная зависимость реальной и инструментальной чувствительности по ЭМП ААК для КТС сети ВЧ-радиосвязи:

■ Реальная; ▨ Инструментальная

Анализ полученных результатов показывает, что реальная чувствительность по электромагнитному полю ААК поперечной 48-элементной ФАР и базовым излучателем типа «Элемент ромбический» с учетом фактической помеховой обстановки составляет в диапазоне ча-

стот 3... 18 МГц – 1,1... 1,9, с увеличением в нижней и верхней частях диапазона до 4,7... 6,57 мкВ/м, что обусловлено высоким уровнем помех

Инструментальная чувствительность, характеризующая потенциальные возможности ААК с ФАР принимать сигналы с низким уровнем, в диапазоне частот от 1,6 до 29,0 МГц составляет от 0,14 до 0,28 мкВ/м.

Результаты проведенных экспериментальных исследований подтвердили возможность эффективного приема информации в реальных условиях помеховой обстановки на радиотрассах большой протяженности с использованием ААК с ФАР ВЧ диапазона и низкопрофильными базовыми излучателями.

Описанный способ измерения чувствительности по электромагнитному полю может быть использован при проведении исследований как антенных систем построенных на базе ФАР, так и полноразмерных антенн ВЧ-диапазона.

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 (24), 2003.

2. Анализатор спектра R&S FSH4/8. Руководство по эксплуатации. Москва, 2010.

3. Антенна измерительная рамочная ПБ-43. Комплект эксплуатационных документов ИУШЯ.464639.010.

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.

Материал поступил в редакцию 15.09.2013 г.