

Литвиненко Сергей Леонидович – ОАО «НИИ гидросвязи “Штиль”»; e-mail: serlin@list.ru; 400081, г. Волгоград, ул. Ангарская, д. 17а; тел.: +7 8442499850; к.т.н.; заместитель генерального директора по научной работе.

Litvinenko Sergey Leonidovich – JSC «Research Institute of Hydrocommunication “Shtil”»; e-mail: serlin@list.ru; 17a, Angarskaya, Volgograd, 400081, Russia, phone: +78442499850; cand. of eng. sc.; deputy director.

УДК 621.396

М.С. Шкуркин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ КОМПЛЕКСОВ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АПЕРТУРНЫХ АНТЕНН

Представлены результаты расчетно-аналитической оценки допустимых значений погрешности измерений амплитудно-фазового распределения поля для случая сверхширокополосных и монохроматических измерительных комплексов ближней зоны с планарным сканированием, при которых суммарная погрешность измерений амплитудных диаграмм направленности апертурных антенн не будет превышать заданных значений. Показано, что для восстановления боковых лепестков амплитудных диаграмм направленности апертурных антенн с относительным уровнем минус 40 дБ с погрешностью не более $\pm 1,2$ дБ необходимо обеспечить погрешность измерений амплитудных характеристик сверхкоротких импульсов не более 1,5 % от максимального значения амплитуды и временных характеристик не более 4,5 % от длительности фронта импульса.

Ближняя зона; погрешность измерений; антенные измерительные комплексы ближней зоны.

M.S. Shkurkin

ESTIMATION OF THE UNCERTAINTIES IN CASE AMPLITUDE AND TIME CHARACTERISTIC PULSE INSTABILITY EFFECT IN TIME DOMAIN TECHNIQUE OF THE PLANAR NEAR-FIELD MEASURING

This paper describes about magnitudes of the time domain and frequency domain measurement errors of the near-field antenna measurement systems with planar scanning are available for correct directivity antenna measures. The results are obtained by near-field/far-field simulate programming for pulse characteristic measurement errors and complex amplitude measurement errors. In this paper are shown how to obtain required accuracy $\pm 1,2$ dB in case measuring of minus 40 dB level side lobes of antennas directivity pattern by ultra wideband and narrow-banded near-field measurement systems. For this requiring the amplitudes uncertainty are 1,5 % and time characteristics uncertainty are 4,5 % for ultra wideband measurement systems are obtained.

Near-field; near-field antenna measurement system; near-field measurement error.

В условиях постоянного развития средств и методов измерений нормируемых характеристик антенн к настоящему моменту времени можно наблюдать достаточно активное использование антенных измерительных комплексов (ИК), реализующих методы измерений в ближней зоне (БЗ) – амплифазометрический и коллимагорный. При этом различают ИК БЗ, функционирующие на основе гармонических сигналов (узкополосные), и ИК БЗ, функционирующие на основе сверхкоротких импульсных сигналов (сверхширокополосные – СШП).

Обеспечение единства, требуемой точности и достоверности результатов измерений характеристик антенн на всех этапах их жизненного цикла является целью метрологического обеспечения антенных измерительных комплексов. Одним из путей достижения указанной цели является установление требований и нормирование их метрологических характеристик.

Исходя из результатов анализа требований технических заданий на современные и перспективные фазированные антенные решетки в части нормированных показателей точности, можно определить требования к значениям допускаемой погрешности измерений. Так, в диапазоне частот от 6 до 10 ГГц допускаемые значения погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности (ДН) не должны превышать пределов $\pm 1,2$ дБ на уровне минус 40 дБ. На основании этого задачу исследований можно свести к определению метрологических характеристик ИК БЗ, обеспечивающих требуемую точность измерений характеристик направленности существующих и перспективных антенных систем.

Поставленная задача может быть решена путем определения функциональной зависимости между погрешностью измерений амплитудно-фазового распределения (АФР) электромагнитного поля (ЭМП) в ближней зоне и погрешностью восстановления ДН антенны.

В работе [1] показано, что возможным подходом к установлению этой взаимосвязи является реализация метода математического моделирования с использованием априорной информации о статистических свойствах самого измерительного комплекса, полученных экспериментально. Математическая интерпретация разработанного алгоритма на примере СШП ИК БЗ приведена ниже.

Формирование испытательных сигналов – сверхкоротких импульсов (СКИ) – осуществляется на основе выражения

$$U(t) = U_s(t + t_j) + \sigma_A^{(t)}, \quad (1)$$

где $U_s(t)$ – амплитуда СКИ в момент времени t , В;

$\sigma_A^{(t)}$ – случайная погрешность измерений амплитуды, В;

t_j – случайная погрешность измерений временных отсчетов,

$t_j = NORM(M_1, D_1) \cdot 100$, %, под которой будем понимать амплитуду джиттера;

M, M_1 – математические ожидания, D, D_1 – дисперсии погрешности измерений амплитудных и временных характеристик СКИ.

Сформированный массив $\{U(t, x, y)\}$, прошедший спектральную обработку $W(f, x, y) = F(\{U(t, x, y)\})$ (F – оператор преобразования Фурье), определяет АФР антенны на поверхности сканирования (x, y) на выбранной частоте f :

$$E(f, x, y) = \begin{cases} J(f, x, y)W(f, x, y), & \text{если } (x, y) \in [a, b]; \\ 0, & \text{если } (x, y) \notin [a, b], \end{cases} \quad (2)$$

где $J(f, x, y)$ – закон изменения АФР токов на апертуре антенны; a, b – геометрические размеры апертуры.

Дальнейшие преобразования (например, по [2]) позволяют оценить комплексную ДН антенны в выбранной системе координат.

Результат моделирования есть массив сечений ДН, рассчитанных для каждой реализации, а также «эталонное» сечение, полученное при отсутствии погрешности измерений. На основе полученных результатов можно оценить доверительные границы погрешности измерений ДН.

Так, СКО результатов восстановления амплитудной ДН [3] равен

$$\delta F_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (F_{A_i} - F_y)^2}{k-1}}, \quad (3)$$

где k – число реализаций моделирования;

F_s – относительный уровень боковых лепестков амплитудной ДН, восстановленной без погрешности измерений;

$(F_A)_i$ – относительный уровень боковых лепестков ДН, соответствующей i -той реализации, для случая СКИ с погрешностью измерений.

Границы погрешности измерений относительных уровней амплитудной ДН определяются выражением

$$\Delta F_A = \pm 20 \lg(1 + t \cdot \delta F_A). \quad (4)$$

Исходя из обозначенных выше требований, определим допускаемые пределы погрешности измерений амплитудного и фазового распределений СШП ИК БЗ для случая апертурной антенны с заданными функциями АФР.

В качестве излучаемой системы рассмотрим прямоугольную апертуру размером $1,5 \times 1,2$ м, имитирующую полотно ФАР. При этом законы изменения амплитуд и фаз токов на апертуре задаются таким образом, чтобы имитировать работу по суммарному и разностному каналам. При формировании ДН по суммарному каналу закон амплитудного распределения в обеих плоскостях косинусный, фазового распределения – равномерный (синфазный). Размеры зоны и шаг сканирования выбираются оптимальными по критерию минимума погрешности ограничения и дискретизации по [2]. Частота анализа соответствует максимуму амплитудного спектра СКИ (рис. 1) на выходе ФАР одного из существующих изделий.

При оценке требований к погрешности измерений распределения поля во временной области моделировались СКИ со следующими характеристиками погрешности измерений (рис. 1):

а) СКО результатов измерений амплитуды 0,6 % от максимального значения амплитуды и амплитуда джиттера 2 % от длительности фронта СКИ (рис. 1, верхний ряд);

б) СКО результатов измерений амплитуды 0,3 % от максимального значения амплитуды и амплитуда джиттера 1 % от длительности фронта СКИ (рис. 1, нижний ряд).

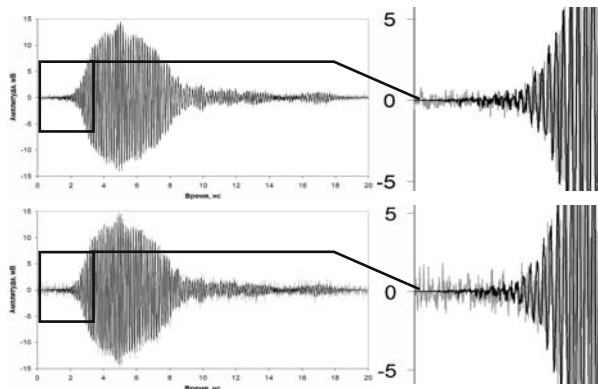


Рис. 1. Осциллограммы СКИ, используемых при моделировании

На рис. 1 черным цветом обозначен СКИ без погрешности измерений, серым – СКИ, измеренный с погрешностью измерений амплитудных и временных характеристик.

Результаты оценки погрешности измерений относительных уровней боковых лепестков амплитудной ДН для суммарного и разностного каналов, выполненной по формуле (4), представлены на рис. 2.

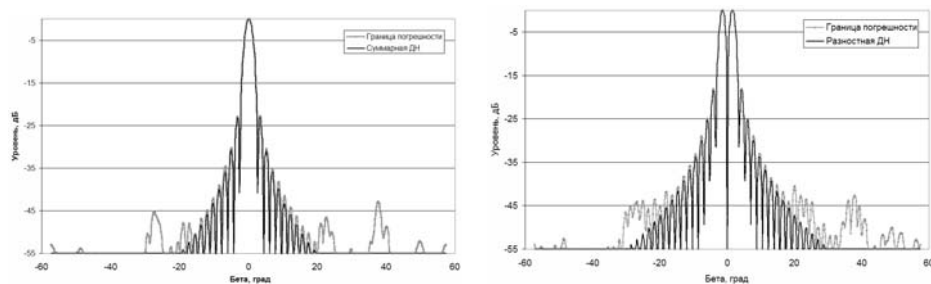


Рис. 2. Сечение суммарной (слева) и разностной (справа) ДН и границы погрешности измерений СШП ИК БЗ при СКО амплитуды 0,6 % и амплитуде джиттера 2 %

Результаты оценки погрешности измерений уровней боковых лепестков амплитудной ДН для случая СКО результатов измерений амплитуды 0,6 и 0,3 % от максимальной амплитуды и амплитуды джиттера 2 и 1 % от длительности фронта систематизированы в виде графиков на рис. 3.

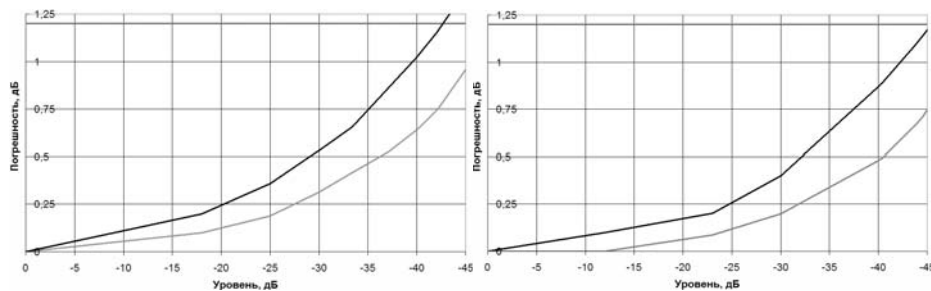


Рис. 3. Погрешность измерений уровней боковых лепестков разностной (слева) и суммарной (справа) ДН ФАР: — при СКО 0,6 % и 2 %; - - - при СКО 0,3 % и 1 %

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при СКО результатов измерений амплитуды импульса 0,6 % от максимального значения амплитуды и амплитуде джиттера 2 % от длительности фронта импульса можно обеспечить восстановление амплитудной ДН антенны (с косинусным амплитудным распределением) с погрешностью, не превышающей заданные пределы $\pm 1,2$ дБ на уровне минус 40 дБ для косинусного амплитудного и равномерного фазового распределений.

Таким образом, для обеспечения существующих требований в части погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности необходимо, чтобы погрешность измерений амплитудных характеристик сверхкоротких импульсов СШП комплексом ближней зоны не превышала 1,5 % от максимального значения амплитуды, а погрешность измерений временных характеристик сверхкоротких импульсов не превышала 4,5 % от длительности фронта импульса (при доверительной вероятности $P=0,95$ и количестве наблюдений, равном 10).

Исходя из полученных значений СКО результатов измерений амплитудно-временных характеристик импульсов, можно задать требования к метрологическим характеристикам ИК БЗ в частотной области. С учетом возможности управления функциями АФР-токов для реализации различных режимов работы ФАР, решим эту задачу для основных типов амплитудных (равномерного, косинусного и косинусного на пьедестале) распределений и постоянного фазового распределения.

Для этого на основе разработанной модели оценим СКО амплитудного и фазового распределений и доверительные границы погрешности измерений относительных уровней амплитудных ДН.

При моделировании СКИ по формуле (1) СКО результатов измерений амплитуды задавалось равным 0,6; 0,3; 0,15 % от максимального значения, а амплитуда джиттера – 2; 1; 0,5 % от фронта.

На рис. 4 графически представлена зависимость погрешности измерений АФР-поля в частотной области от погрешности измерений амплитудно-временных характеристик (АВХ) СКИ для указанных типов распределений. При этом оценивались лишь главные сечения, в связи с чем максимальное отношение амплитуд для антенны с равномерным распределением составило 15 дБ, с косинусным – 35 дБ, косинус на пьедестале – 22 дБ. Аппроксимируя полученные результаты полиномами второго порядка, были получены оценки СКО АФР для относительных уровней до минус 40 дБ (рис. 5).

Из рис. 4 видно, что к дестабилизирующим воздействиям в виде погрешности измерений АВХ СКИ наиболее восприимчиво косинусное распределение (кривые черного цвета), наименее восприимчив равномерный синфазный раскрыв (кривые синего цвета).

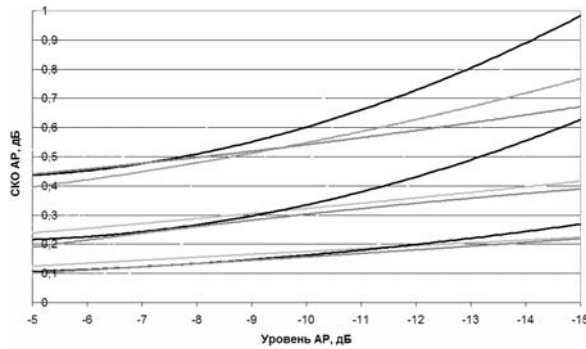


Рис. 4. Результаты оценки СКО амплитудного распределения для антенн с различными типами АФР при различных значениях погрешности измерений АВХ СКИ: I – при СКО амплитуды 0,6 % и амплитуде джиттера 2 %; II – при СКО амплитуды 0,3 % и амплитуде джиттера 1 %; III – при СКО амплитуды 0,15 % и амплитуде джиттера 0,5 %

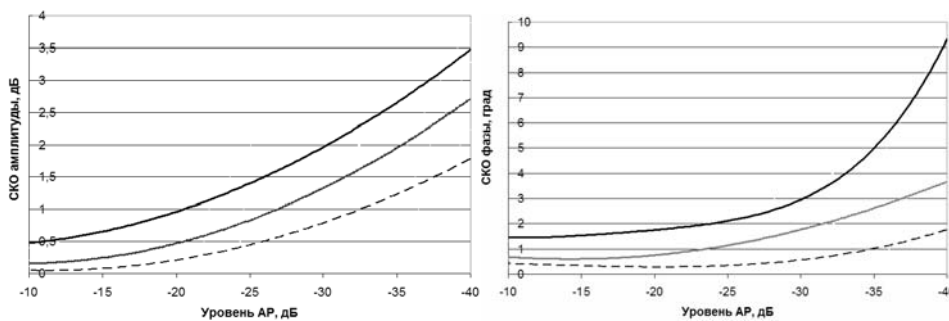


Рис. 5. Оценки СКО амплитуды (слева) и фазы (справа) для косинусного амплитудного распределения: — — — — при СКО во временной области 0,6 % и 2 %; — — — — при СКО 0,3 % и 1 %; — — — — при СКО 0,15 % и 0,5 %

Для наихудшего (с позиции точности измерений) случая косинусного распределения на рис. 5 представлены результаты оценки СКО амплитуды и фазы. Так, на уровне минус 40 дБ СКО амплитуды варьируется от 1,7 до 3,5 дБ, а СКО фазы – от 2,8 до 9°, что приводит к погрешности измерений уровней боковых лепестков амплитудной ДН на уровне минус 40 дБ от 7 до 1,6 дБ (рис. 6).

На рис. 6 сведены результаты оценки погрешности восстановления относительных уровней боковых лепестков антенн с типовыми законами распределений амплитуд и фаз токов в зависимости от точности их измерений.

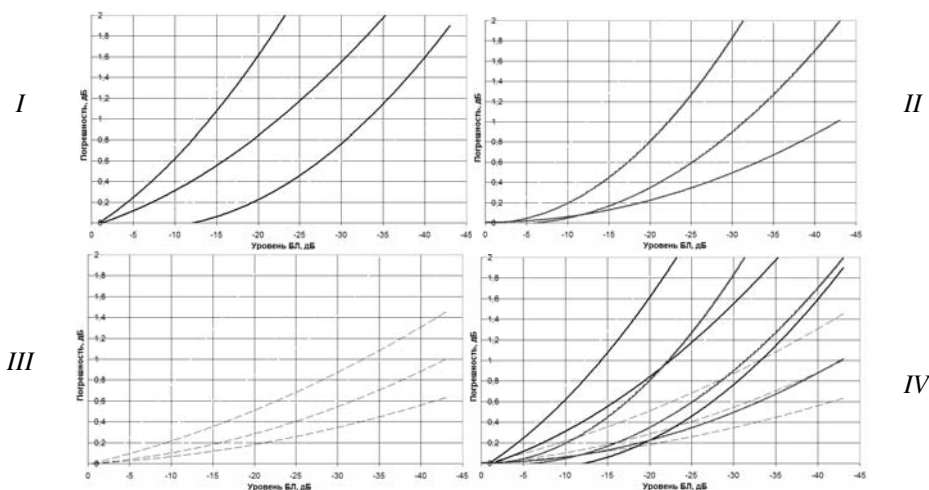


Рис. 6. Зависимость погрешности восстановления уровней боковых лепестков антенн с различными амплитудными распределениями от погрешности измерений АФР: I – косинусное АР; II – «косинус на пьедестале»; III – равномерное АР; IV – общий график

Исходя из результатов, представленных на рис. 4–6, можно сделать вывод, что для восстановления ДН с требуемой погрешностью $\pm 1,2$ дБ на уровне минус 40 дБ для случая измерений амплитудного распределения типа «косинус» необходимо обеспечить СКО результатов измерений амплитудного распределения не более 1,5 дБ (на уровне минус 40 дБ) и фазового распределения не более 2°.

Таким образом, были численно определены требования, предъявляемые к антенным измерительным комплексам ближней зоны, удовлетворение которых позволит обеспечить заданные значения погрешности измерений нормируемых характеристик антенных систем современных и перспективных средств обнаружения и наведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шкуркин М.С. Метод определения метрологических характеристик измерительных комплексов ближней зоны, реализующих планарный способ сканирования // Вопросы метрологического обеспечения войск и сил флота. Сборник трудов 32 ГНИИИ МО РФ. – 2009. – Вып. 32. – С. 297-309.
2. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д., Курочкин А.П. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. – Л.: Изд-во «Наука», 1985. – 272 с.
3. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. О.Ю. Перфилов.

Шкуркин Максим Сергеевич – ФБУ «ГНМЦ Минобороны России»; e-mail: maxwell27@rambler.ru; 141006, г. Мытищи, Московская область; тел.: 84955869785; отдел исследований по обеспечению единства измерений напряжённости электромагнитных полей, параметров электромагнитной совместимости и радиолокационной заметности, начальник лаборатории.

Shkurkin Maksim Sergeevich – FBE «The Main Science Metrological Centre of The Defense Ministry of Russian Federation»; e-mail: maxwell27@rambler.ru; 141006, Mytisch, Moscow area; phone: +74955869785; department of electromagnetic field, electromagnetic compatibility and radar perceptibility measurement assurance, head of a sector.

УДК 550.8.08

В.Т. Минлигареев, В.Б. Лапшин, Е.А. Паньшин, С.В. Доренский

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИОНОСФЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, СВЯЗИ И
НАВИГАЦИИ**

Проведен анализ состояния метрологического обеспечения ионосферных наблюдений Росгидромета с целью эффективного функционирования систем, управления, связи и навигации. Выявлены проблемы и рассмотрены предложения по улучшению качества измерений для оперативного реагирования на ионосферные возмущения над территорией Российской Федерации, с требуемой точностью и достоверностью. В работе изложен системный подход в совершенствовании метрологического обеспечения ионосферных наблюдений и представлены предложения: по испытаниям средств измерений в целях утверждения типа; созданию рабочих эталонов; разработке нормативного обеспечения и перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений; созданию профильного технического комитета.

Метрологическое обеспечение; ионосферные наблюдения; точность и достоверность измерительной информации; системы управления; связи и навигации.

V.T. Minligareev, V.B. Lapshin, E.A. Panshin, S.V. Dorenskiy

**IMPROVEMENT OF METROLOGY ASSURANCE IONOSPHERIC
OBSERVATIONS FOR EFFECTIVE OPERATION CONTROL SYSTEMS,
COMMUNICATION AND NAVIGATION**

The analysis was performed for metrological provision of ionospheric observations Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring to the effective functioning of systems, control, communications and navigation. Problems were identified and proposals were considered to improve the quality of measurements for rapid response to ionospheric disturbances over the territory of the Russian Federation with the required accuracy and reliability. The paper outlined a systematic approach to improve the metrological provision of ionospheric observations and suggestions are presented: the testing of measuring instruments for type approval, the creation of working etalons, the development of normative support and a list of measurements falling within the scope of state regulation to ensure uniformity of measurements, the creation of the profile of the technical committee.

Metrological support; ionospheric observation; accuracy and reliability of measurement information; control systems; communications and navigation.

Ионосферные возмущения естественного и искусственного происхождения с каждым годом все заметнее влияют на различные сферы человеческой деятельности (функционирование систем управления, связи и навигации морских, воздуш-