

АНТЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В УКРАИНЕ

В. И. Марков¹, В. А. Усин²

¹Научно-исследовательский центр радиотехнических и оптико-электронных систем «Обрий», Черниговский р-н, с. Сновянка, ул. Лесная, 2-Б, 15532, Украина
Тел.: 80972897174; e-mail: Markov_VI@mail.ru

²Харьковский национальный университет радиозлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков - 61166, Украина, e-mail: usin_va@rambler.ru

Аннотация – Рассмотрены история и современное состояние теории и техники антенных измерений (АИ) в Украине и оценены перспективы дальнейшего развития методов АИ.

I. Введение

Антенные системы являются неотъемлемым элементом любой радиотехнической системы, связанной с передачей и обработкой информации. Именно характеристики антенны определяют в большинстве случаев точностные и потенциальные характеристики радиолиний различного целевого назначения (дальность действия, помехоустойчивость, разрешающую способность по угловым координатам и т.д.). Поэтому знание реальных характеристик антенн является важной задачей и привлекает к себе пристальное внимание специалистов. Так, среди тематических секций Украинской национальной ассоциации антенн (председатель проф. Я.С. Шифрин) создана секция по антенным измерениям, которая курирует указанные вопросы. В Украине регулярно (раз в два года) проводятся международные конференции по теории и технике антенн, обязательно включающие секцию АИ и издаются труды, в которых отражены состояние работ в области АИ.

II. Основная часть

Вопросам развития техники антенных измерений в СССР уделялось большое внимание.

Так, был выполнен ряд НИР и ОКР по тематике антенных измерений, регулярно проводились общесоюзные конференции по антенным измерениям в ВНИИРИ (Ереван) и семинары по теории и технике антенн в Москве. Ряд отраслевых конференций также имел секции по антенным измерениям.

Сформировался ряд центров, где развивалась как антенная тематика, так и не отделяемая от нее тематика антенных измерений. Такими наиболее крупными центрами в России стали: Москва (МНИИП, "Алмаз", "Альтаир", "Салют" и др.), Горький, Саратов, Томск, Минск (НИИПФП), Гомель (ГКБ "Луч").

На Украине вопросы антенных измерений рассматривались в ряде научных и производственных центров в Киеве (НИИ "Квант", НИИ НФПП, КПИ и др.), Запорожье (НПО "Искра"), Харькове (ВИРТА), Днепропетровске, Донецке, Тернополе, Севастополе.

Шестидесятые годы прошлого века были периодом усовершенствования традиционного метода антенных измерений (АИ) в дальней зоне. На Украине были созданы открытые антенные полигоны при ряде предприятий (поднятого и наклонного типа). Для них были разработаны опорно-поворотные устройства и начаты работы по автоматизации процесса измерения параметров антенн.

Так, один из лучших в Украине полигонов для измерений в дальней зоне был создан НИИ «Квант» под г. Черниговом. Комплекс состоит из ряда измерительных линий, передающая аппаратура которых

размещается на двух вышках высотой от 20 до 40 метров, а приемная в зале специального здания укрытом радиопоглощающим материалом (РПМ) и на его крыше (открытое беззхвое место), на удалении 448 и 990 метров от передающих рабочих мест. Площадка между вышками и зданием освобождена от препятствий и выровнена.

Для снижения влияния отражений от земли на результаты измерений параметров антенн на полигоне установлена дифракционная стенка. Полигон аттестован в рабочем диапазоне частот от 600 МГц до 12 ГГц для проведения измерений параметров антенн различных типов.

В семидесятые годы быстро внедрялись методы автоматизации антенных измерений.

Одним из первых полностью автоматизированных комплексов (АИК) для настройки и измерения параметров ФАР в дальней зоне был АИК «Десна-2», введенный в эксплуатацию НИИ «Квант» в 1974 году.

Однако традиционные методы измерения диаграмм направленности (ДН) исследуемых антенн (ИА) непосредственно в дальней зоне оказались практически неприемлемыми для настройки ФАР из-за большой погрешности определения амплитудно-фазового распределения на апертуре, вызванной, прежде всего, влиянием подстилающей поверхности на результаты измерений. Это обусловлено тем, что поле волны, приходящей на раскрыт исследуемой антенны из дальней зоны (ДЗ), существенно отличается от поля плоской волны.

Поле, облучающее антенну из дальней зоны, имеет сложную интерференционную структуру, которая зависит от вида поляризации, высоты и размещения облучающей антенны, погодных условий, времени года, вида и состояния подстилающей поверхности. Это существенно ограничивало возможности проведения настройки и контроля технического состояния ФАР. В частности, было невозможно на системном уровне корректно оценить техническое состояние антенны в целом, включая обтекатель и излучающие элементы, проводить отслеживание изменения АФР для его коррекции (был возможен контроль только технического состояния элементов в каналах ФАР).

Эти обстоятельства послужили толчком к разработке принципиально новых методов определения параметров антенных устройств – голографических (амплифазометрических или апертурно-зондовых) методов, которые основаны на измерении АФР ортогональных компонент электромагнитного поля в ближней зоне антенны с последующим расчетом параметров и восстановлением пространственной ДН и АФР на апертуре ФАР. Голографический метод обеспечивает высокую точность измерений, детальную информацию о техническом состоянии для проведения настройки ФАР, возможность проведения испытаний на заводе изготовителе и отсутствие зависимости от погодных условий [1, 2].

Поэтому в 1970-1980 гг. был выполнен ряд НИР и ОКР, направленных на развитие коллиматорного, амплифазометрического и коммутационного методов, начато строительство больших экранированных безэховых камер и начаты работы по созданию рабочих образцов компактных полигонов и стендов ближнего поля. В течение 1975-1979 годов был введен в строй ряд АИК ближней зоны и построены большие безэховые экранированные камеры (БЭК).

В основном БЭК имели форму параллелепипеда. Размеры типовых БЭК были 17.5x20.7x13.2 м., но некоторые уникальные БЭК имели размеры от 70x15x18 м. до 117x20x20 м.

Украинские ученые в 1978-1990 годах принимали активное участие в разработке теории и аппаратурной реализации:

- коллиматорных комплексов [3];
- амплифазометрических измерительных комплексов, в частности [4-7]:
 - планарных (зона сканирования: 2x2, 4x4.5, 5,6x6, 10x10, 12x10 м. и др.);
 - линейных (зона сканирования 5-8 м.);
 - цилиндрических (высота до 20 м.);
 - плоскополярных (радиус до 2 м.).
- радиометрического метода контроля и измерения параметров антенн;
- коммутационного метода контроля, калибровки и оценки параметров ФАР [8, 9];
- амплитудного и комбинированного методов измерения параметров ФАР в БЗ [10-12];
- динамических амплитудных методов контроля и измерения параметров ФАР в ДЗ и БЗ [2].

Так, еще в 1985 г. в издательстве «Наука» была выпущена первая в стране монография, обобщающая накопленный опыт антенных измерений в ближней зоне (Бахрах Л. Д., Кременецкий С. Д., Курочкин А. П., Усин В. А., Шифрин Я. С.) [1]. Статистическая теория погрешностей методов АИ в ближней зоне была разработана в работах Я. С. Шифрина и В. А. Усина [1, 13].

Не претендуя на полноту, отметим лишь некоторых ученых Украины, принимавших активное участие в развитии теории и техники АИ. Это, прежде всего, Я. С. Шифрин, С. В. Бутакова, Б. А. Белинский, Ю. Б. Гимпилевич, Н. Н. Горобец, В. А. Губарь, В. И. Гузь, В. И. Драновский, Ф. Ф. Дубровка, В. И. Замятин, А. В. Задворный, Л. И. Ильницкий, Д. А. Кавалеров, Э. Н. Каплан, Л. М. Лобкова, В. Р. Мануйлов, В. И. Марков, В. В. Овсянников, А. Л. Ольшевский, С. Н. Пацуля, В. М. Попель, Проценко М. Б., Токарский П. Л., В. А. Усин, А. Б. Филоненко, В. К. Чернов и многие другие.

В настоящее время, с нашей точки зрения, наиболее перспективными методами АИ можно считать амплитудные и комбинированные методы как для антенн с непрерывным распределением на апертуре (зеркальные, рупорные), так и для ФАР и АФАР [2].

В частности, в работах [11, 12] впервые было предложено использовать амплитудный и комбинированный методы для оценки характеристик ФАР.

Большое внимание уделяется развитию методов измерения параметров широкополосных антенн.

Прогресс в развитии средств вычислительной техники и измерительной аппаратуры позволил существенно увеличить точность и информативность АИ за счет усовершенствования методик проведения испытаний, алгоритмов обработки полученной информации, широкому применению встроенных

систем контроля и калибровки и проведению измерений параметров антенн в частотно-временных областях [14-15].

Так, при проведении разработки и испытаний ФАР принимается во внимание необходимость обеспечить:

- максимально полную оценку технического состояния каналов (элементов входящих в канал: аттенюаторов, фазовращателей, смесителей и других элементов ФАР) для режимов ПЕРЕДАЧА и ПРИЕМ;
 - выявление неисправностей и технологических дефектов в каналах ФАР;
 - адаптивную компенсацию фоновых сигналов и использование априорной информации о величинах вносимых потерь и реальных фазовых сдвигов при всех комбинациях управляющих сигналов в рабочей полосе частот;
 - проведение математического моделирования (с использованием математической модели ФАР и данных, полученных при контроле и измерениях) с нахождением и последующей оценкой их статистических характеристик;
 - многократную оценку технического состояния каналов ФАР и их элементов (выявление зависимости от режима работы, охлаждения и т.д.) – с помощью встроенной системы контроля;
 - статистическую обработку полученных данных и определение объема выборки АФР, достаточной для достоверной оценки параметров ФАР;
 - выборочное измерение характеристик ФАР, накопление результатов в базе данных, статистическая обработка и заключение о соответствии ФАР исходным требованиям;
 - компенсацию технологических погрешностей, вносимых АИК:
 - измеренных массивов амплитуд и фаз по контрольной строке (столбцу) (дополнительный проезд) для устранения влияния изменения температуры окружающей среды на результаты измерения параметров антенн;
 - измеренных массивов амплитуд и фаз по калибровочной характеристике измерителя;
 - измеренных массивов амплитуд и фаз по результатам аттестации механических характеристик сканера.
 - проведение настройки АФР в полном пространственном секторе углов, расчета и внесение необходимых фазовых и амплитудных поправок для пространственных угловых секторов на которые разбит полный сектор с учетом ограничений по возможности управления и юстировки для всех каналов ФАР;
 - использование нормированных параметров ФАР в диапазоне частот и секторе сканирования (нормировка производится к средней частоте диапазона и положению луча по нормали к апертуре). Комбинированное использование различных методов дает возможность провести настройку многофункциональных и многоканальных ФАР с эффективным устранением "узких мест" в их конструкции, с высокой достоверностью определить причину несоответствия ТХ заданным параметрам и решить ряд проблем диагностики технического состояния ФАР.
- Ряд из указанных вопросов отражен в [2, 4, 16].
- Использование многоканальных зондовых систем (МЗС) с пространственным разнесением измерительных каналов позволяет увеличить эквивалент-

ную плотность размещения излучающих элементов, расширить полосу рабочих частот МЗС при сохранении пространственного сектора восстановления ДН и, в то же время, ослабить влияние зонда на поле исследуемой ФАР [17].

Применение МЗС позволяет сократить время и стоимость проведения испытаний МФАР с широкоугольным сканированием в широкой полосе рабочих частот и обеспечить экономию ресурса изделия и АИК.

III. Заключение

В целом, как показывает опыт, основным направлением развития методов АИ является повышение точности и информативности методов. Это достигается комплексированием различных методов АИ, повышением функциональных возможностей, точности и быстродействия измерительной аппаратуры, встроенными процедурами автоматической калибровки, усложнением алгоритмического обеспечения АИ. Все это в целом повышает точность и достоверность оценки характеристик антенн, и, прежде всего ФАР, АФАР и ЦАР.

IV. Список литературы

- [1] *Методы измерения параметров излучающих систем в ближней зоне*/ Л. Д. Бахрах и др. - Л.: Наука, 1985, 272 с.
- [2] *Усин В. А., Марков В. И., Губарь В. А., Ковальчук В. А., Рожнятовская Л. В., Усина А. В., Филоненко А. Б.* Основные тенденции развития ближнезонных методов измерения характеристик антенн. ч. 1 Методы измерений линейных и апертурных антенн. Радиотехника, вып. 146, 2006 г., с. 107-120
- [3] *Dranovs'kyi V. I.; Ovsyanikov V. V.; Olshevskiy A. L., Popel V. M.* 'A multipurpose anechoic chamber for researches of antennas', 5th Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, 24-27 May, 2005, Page(s): 375 – 378
- [4] *Гузь В.И., Марков В.И., Зайцев А.А., Мартынов В.А., Филоненко А. Б.* Автоматизированная система для контроля и настройки ФАР. // Известия высших учебных заведений. Радиотехника. – Киев. Том 50, №1, январь 2007 г. с 46-51.
- [5] *Усин В. А., Марков В. И., Филоненко А. Б.* Расчетно-экспериментальный метод настройки многоканальных ФАР. Электромагнитные волны и электронные системы, 2004, т.9, №3-4, стр. 94-100.
- [6] *Усин В. А., Кириллов С. В., Шведова Н. А.* Автоматизированный измерительный комплекс для определения ДН антенн//Радиотехника: Меж вед. Научн.-тех. Сб. 1987, Вып.. 83. С. 10-15.
- [7] *Проценко М. Б.* Автоматизированный измерительный комплекс для исследования поляризационных характеристик излучения антенн// Оптимизация производственных процессов: Сб. научн. Тр. Севастополь, 1999.- Вып.. 1. С. 141-145.
- [8] *Активные фазированные антенные решетки* / Под ред. Д.И. Воскресенского, А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
- [9] *Марков В. И.* Встроенная система контроля ФАР // Вісник Київського Національного університету імені Тараса Шевченка. – Київ.: Київський університет – 2006 – випуск 2, стор. 94-100.
- [10] *Markov V. I., Filonenko A. B.* 'Implementation of phase retrieval techniques for improving the results of phased array antennas near-field measurements', ММЕТ, 2004, pp.177-179.
- [11] *Усин В. А., Ковальчук В. А., Марков В. И., Филоненко А. Б.* Комбинированный метод измерения характеристик антенн. - Успехи современной радиоэлектроники №5, 2005 г. стр. 65-71.
- [12] *Markov V. I., Filonenko A. B.* Implementation of phase retrieval techniques for phased-array antennas measurements, AMTA 2004.

- [13] *Shifrin Ya. S., Usin V. A.* Statistic theory of antenna measurements. Telecommunications and Radio Engineering, 2002, v.58, №8, pp. 34 – 83.
- [14] *Токарский П. Л., Усин В. А., Щербина А. А.* Применение персонального компьютера при измерениях ДН антенн // Радиотехника. 2001, Вып.. 123. С. 155-162.
- [15] *Usina A. V., Usin V. A., Anohina O. D., Markov V. I., Filonenko, A.B.* 'Computer simulation in design of built-in performance monitoring and alignment systems for phased array antennas', 15th Int. Conf. on Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2004. Volume 2, 17-19 May 2004 Page(s): 481 – 484
- [16] *Markov V. I.* Built-In Performance Monitoring System For Active Phased-Array Antennas // Proc. of the 6-th International Conference on Antenna Theory and Techniques, 17-21 September, 2007, Sevastopol, Ukraine. - pp. 483-485.
- [17] *Усин В. А., Марков В. И., Рожнятовская Л. В., Усина А. В.* Применение пространственно разнесенной многозондовой системы для измерения параметров ФАР.– В кн.: 16-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2006). Материалы конф. [Севастополь, 11-15 сент. 2006 г.]. – Севастополь: Вебер, 2006, т 2, с. 821-822.

ANTENNA MEASUREMENTS IN UKRAINE

Markov V. I.¹, Usin V. A.²

¹ *The Research and Development Centre of Radio Engineering and Optic-Electronic Systems "Obriy" Vil. Snovjanka, Chernigov Reg., 15532, Ukraine Ph.: 80972897174; e-mail: Markov_VI@mail.ru*
² *Kharkov National University of Radio Electronics 14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine Ph.: (80572) 218050; e-mail: usin_va@rambler.ru*

Abstract – This paper discusses the antenna measurement techniques and antenna test facilities developed over the last decades at a number of enterprises in Ukraine. These facilities include far-field, near-field and compact ranges and automatic test systems. Some of these ranges are described more detailed. The significant progress in obtaining improved measurement accuracy is also discussed here. The characteristics of anechoic chambers built in Ukraine are briefly discussed.

The last decades of the 20th century have seen rapid growth in automation of antenna measurements and the wide adoption of near-field measurement techniques as the best solution for many applications for increasing productivity and reducing costs. These include use of significant higher speed RF equipment, extension to sub-millimeter wave frequencies, novel scanning robot systems and techniques, advances in tracking systems to improve positioning accuracy, and development of improved error suppression techniques.

The significant advances have also been made in software control and the man-machine interface to automate the process of collecting and analyzing data for sophisticated antennas. The progress in the holographic back-projection techniques, amplitude only methods and built-in performance-monitoring systems helped immensely in faults diagnostics and in alignment of complex phased array antennas.

During the last decades, many efforts in the field of antenna measurements were devoted to obtaining high accuracy. This led to the need for new methods to be developed along with a requirement for more sophisticated measurement tools and software. As a result, new emphasis was given to the development of measurement techniques.

The various techniques of antenna measurements are discussed in the report and illustrated with the real measurement results.