

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СКОРОСТИ АВИАЦИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

© 2018 Р.Р. Валитов¹, С.К. Киселев²

¹АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»

²Ульяновский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

В статье приводятся результаты моделирования и проведения замеров основных характеристик фазированной антенной решетки для применения ее в доплеровском измерителе составляющих скорости авиационного назначения. Измерительным оборудованием являлось, распространенное в последние годы, автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс (АИВК). Целью является рассмотрение теоретических и практических особенностей метода измерения характеристик антенн и определение теоретического подхода для разработки алгоритма обработки сигналов антенны в ближней зоне в частотной области. Техническим результатом является повышение точности и уменьшение времени определения диаграммы направленности фазированных антенных решеток. Использование метода ближней зоны в частотной области для определения характеристик антенн является одной из самых подходящих методов для фазированных антенных решеток. Данным методом можно определять с достаточно высокой точностью те же параметры, что и традиционным и другими методами антенных измерений. Метод ближней зоны позволяет проводить измерения, используя лишь небольшую территорию или безэховую камеру. Описанный метод позволяет в полном объеме провести измерение основных характеристик антенн, выполняющих функцию как приема, так и передачи, для подтверждения требований ДИСС. *Ключевые слова:* фазированная антенная решетка, метод ближней зоны, автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс, доплеровский измеритель составляющих скорости.

Автономные доплеровские измерители составляющих скорости (ДИСС) призваны обеспечить прибытие пилотируемого или беспилотного летательного аппарата (ЛА) к пункту с известными координатами. При решении этих задач ДИСС может использоваться как в полете ЛА по маршруту, так и для осуществления режимов висения и посадки ЛА.

В полете ЛА по маршруту ДИСС позволяет измерить две величины: путевую скорость и угол сноса или продольную (по оси ЛА) и поперечную составляющие вектора путевой скорости. При решении задач висения и посадки вертолетов ДИСС измеряет вектор полной скорости ЛА, то есть три составляющей вектора скорости в системе координат, связанной с ЛА, либо в так называемой горизонтальной системе координат.

В основе метода измерения скорости лежит эффект Доплера – изменение воспринимаемой частоты колебаний, обусловленное движением источника или приемника волн, либо и того и другого. В случае измерения скорости летательных аппаратов нет возможности разместить приемник или источник волн неподвижно относительно него и измерять разность скорости

между ними. Поэтому и передающая и приемная антенна расположена на корпусе летательного аппарата. При этом для улучшения массогабаритных показателей необходимо, чтобы в ДИСС функцию приема и передачи выполняла одна антенна [4].

Основной характеристикой антенны как излучающего и приемного устройства является диаграмма направленности (ДН) определяющая структуру поля излучения антенны на значительном (по отношению к электрическим размерам излучающей апертуры антенны) расстоянии от антенны – в дальней зоне. Физический смысл понятия дальней зоны состоит в том, что исследуемая антенна находится в поле плоской волны. В зависимости от способа формирования такой плоской волны различают два основных метода измерения ДН: измерения в дальней зоне и измерения в ближней зоне.

Измерения в дальней зоне являются прямым методом, достаточно просты, не требуют сложной аппаратуры, однако обладают рядом недостатков:

- значительные расстояния между исследуемой и зондовой антенной, что предполагает проведение измерений вне помещений;
- существенное влияние окружающих предметов и подстилающей поверхности;
- зависимость от погодных условий;

Валитов Рафаэль Рафикович, аспирант.

E-mail: r.valitov_ukbp@mail.ru

Киселев Сергей Константинович, д.т.н., зав. кафедрой.

E-mail: ksk@ulstu.ru

– невозможность обеспечения скрытности измерений;

– невозможность измерения пространственной ДН (как правило, измеряют некоторые сечения).

Измерения в ближней зоне свободны от этих недостатков. Методологической основой этих измерений является создание на небольшом расстоянии от исследуемой антенны некоего излучения, формирующего в раскрыве антенны полосовую волну. Осуществить это возможно двумя путями:

– формирование участка плоского фронта с помощью специальной антенны – коллиматора (коллиматорный метод);

– синтезирование участка плоского фронта за счет последовательного помещения слабо-направленной антенны в узловые точки, расположенные на некоторой поверхности вблизи исследуемой антенны и измерения амплитуды и фазы поля излучения в этих точках. В дальнейшем полученная информация обрабатывается и путем математических расчетов вычисляются требуемые характеристики (радиолографический или амплифазометрический метод). Общие преимущества ближнезонных измерений заключаются в том, что измерения проводятся в помещении на небольших расстояниях. Для минимизации побочных воздействий и обеспечения скрытности измерений исследуемая антенна и измерительная аппаратура располагаются в безэховых камерах, представляющих собой экранированные помещения, все поверхности которых покрыты радиопоглощающим материалом.

Особенностью антенн, как объектов измерения, является их чрезвычайное многообразие по массогабаритным показателям, конструк-

тивным особенностям, характеристикам направленности, частотному диапазону и, наконец, доступным для измерения условиям.

Исходя из комплексного анализа перечисленных факторов, на начальном этапе выбирается метод измерения, подходящий для измерения данной антенны в заданных условиях далее выбирается автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс (АИВК).

Целью является рассмотрение теоретических и практических особенностей метода измерения характеристик антенн и определение теоретического подхода для разработки алгоритма обработки сигналов антенны в ближней зоне в частотной области. Техническим результатом является повышение точности и уменьшение времени определения диаграммы направленности фазированных антенных решеток.

Классификация методов измерения антенн и связанных с ними типов АИВК.

По характеру используемой для измерения области излучения антенны все методы измерения подразделяются на методы дальней, квазидальней и ближней зоны. Метод дальней зоны реализуется путем расположения вспомогательной антенны в зоне прямой видимости испытуемой ФАР и на таком расстоянии от испытуемой ФАР, где выполняется условие дальней зоны. При этом испытуемая ФАР и вспомогательная антенна располагаются на вышках. Основными недостатками способа являются трудность выполнения условия дальней зоны и необходимость больших, специально оборудованных полигонов. Недостатки этого способа устранены в способах измерения характеристик антенн [1].

Измерение в ближней зоне выполняются на расстоянии порядка $3-5\lambda$ от излучающей

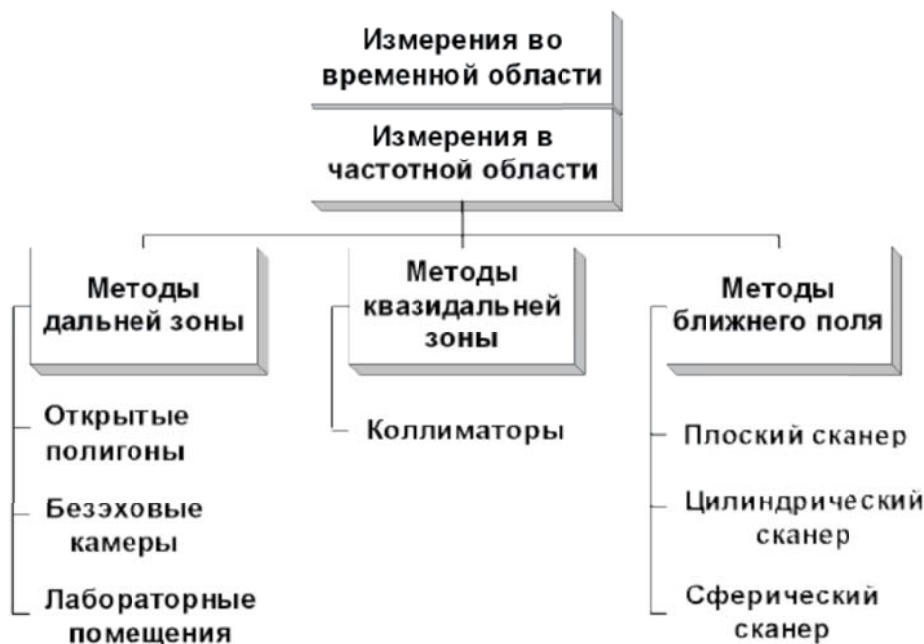


Рис. 1. Классификация методов измерения антенн [1]

поверхности антенны. При этом небольшая слабонаправленная антенна-зонд перемещается вблизи исследуемой антенны по заданной поверхности сканирования. В зависимости от структуры ближнего поля и, соответственно, характера диаграммы направленности используются комплексы планарного (плоского), цилиндрического и сферического сканирования.

Основными характеристиками антенн являются:

- объемная амплитуда диаграмм направленности (АДН) и его сечения;
- объемная фазовая диаграмма направленности (ФДН) и его сечения;
- коэффициент усиления (КУ);
- коэффициент направленного действия (КНД);
- поляризационная характеристика;
- координаты фазового центра [5].

Определение диаграмм направленности лучей четырехлучевой антенны выполняется на автоматизированном измерительно-вычисли-

тельном комплексе (АИВК), который предназначен для измерений амплитудно-фазового распределения (АФР) на апертуре антенны методом ближнего поля (планарное сканирование) в частотной области и вычислений радиотехнических характеристик (РТХ) антенн [3].

Основными техническими характеристиками АИВК являются (табл. 1.)

**АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН В БЛИЖНЕЙ
ЗОНЕ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АИВК**

Принцип измерения характеристик антенн в ближней зоне, с точки зрения теории электромагнитного поля, основан на решении уравнений Максвелла для расчета поля в дальней зоне антенны по известному распределению амплитуды и фазы ближнего поля (на расстоянии по-

Таблица 1. Основные технические характеристики АИВК

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Диапазон рабочих частот	1.0 – 40.0 ГГц
2	Число программно-управляемых координат позиционера измеряемой антенны	4 (слайдер, AZ, EL, P)
3	Число программно-управляемых координат сканера	4 (X, Y, Z, P)
4	Максимальная нагрузка на позиционер измеряемой антенны	250 кг · 0,5м
5	Точность позиционирования измеряемой антенны по угловым координатам	± 0,05 град.
6	Диапазон изменения углов позиционирования измеряемой антенны:	
	- по AZ	± 200 град.
	- по P	± 90 град.
	- по EL	- 10 ÷ + 95 град.
7	Диапазон изменения линейной координаты позиционера измеряемой антенны по нижнему слайдеру	± 2 м
8	Точность позиционирования по линейным координатам сканера X, Y, Z	± 0,2 мм
9	Точность позиционирования по угловой координате P сканера	± 0,05 град.
10	Размер рабочей зоны Т-сканера	2,5 м x 2,5 м
11	Пределы восстановления ДН по угловым координатам сканера (планарное сканирование)	± 60 град.
12	Инструментальные погрешности измерений:	
	- АДН:	
	- до уровня минус 20дБ	± 0,2 дБ
	- до уровня минус 30дБ	± 0,27 дБ
	- до уровня минус 50дБ	± 1,5 дБ
	- ФДН:	
	- до уровня минус 20дБ	± 1,5 град.
	- до уровня минус 30дБ	± 2,5 град.
	- до уровня минус 50дБ	± 7,5 град.
	-КУ	± 0,35 дБ
13	Питание	220В, 50Гц, 3кВт макс.

рядка нескольких длин волн) на некоторой замкнутой поверхности S , охватывающей антенну.

Различные способы решения уравнений Максвелла определяют возможность использования различных алгоритмов восстановления поля в дальней зоне.

Требование замкнутой поверхности S означает, что при измерениях должно быть «собрано» все поле, существующее вокруг антенны.

Различные типы антенн отличаются по характеру локализации ближнего поля. Соответственно, для их измерения используются различные типы сканирующих устройств, реализующие различные поверхности обзора: плоскую, цилиндрическую или сферическую.

Измерения с помощью плоского сканера возможны для направленных апертурных антенн (рупорные, зеркальные и т.п.) и антенных решеток с электрическими размерами, по крайней мере, порядка нескольких длин волн и с коэффициентом усиления, по некоторым оценкам, порядка ≥ 15 дБ. У антенн такого типа практически все излучаемое поле локализовано на некоторой плоскости вблизи апертуры.

Измеряемая антенна устанавливается стационарно, а небольшая слабонаправленная вспомогательная антенна – зонд – механически перемещается вблизи раскрыва измеряемой антенны вдоль плоской поверхности по координатам X и Y , производя измерения поля в узлах заданной равномерной прямоугольной сетки (рис. 2) с шагом

$$\Delta x = \Delta y \leq \lambda/2. \quad (1)$$

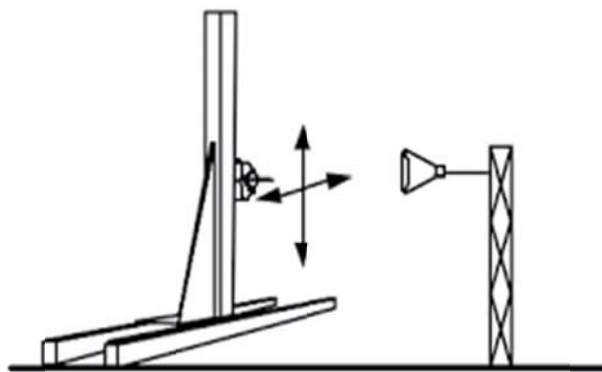


Рис. 2. Схематическое изображение плоского сканера

Минимальные размеры области сканирования L , должны удовлетворять условию:

$$L > D + 2h \times \operatorname{tg} \theta_{\max}, \quad (2)$$

где D – максимальный размер измеряемой антенны;

h – расстояние от плоскости сканирования до раскрыва антенны;

θ_{\max} – максимальный требуемый угол диаграммы направленности.

Для исключения измерения реактивной составляющей поля и взаимного влияния зонда и

измеряемой антенны, как правило, задается h равной от 3λ до 5λ .

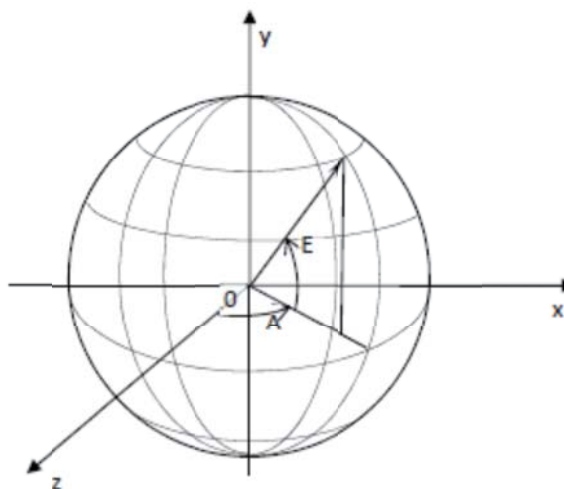


Рис. 3. Система координат

Максимальный спектр углов диаграммы направленности, который может быть измерен при плоском сканировании, составляет от $\pm 60^\circ$ до $\pm 70^\circ$.

В ходе одного цикла измерений формируется набор сигналов S_{mn} . Эти сигналы соответствуют m, n -му положению зонда при сканировании в плоскости раскрыва антенны по двум координатам. Система координат, используемая при расчете диаграммы направленности антенны, показана на рис. 3. Сканирование осуществляется в плоскости xoy , параллельной плоскости раскрыва антенны. В общем случае (для антенн с произвольной поляризацией) измерения проводятся при горизонтальной и вертикальной ориентации вектора E зондовой антенны. Тогда для каждого положения зонда имеем два сигнала S_{mn}^x, S_{mn}^y .

Этот набор комплексных чисел описывает амплитудно-фазовое распределение поля на плоскости вблизи раскрыва антенны. Для вычисления диаграммы направленности антенны требуется выполнить суммирование комплексных амплитуд S_{mn} . При этом необходимо учитывать временные задержки, соответствующие направлениям A, E диаграммы направленности (A – азимут, E – угол места). При измерении распределения на плоскости такое суммирование может быть выполнено с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье:

$$S_{kl} = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} S_{nm} e^{j2\pi \left(\frac{nk}{N} + \frac{ml}{M} \right)}, \quad (3)$$

где $k=0, \dots, N-1; l=0, \dots, M-1, (N, M$ – число сигналов, измеренных по координатам X и Y).

Полученные после двумерного преобразования Фурье массив комплексных чисел S_{kl} определяет распределение вертикальной или гори-

зонтальной компоненты поля в дальней зоне в координатах пространственных частот u, v , которые связаны с координатами A и E соотношениями:

$$u = \sin A \cos E; \quad (4)$$

$$v = \sin E. \quad (5)$$

Шаг между отсчетами спектральной функции $S(u,v)$ в координатах пространственной частоты

$$\Delta u = \frac{\lambda}{L_x}, \Delta v = \frac{\lambda}{L_y}, \quad (6)$$

где L_x, L_y – размер области измерения распределения поля по координатам X и Y ;

λ – длина волны.

Значение спектральной функции для координат $|u| > 1$ и $|v| > 1$ соответствуют «невидимым» углам диаграммы направленности $|A| > 90^\circ$, $|E| > 90^\circ$ и должны быть отброшены.

Для антенн с поляризацией отличной от вертикальной или горизонтальной (то есть в общем случае эллиптической поляризации), измеряются две ортогональные составляющие распределения ближнего поля и, соответственно, вычисляются спектральные функции $S_x(u,v), S_y(u,v)$.

Далее от спектров Фурье распределения поля на плоскости S_x, S_y осуществляется переход к тангенциальным составляющим поля в дальней зоне F_A, F_E :

$$F_A(u, v) = \sqrt{1 - u^2 - v^2} S_x(u, v); \quad (7)$$

$$F_E(u, v) = \sqrt{1 - u^2 - v^2} S_y(u, v). \quad (8)$$

Функции $F_A(u,v), F_E(u,v)$ описывают распределение тангенциальных составляющих поля в координатах (u,v) . Переход к координатам «азимут – угол места» (A, E) осуществляется на основе соотношений (4, 5) путем двумерной интерполяции:

$$F_A(u, v) \rightarrow F_{A,E}(A, E). \quad (9)$$

Приведенные соотношения для расчета диаграммы направленности справедливы для идеального зонда – ненаправленного точечного излучения. Реальная зондовая антенна обладает направленными свойствами, то есть имеет свою диаграмму направленности, которую необходимо учитывать в алгоритме обработки. Если учитывать только основную составляющую ДН зонда (и не принимать во внимание кроссовую компоненту), коррекция результатов измерений сводится к делению рассчитанной диаграммы направленности исследуемой антенны на диаграмму направленности зонда.

На основе полученных составляющих в дальней зоне $F_A(A,E), F_E(A,E)$ рассчитываются амплитудно-фазовые ДН, а так же другие характеристики антенн (КНД, КУ, поляризационные характеристики).

Коэффициент направленного действия D рассчитывается путем численного интегрирования нормированной объемной диаграммы направленности $F_n(A,E)$. Если углы A и E лежат в пределах $[A_{\min}; A_{\max}]$ и $[E_{\min}; E_{\max}]$, то выражение для расчета коэффициента направленного действия имеет вид:

$$D = \frac{4\pi}{\int_{A_{\min}}^{A_{\max}} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} F_n^2(A, E) \cos E dE dA}. \quad (10)$$

Коэффициент усиления измеряется методом сравнения с эталонной антенной. Для этого измеряются распределения ближнего поля исследуемой и эталонной антенн.

Значение коэффициента усиления определяется соотношением:

$$K_A = \frac{Q_A}{Q_{\text{эт}}} K_{\text{эт}}, \quad (11)$$

где $K_A, K_{\text{эт}}$ – коэффициенты усиления исследуемой и эталонной антенн;

$Q_A, Q_{\text{эт}}$ – значение ненормированных диаграмм направленности главного максимума для исследуемой и эталонной антенны.

Поляризационная характеристика – коэффициент эллиптичности r_β и угол наклона поляризационного эллипса β – определяются с помощью соотношений:

$$r_\beta = \frac{1 + p^2 - \sqrt{1 + 2p^2 \cos 2\Phi + p^4}}{2p \sin \Phi}; \quad (12)$$

$$\beta_\beta = \frac{1}{2} \arctg \left[\frac{2p \cos \Phi}{1 - p^2} \right], \quad (13)$$

$$\text{где } p = \frac{|F_\alpha|}{|F_\beta|}, \quad (14)$$

$$\Phi = \arg\{F_\alpha\} - \arg\{F_\beta\}.$$

При использовании соотношения (12) коэффициент эллиптичности r_β рассчитывается в интервале $[-1; 1]$. Знак коэффициента эллиптичности определяется направлением вращения вектора напряженности электрического поля.

Данный алгоритм расчета основных характеристик антенны в ближней зоне применяется в программном обеспечении АИВК.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА

Структурная схема измерительного стенда для измерений характеристик антенн в ближней зоне в частотной области представлена на рис. 4.

Исследуемая антенна неподвижна и устанавливается таким образом, чтобы зонд располагался в непосредственной близости от плоскости сканирования и параллельно ей. Плоскость сканирования ориентируется таким образом, что ось X располагается горизонтально, ось Y

– вертикально. Размеры области сканирования выбираются таким образом, чтобы значения амплитуды поля на краю области сканирования были максимально малы. Процесс измерения построен таким образом, что зонд пробегает всю строку по координате X, затем следует перемещение по координате Y на величину $\lambda/2$, затем опять по координате X в обратном направлении. Для формирования запускающих импульсов для измерительного приемника используются перфорированный координатные линейки. Следует отметить, что исследуемая антенна и измерительный зонд могут работать как в режиме излучения, так и в режиме приема (попарно) [6].

T-сканер предназначен для автоматического перемещения зондовой антенны в плоскости сканирования (X,Y) и в направлении, перпендикулярном плоскости сканирования (Z), обеспечивая при этом возможность высокоточного пространственного позиционирования зонда в координатах X,Y,Z. Кроме того, в сканере обеспечивается возможность автоматического изменения поляризации P зондовой антенны. Зонд устанавливается в безэховой камере, направляющие для сканирования по координатам X и Y укрыты радиопоглощающим материалом.

Управление сканером на этапе подготовки к измерениям производится вручную, при помощи пульта дистанционного управления (ДУ) и контроллера сканера. На этапе измерений сканер управляется программно посредством персонального компьютера (ПК) и контроллера.

Контроллер ОПУ предназначен для автоматического пространственного позиционирования измеряемой антенны. Управление динамикой движения ОПУ осуществляется программно с помощью контроллера, управляемого персо-

нальным компьютером (ПК).

Векторный анализатор цепей является центральным звеном измерительного стенда. Он формирует синусоидальные сигналы в заданном частотном диапазоне работы комплекса, которые поступают на вход зондовой антенны. Зондовая антенна излучает их в направлении измеряемой антенны. Принятые измеряемой антенной сигналы подаются на вход анализатора сигналов, где они преобразуются в цифровой код и поступают в память ПК для последующей обработки.

В результате прохода антенной-зондом заданной области сканирования для различных ракурсов измеряемой антенны, задаваемых ОПУ, в памяти ПК формируется массив сигналов, принятых измеряемой антенной.

Далее ПК обрабатывает этот набор сигналов с целью получения требуемых радиотехнических характеристик измеряемой антенны.

Проверку основных параметров антенны выполняется в полосе частот (13250-13400) МГц.

Проверку антенного модуля (АМ) проводят в безэховой камере, выполняя следующие операции с АИВК:

- а) проводят внешний осмотр АМ;
- б) закрепляют АМ на опорно-поворотном устройстве (ОПУ) или приспособлении в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на АМ;
- в) включают питание безэховой камеры;
- г) переместить АМ, размещённую на ОПУ, в область сканирования;
- д) выполнить операцию установки зонда в начальную точку путём перемещения с помощью пульта ручного управления контроллера сканера;
- е) соединить АМ с анализатором сигнала

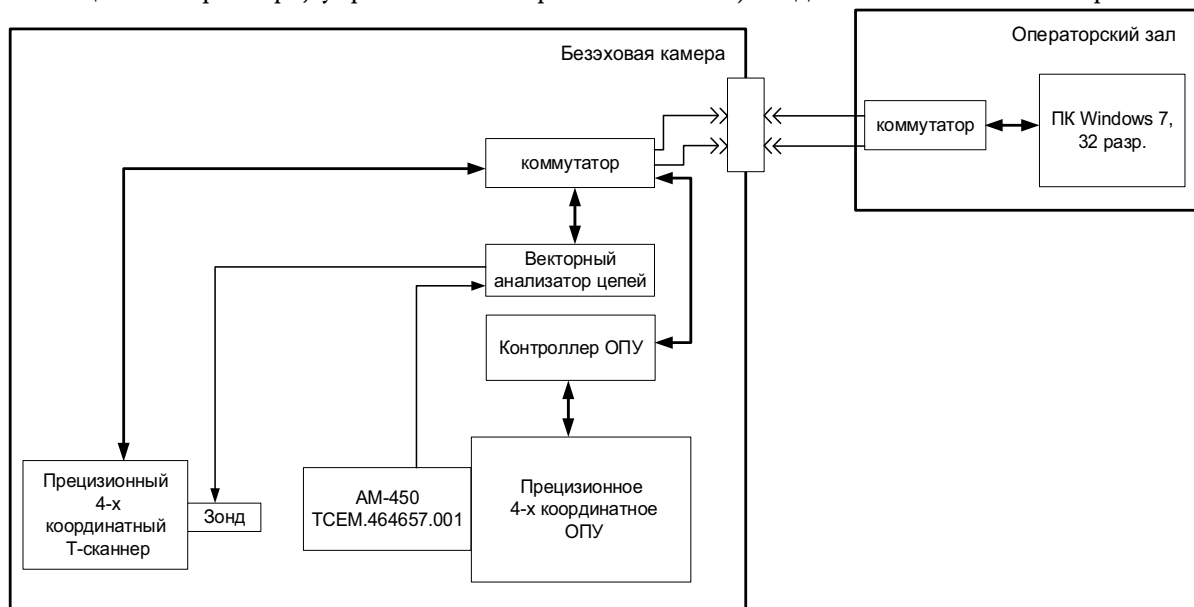


Рис. 4. Структурная схема измерительного стенда для измерения характеристик антенн в ближней зоне в частотной области

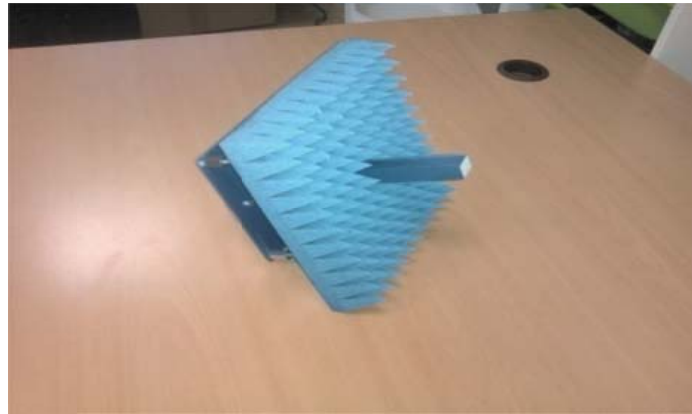
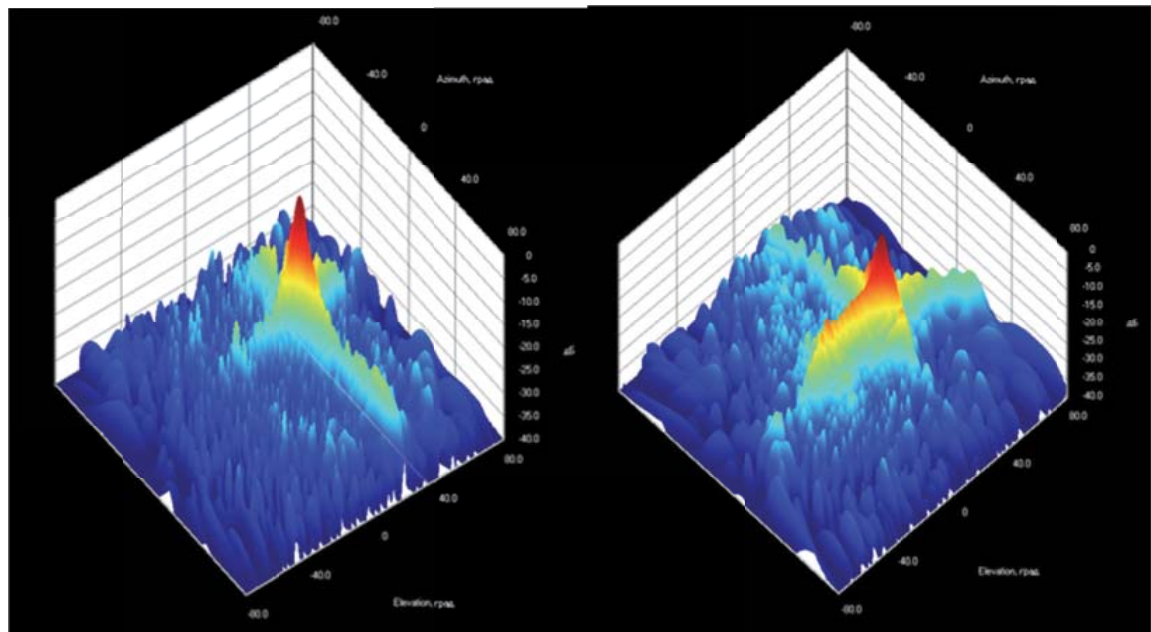
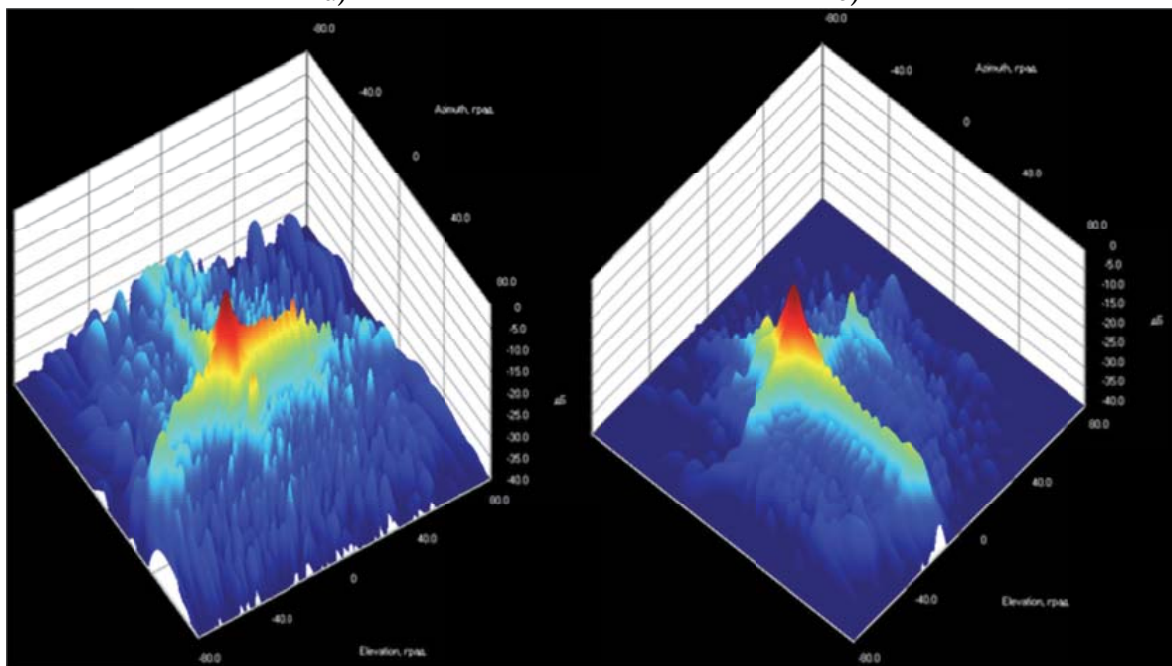


Рис. 5. Внешний вид антенны – зонда (диапазон частот 8 – 18 ГГц)



а)

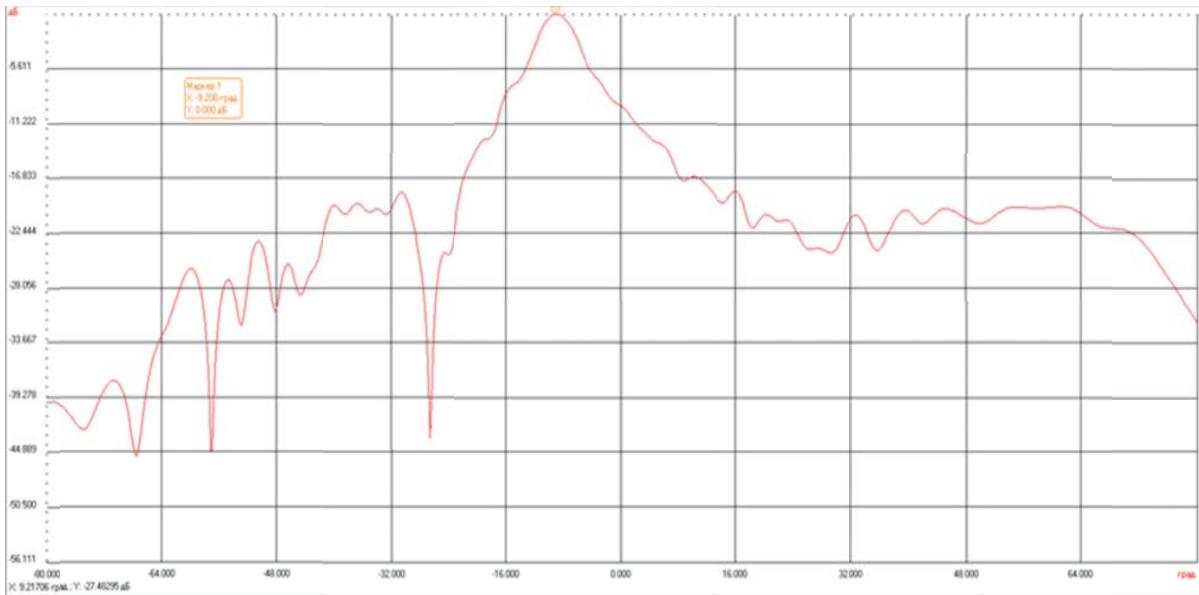
б)



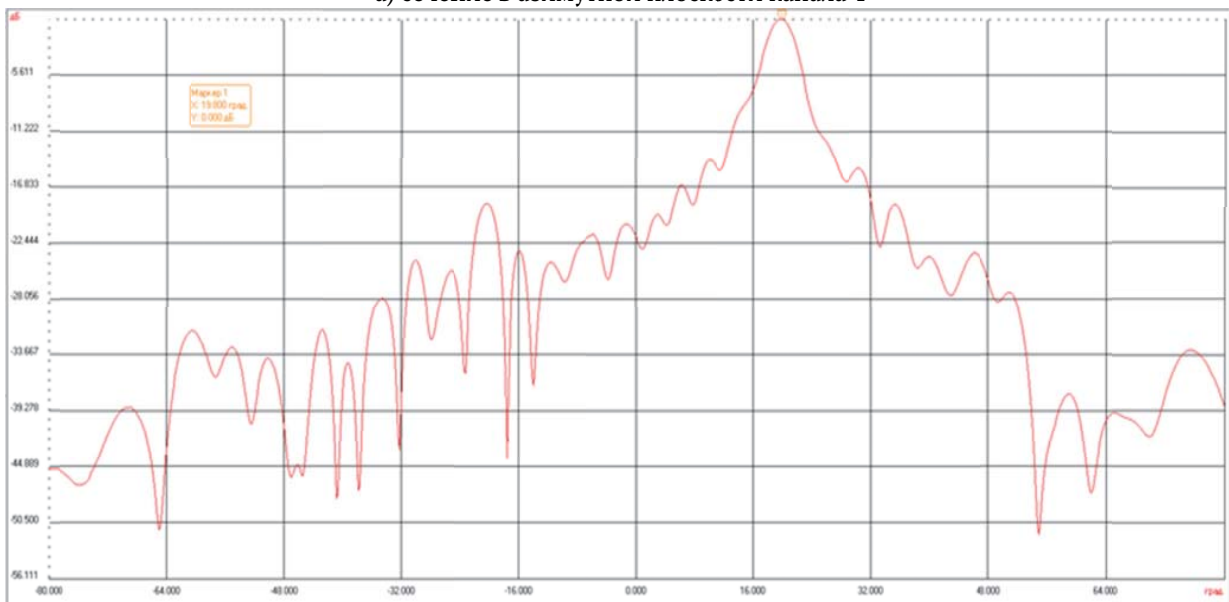
с)

д)

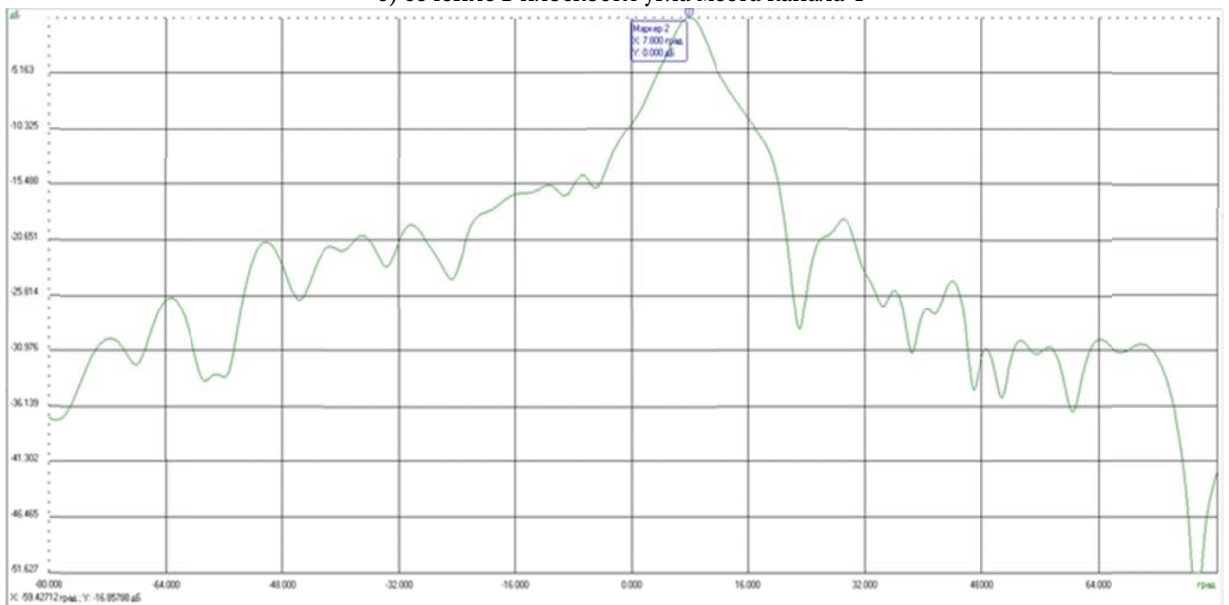
Рис. 6. Графическое представление измеренных ДН



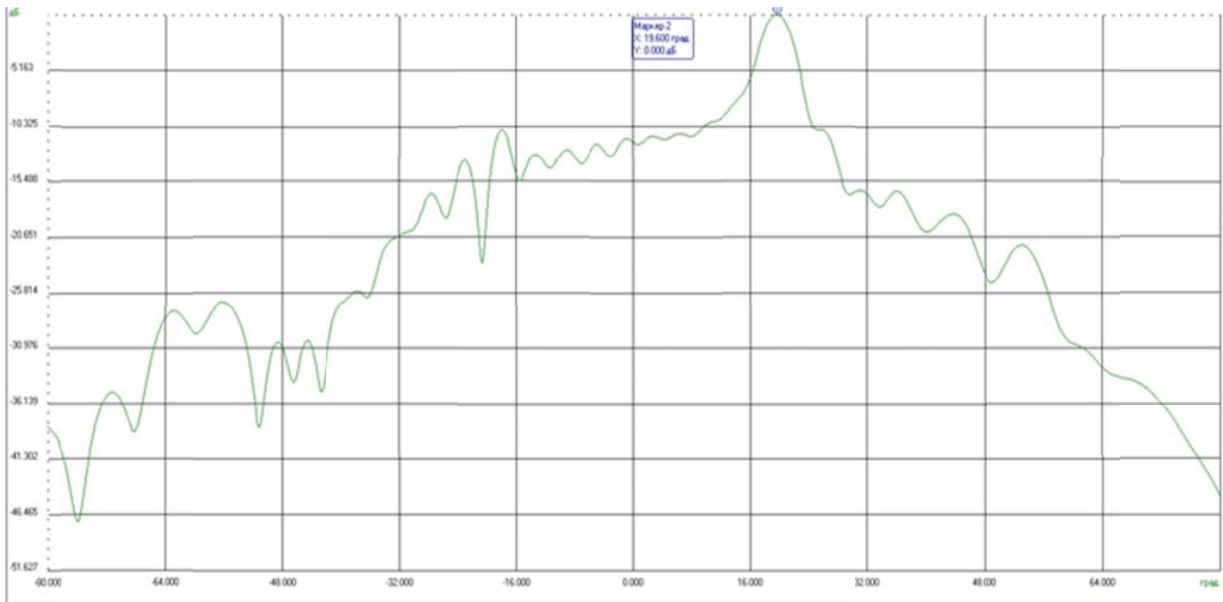
а) сечение в азимутной плоскости канала 1



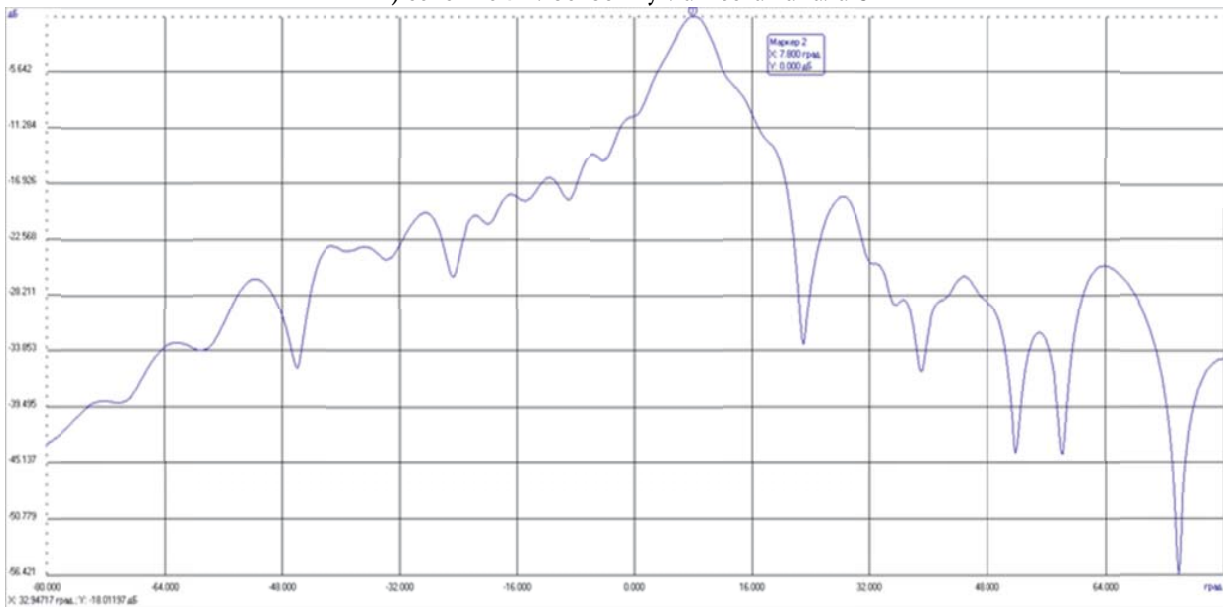
б) сечение в плоскости угла места канала 1



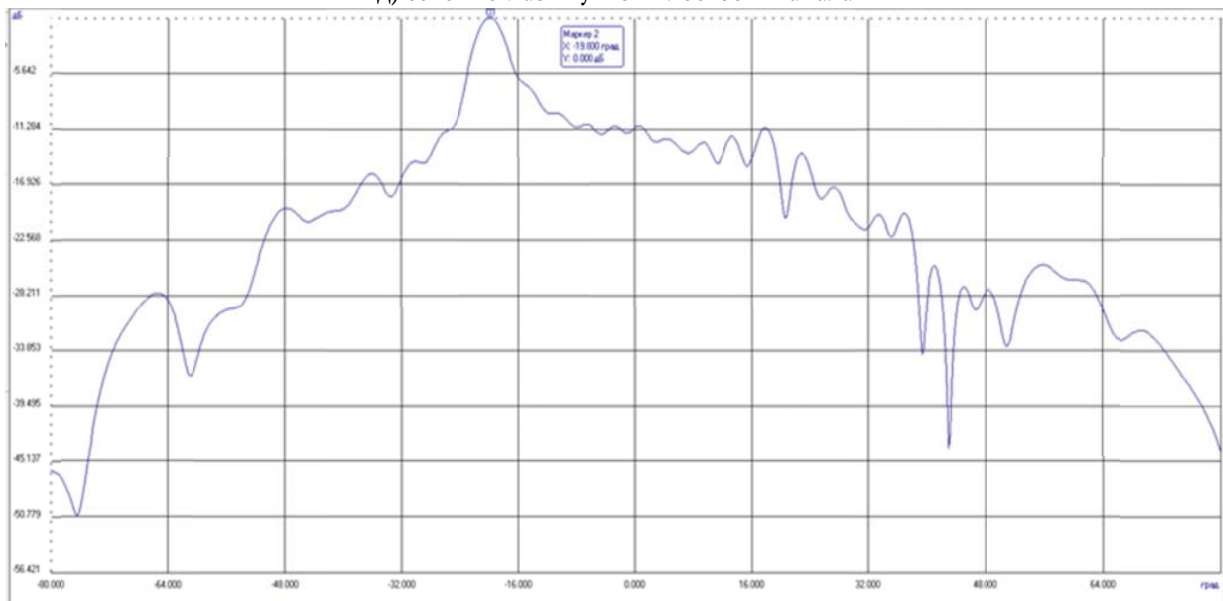
в) сечение в азимутной плоскости канала 3



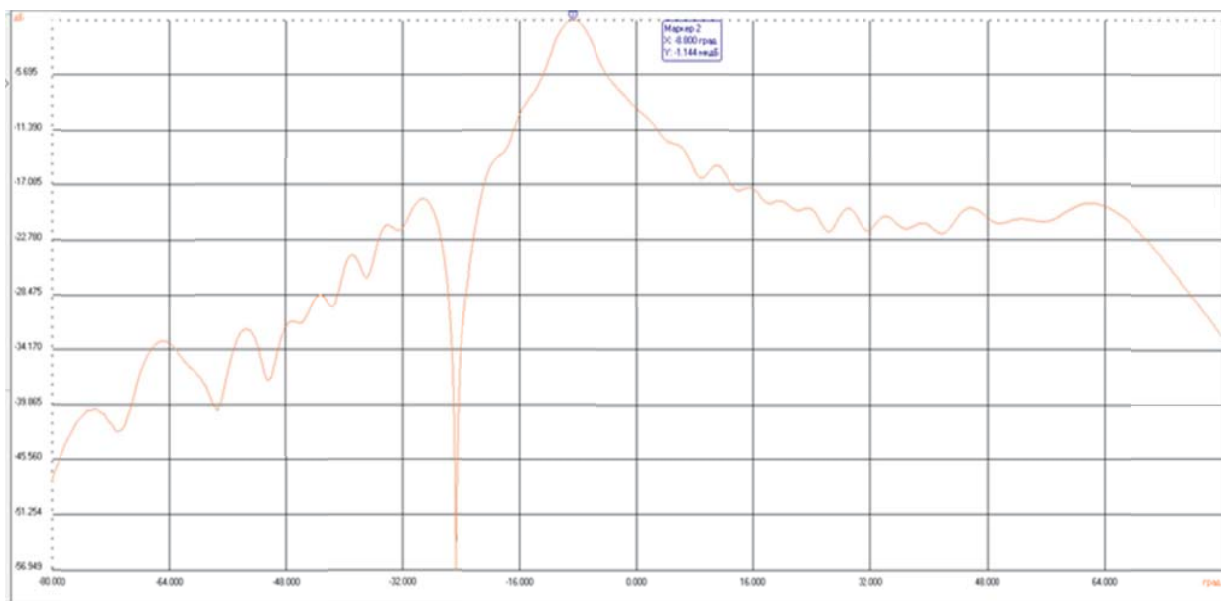
г) сечение в плоскости угла места канала 3



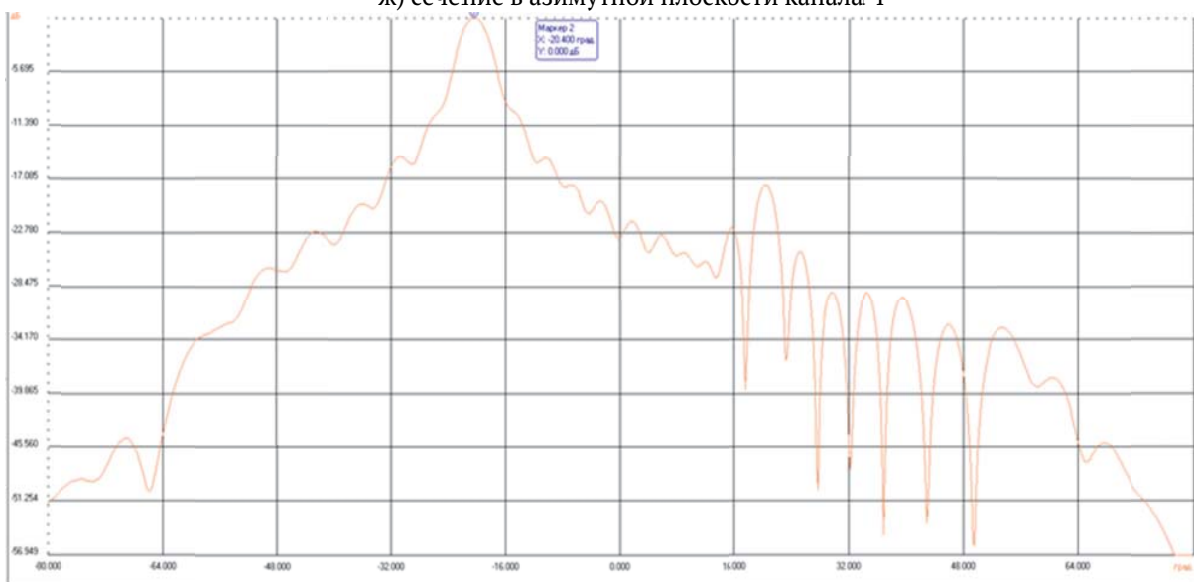
д) сечение в азимутной плоскости канала 2



е) сечение в плоскости угла места канала 2



ж) сечение в азимутной плоскости канала 4



з) сечение в плоскости угла места канала 4

Рис. 7. Сечения ДН в прямоугольных координатах

лов и убедиться в наличие сигнала на векторном анализаторе цепей;

ж) включить персональный компьютер (ПК) управления измерительным зондом;

и) запустить на ПК программу «Программа проведения измерений РТХ антенн в частотной области» и выполнить подключение программы ко всем устройствам стенда;

к) установить в настройках программы параметры измерений, с учётом АМ;

л) в программе нажать на кнопку «Подготовить измерения», запустить сканирование, нажав на кнопку «Начать измерение»;

м) дождаться окончания сканирования;

н) запустить на ПК программу «Программа расчёта характеристик антенн» для произведения расчётов измерений;

п) запустить на ПК программу «Про-

грамму отображения результатов измерения параметров антенн и РЛХ» для просмотра результатов измерений и расчётов.

В качестве результата измерений приведены на рисунке 6 объёмные изображения ДН каждого луча исследуемой антенны.

На рисунке 7 приведены сечения диаграмм направленности, точность измерения проводилась до 0,1

Использование метода ближней зоны в частотной области для определения характеристик антенн является одной из самых подходящих методов для фазированных антенных решеток. Данным методом можно определить с достаточно высокой точностью те же параметры, что и традиционным и другими методами антенных измерений. Метод ближней зоны позволяет проводить измерения,

используя лишь небольшую территорию или безэховую камеру.

Описанный метод позволяет в полном объеме провести измерение основных характеристик антенн, выполняющих функцию как приема, так и передачи, для подтверждения требований ДИСС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахрах Л.Д. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. – Л.: Наука, 1985. 272 с.
2. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ. Часть 1. Компьютерное моделирование. ММНА. М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2004. 126 с.
3. Калинин Ю.Н., Миляев А.П. Измерение характеристик и параметров антенн и рассеивателей с помощью сверхкоротких импульсных сигналов. – НПП «ТРИМ» г. Санкт-Петербург.
4. Колчинский В.Е., Мандуровский И.А., Константиновский М.И. Автономные доплеровские устройства и системы навигации летательных аппаратов. – М. «Сов. Радио», 1975, 432 с.
5. Метод измерения характеристик антенн СВЧ [под. ред. Н.М. Цейтлина]. – М. Радио и связь, 1985.
6. Шабунин С.В. Измерение параметров антенн. – Екатеринбург: Изд. Уральского университета, 2014.
7. Jalilvand M. Microwave FMCW. Engesserstrasse 5, Radar SS.2014

MEASURING OF MAIN CHARACTERISTICS OF PHASE-ARRAY ANTENNA FOR DOPPLER VELOCITY SENSOR OF AERONAUTICAL APPLICATION

© 2018 R.R. Valitov¹, S.K. Kiselev²

¹Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau JSC

²Ulyanovsk State Technical University

The results of modeling and measuring of the main characteristics of the phase-array antenna to be used in Doppler velocity sensor of aeronautical application are considered in the article. The measuring equipment is an automated measuring and computing complex wide-spread in the past years. The aim is to consider the theoretical and practical features of the method of measuring antenna characteristics as well as to define the theoretical approach to development of the algorithm of processing the antenna signals in the near-field region in the frequency domain. The technical result is increase of accuracy and reduction of the time of defining the phase-array antennas diagram. The use of the method of the near-field region in the frequency domain to define the antenna characteristics is one of the most suitable methods for the phase-array antennas. This method can be used for defining with the high accuracy the parameters, which can be defined by the traditional and other methods of antenna measurements. The near-field region method allows performing measurement using only small area or anechoic chamber. The described method makes it possible to perform in full volume the measurement of the characteristics of the antennas that perform the function of both receipt and transfer, to confirm DVS requirements.

Keywords: phase-array antennas, near-field region method, automated measuring and computing complex, Doppler velocity sensor.

Rafael Valitov, Postgraduate Student.

E-mail: r.valitov_ukbp@mail.ru

Sergey Kiselev, Doctor of Technics, Head of the Department.

E-mail: ksk@ulstu.ru