

УДК 621.396.677

С.К. Доманов, Г.Г. Гошин

Исследование влияния увеличения шага ближнеполевого сканирования на точность восстановления диаграммы направленности бортовой антенны космического аппарата

По результатам измерения амплитудно-фазового распределения (АФР) ближнего поля на плоскости исследовано влияние увеличения шага сканирования на точность восстановления диаграммы направленности (ДН) бортовой двухзеркальной осесимметричной антенны эллиптической поляризации Ка-диапазона. Показано, что, исходя из требования к углу восстановления ДН, можно увеличить рекомендуемый шаг сканирования без снижения точности восстановления ДН и при этом пропорционально уменьшить время измерений. Отмечено, что теоретические оценки недостаточно согласуются с практическими результатами. Измерения проведены в безэховой экранированной камере (БЭК).

Ключевые слова: антенные измерения, ближнее поле, шаг сканирования.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-4-20-22

В настоящее время оценка радиотехнических характеристик (РТХ) антенн по результатам измерений поля в ближней зоне стало общемировым трендом [1]. Данный метод антенных измерений позволяет избежать ряда недостатков, которые характерны для традиционных методов измерений в дальней зоне, и обладает следующими преимуществами:

- Повышенная стабильность измерений, обеспечиваемая применением БЭК, в которой может поддерживаться необходимый температурно-влажностный режим и режим чистой технологической зоны [2], тем самым исключается негативное влияние погодных условий и излучение паразитных радиоисточников.

- Возможность анализа поля на апертуре антенны.

- Относительно низкая ресурсозатратность по сравнению с коллиматорным методом [3].

Методы измерений в ближней зоне являются частным случаем амплифазометрических методов измерений антенн [4–6]. Суть методов измерений в ближней зоне заключается в определении амплитуд и фаз тангенциальных (касательных) составляющих вектора напряжённости электрического поля на заданной поверхности вблизи антенны. После чего осуществляются математические преобразования измеренных данных по алгоритмам, соответствующим виду поверхности сканирования, на которой проводились измерения. На сегодняшний день предпочтительными поверхностями сканирования являются плоскость, цилиндр и сфера, в связи с относительной простотой реализации кинематических схем перемещения зондовой антенны и относительной простотой математических алгоритмов (по сравнению с более сложными видами поверхностей сканирования). Вспомогательной антенной является так называемый зонд – слабонаправленная антенна (в нашем случае – открытый конец прямоугольного волновода). Амплитуды и фазы поля исследуемой антенны (ИА) измеряются в частотной области посредством амплифазометров, в качестве которых используются векторные анализаторы цепей (ВАЦ).

В качестве современной аппаратной реализации метода участвуют автоматизированные измерительно-вычислительные комплексы (АИВК) ближнего поля, основой которых является прецизионный электрически управляемый позиционер (сканер), перемещающийся в заданной системе координат [7, 8].

Радиотехнические характеристики остронаправленных антенн, к которым относится рассматриваемая нами антенна, измеряются на плоской поверхности сканирования, поскольку поле данного типа антенн сосредоточено преимущественно в первом полупространстве.

Тангенциальные составляющие вектора напряжённости электрического поля измеряются с шагом, определяемым условием

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

где λ – рабочая длина волны.

Область сканирования выбирается из условия

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

где D – максимальный размер ИА; z – расстояние между плоскостью апертуры ИА и плоскостью сканирования; θ_{\max} – максимальный требуемый угол восстановления ДН, отсчитываемый от нормали к апертуре антенны.

Для сканирования на плоскости значение θ_{\max} , как правило, находится в пределах от 60 до 70° [9].

Условие (1) позволяет минимизировать погрешность за счёт дискретизации измеряемого поля. Увеличение шага сканирования приведёт к снижению точности измерений и при этом сократит время сканирования. Для многих практических задач это является целесообразным. К таким задачам относятся оценка точности наведения ДН антенн космических аппаратов (КА) на требуемую зону обслуживания, а также предварительная настройка антенны для получения информации об уровне первых боковых лепестков ДН и ширины главного лепестка. Для этого рационально выбирать параметры сканирования, позволяющие решить вышеуказанные задачи с максимальной эффективностью.

В [10] приводится соотношение, определяющее величину шага сканирования, достаточную для точного восстановления ДН в пределах требуемого угла θ_{\max} :

$$\Delta x = \Delta y \leq \lambda / 2 \sin(\theta_{\max}). \quad (3)$$

Цели данной работы – качественно и количественно оценить влияние увеличения шага сканирования на точность восстановления ДН; экспериментально проверить выполнимость условия (3); оценить уменьшение времени измерения за счёт выбора увеличенного шага сканирования.

АИВК представляет собой плоский сканер производства компании ООО «НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы» с размерами 8×7 м. Точность позиционирования по направляющим составляет 0,2 мм, погрешность восстановления ДН на уровнях 0...-10 дБ не превышает 0,2 дБ, на уровнях -10...-20 – не более 0,3 дБ, на уровнях -20...-30 – не более 0,4 дБ, на уровнях -30...-40 – не более 0,5 дБ.

Объектом испытаний являлась двухзеркальная осесимметричная антенна Кассегрена Ка-диапазона, выполненная из углепластика, со следующими геометрическими характеристиками: основное зеркало – параболоид вращения диаметром 640 мм, малое зеркало – гиперboloид вращения диаметром 130 мм, облучатель – конический гофрированный рупор с диаметром апертуры 50 мм. Область сканирования выбиралась из условия (2). Расстояние от апертуры зонда до апертуры ИА составляло 300 мм; $\lambda \approx 11$ мм.

На рис. 1 представлена зависимость величины шага сканирования от требуемого угла восстановления ДН для вышеуказанной ИА, рассчитанная по формуле (3).

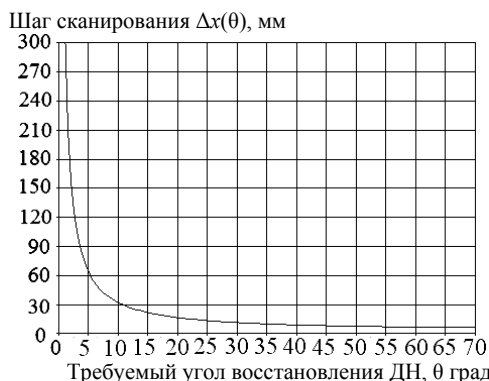


Рис. 1. Зависимость величины шага сканирования от требуемого угла восстановления ДН

Как видно из рис. 1, для требуемого угла восстановления ДН, равного 10° , по условию (3) шаг сканирования может составлять 31,5 мм, т.е. в 5,7 раза больше, чем рекомендует условие (1).

На первом этапе эксперимента проводились статистические измерения (цикл из нескольких следующих друг за другом измерений) для подтверждения согласованности полученных результатов в пределах погрешности АИВК (рис. 2).

Как следует из рис. 2, результаты измерений полностью идентичны. Следующим этапом проводились измерения АФР с различным шагом сканирования, составляющим: $0,5\lambda$, λ , $1,5\lambda$, 2λ (рис. 3, 4).

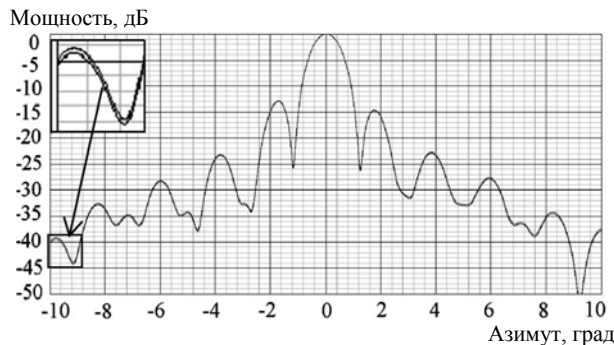


Рис. 2. Сечения ДН в азимутальной плоскости

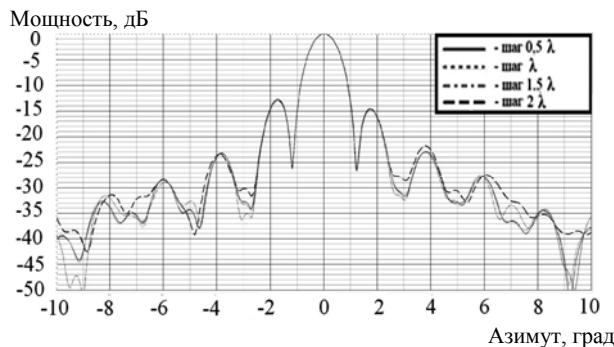


Рис. 3. Сечения ДН в азимутальной плоскости для различных шагов сканирования на средней частоте диапазона антенны

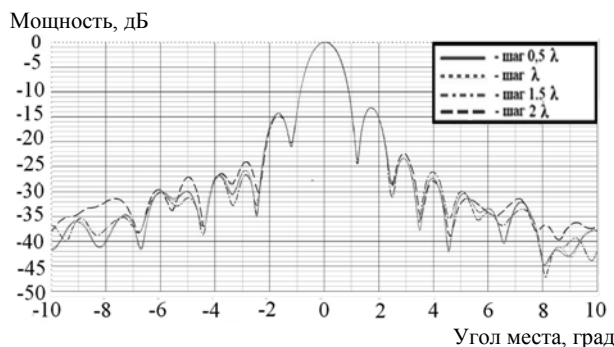


Рис. 4. Сечения ДН в угломестной плоскости для различных шагов сканирования на средней частоте диапазона антенны

По результатам анализа измеренных характеристик получено: значения ширины ДН отличаются в худшем случае на $0,01^\circ$, что не превышает погрешность измерения АИВК ($0,02^\circ$), отклонение электрической оси [11] не превышает $0,012^\circ$, что так же меньше погрешности АИВК ($0,02^\circ$), уровень первых боковых лепестков не согласуется в пределах 0,2 дБ при погрешности комплекса в 0,3 дБ.

Время измерений составило:

- для шага сканирования $0,5\lambda$: 2 ч 37 мин;
- для шага сканирования λ : 1 ч 14 мин;
- для шага сканирования $1,5\lambda$: 50 мин;
- для шага сканирования 2λ : 39 мин.

Таким образом, время измерений имеет зависимость от величины шага сканирования, близкую к обратно пропорциональной, и определяется комплексом факторов [12]. Стоит отметить, что предел увеличения шага сканирования определяется не только требуемой точностью восстановления ДН, но

и техническими возможностями механической системы сканера. Очевидно, что при достижении предельной скорости перемещения позиционера дальнейшее увеличение шага сканирования не будет приводить к сокращению времени измерений ввиду его механических ограничений.

Выводы

При увеличении шага сканирования точность восстановления ДН снижается. Выбор шага сканирования до 2λ не приводит к ухудшению точности восстановления ДН для основного и первых боковых лепестков ИА и находится в пределах погрешности АИВК. Ошибки восстановления ДН начинают превышать заявленную погрешность АИВК на уровнях:

- для шага 1λ : -35 дБ;
- для шага $1,5 \lambda$: -23 дБ;
- для шага 2λ : $-16 \dots -17$ дБ.

Стоит отметить, что в настоящее время оценка уровней кополярированной (ДН по основной поляризации) ДН, соответствующих величине минус 35 дБ, является достаточной для большинства антенн КА. Поэтому для данных задач можно рекомендовать использование шага сканирования, равного одной длине волны с целью сокращения времени измерений.

Увеличение шага сканирования в 4 раза по сравнению с рекомендуемым привело к сокращению времени измерений приблизительно в 4 раза.

Таким образом, в зависимости от требуемых задач и требуемой точности измерений шаг сканирования в определённых пределах можно увеличивать. Это особенно актуально для задач предварительной настройки антенны, а также оценки точности наведения ДН ИА на требуемую зону обслуживания. Однако практические результаты измерений не в полной мере соответствуют теоретическим предположениям [соотношение (3)], что создаёт предпосылки актуальности проведения подобных исследований для каждого конкретного АИВК ближнего поля.

В дальнейшем планируется проведение статистических измерений для других типов антенн с целью разработки общих рекомендаций по возможностям увеличения шага сканирования. Также планируется проведение анализа влияния увеличенного шага сканирования на измерение кроссполяризованной развязки ИА.

Литература

1. Материалы научно-практического семинара по вопросам проведения антенных измерений в ближней зоне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://trim-com.ru/post/9-materialy_nauchno_prakticheskogo_seminara.pdf, свободный (дата обращения: 10.07.2017).
2. Чистые помещения. Проектирование и монтаж. Общие требования. ГОСТ Р 56640–2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://allgosts.ru/13/040/gost_r_56640-2015, свободный (дата обращения: 17.07.2017).
3. Near-field vs Far-field [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/132587443/NSI-near-far-pdf>, свободный (дата обращения: 17.07.2017).
4. Бахрах Л.Д. Методы измерения параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах, С.Д. Кременецкий, А.И. Курочкин. – Л.: Наука, 1985. – 272 с.
5. Белов Ю.И. Экспериментальное исследование характеристик направленности зеркальной антенны амплитудометрическим методом / Ю.И. Белов, Н.В. Векслер, Н.С. Коротков // Радиотехника и электроника. – 1981. – Т. 26, № 5. – С. 919–925.
6. Захарьев Л.Н. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Л.Н. Захарьев, А.А. Леманский, В.И. Турчин и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
7. ООО НПП «СШП ТРИМ», Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс (АИВК) для измерений радиотехнических характеристик антенн в составе КА и автономно ТМСА 1.0-40.0 БЗ/ГСП 044: руководство по эксплуатации, кн. 1, ТМСА.044.040.00Б РЭ. – СПб., 2012. – 41 с.
8. Исаков М.А. Перспективы реконструктивных антенных измерений как основного метода приёмосдаточных испытаний / М.А. Исаков, В.П. Лисинский // Вестник концерна ПВО «Алмаз–Антей». – 2015. – № 3. – С. 51–58.
9. Balanis C.A. Antenna theory. Analysis and design. – Second edition. – John Wiley & Sons, Inc., 1997. – 959 p.
10. Gregson St. Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements / St. Gregson, J. McCormick, C. Parini // The Institution of Engineering and Technology. IET Electromagnetic Waves Series. – L.: United Kingdom, 2007. – 53 p.
11. Мухин А.В. Исследование отклонения диаграммы направленности офсетной антенны эллиптической поляризации / А.В. Мухин, С.К. Доманов // Доклады ТУСУРА. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 28–30.
12. Антохина Ю.А. Синтез характеристик антенн по измерениям в ближней зоне: моногр. / Ю.А. Антохина, А.Ф. Крячко, А.С. Ковалёв и др. – СПб.: ГУАП, 2016. – 309 с.

Доманов Сергей Константинович

Инженер АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнёва
Тел.: +7-913-571-35-25
Эл. почта: serzh.domanov@mail.ru

Гошин Геннадий Георгиевич

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧКР)
Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Эл. почта: goshingg@svch.tusur.ru

Domanov S.K., Goshin G.G.

Investigation of influence of near-field scan step size increment on antenna pattern reconstruction accuracy of a satellite onboard antenna

Based on planar near-field measurements of amplitude-phase distribution, a study of scan step size increment influence on antenna pattern reconstruction accuracy was performed using the example of a Ka-band elliptically polarized axisymmetric dual-reflector satellite onboard antenna. It is shown that on the basis of required angle of antenna pattern reconstruction, the recommended scan step can be incremented without degradation of pattern reconstruction accuracy and with proportional measurement time decrease. It was also discovered that theoretical estimates were not sufficiently consistent with practical results. The measurements were taken inside an anechoic chamber.

Keywords: antenna measurements, near-field, scan step size.