

Диагностика антенных решеток космических аппаратов в зоне ближнего излученного поля

Т.Р. Шагвалиев

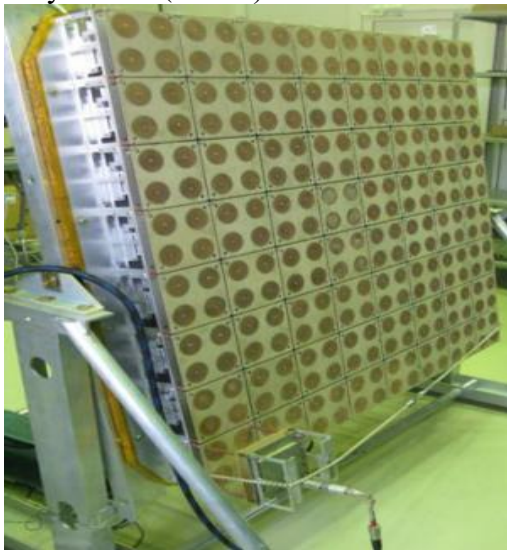
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева

Аннотация: в работе рассматривается методика диагностики антенных решеток космических аппаратов, в том числе фазированных (ФАР) и активных фазированных (АФАР), а также облучателей многолучевых гибридно-зеркальных антенн, осуществляемая на этапах разработки и испытаний. Показано, что предложенный метод, основанный на измерениях в ближней зоне антенны, может являться эффективным инструментом диагностики на этапах разработки и испытаний.

Ключевые слова: Космический аппарат, антенна, антенная решетка, ближняя зона излучения, апертурное распределение, метод восстановления, имитационное моделирование

1. Введение

Антенные решетки находят применение не только как самостоятельные антенны систем космических аппаратов, но и как облучатели зеркальных антенн, в том числе многолучевых. (Рис. 1)



а)



б)

Рисунок 1. Антенные решетки космических аппаратов: а)- ЦАР S диапазона, б)-облучатель ГЗА Ка диапазона.

Диагностика антенных решеток входит в число необходимых мер на этапах их разработки и испытаний. Несмотря на значительное число выполненных работ актуальность их не ослабевает, особенно в связи с использованием в составе гибридно-зеркальных антенн активных фазированных и цифровых антенных решеток. Развитие программно-аппаратных средств ближнепольных измерений дало толчок к развитию методов диагностики, основанных на измерения параметров электромагнитного поля антенны в ближней зоне излучения антенны с последующим определением искомого АФР путем обработки данных измерений. Целью данной работы является развитие методов ближнепольных измерений в целях диагностики антенных решеток.

2. Измерение АФР антенн в зоне ближнего излученного поля

Измерения в зоне ближнего излученного поля (Рис. 2), осуществляемые с использованием штатных измерительных средств, доказали эффективность не только для нахождения диаграмм направленности антенн, но и контроля апертурных распределений [1].

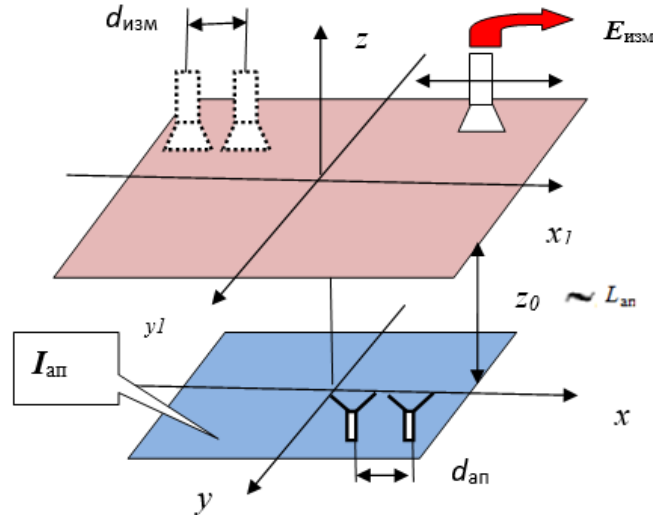


Рисунок 2. Измерения в зоне ближнего излученного поля

Известны два основных подхода к нахождению апертурного распределения $|I_{ап}\rangle$ по результатам измерений [2-3]. Метод восстановления обычно реализуется как

$$|I_{ап}\rangle = [A_t^*A + T]^{-1}[A_t^*]|E_{изм}\rangle \quad (1)$$

где $|E_{изм}\rangle$ измеренные значения, A - прямоугольная матрица $N \times M$, связывающая значения токов в апертуре и ЭМП в области измерений: $|E_{изм}\rangle = [A] \cdot |I_{ап}\rangle$, $[A_t^*]$ - матрица транспонированная и сопряженная $[A]$, $[T]$ - регуляризирующая «добавка».

Метод фокусировки можно интерпретировать как:

$$|I_{ап}\rangle = [A_t^*]|E_{изм}\rangle \quad (2)$$

Метод восстановления требует высокой точности задания модели решетки и измеренных данных. Кроме того, им предъявляются повышенные требования к вычислительным ресурсам. Это обстоятельство может оказаться существенным для диагностики АФАР и ЦАР. Метод фокусировки, как показывает анализ, может обеспечивать приемлемое качество только для решеток с большим значением шага [5-6]. Перечисленные обстоятельства ставят в ряд актуальных задачу выработки приемов, обладающих достаточной точностью и быстродействием и, по возможности, свободных от перечисленных недостатков.

3. Восстановление АФР антенных решеток

Задача нахождения апертурного распределения в антенной решетке обладает определенной спецификой, позволяющей упростить процесс измерения и обработки его результатов. Во-первых, в этих случаях точно известны координаты излучателей, что позволяет надеяться на снижение размерности матриц при восстановлении АФР. Во-вторых, для антенных решеток модель решетки (т.е. элементы $[A]$) могут быть заранее определены путем электродинамического моделирования соответствующего излучателя и, следовательно, заданы с довольно высокой точностью. В третьих, из физических соображений следует, что число измеренных данных может быть равным числу излучателей $M = N$.

Алгоритм восстановления состоит в решении системы линейных уравнений размерностью числа элементов решетки.

$$|I_{\text{ап}}\rangle = [A]^{-1}|E_{\text{изм}}\rangle \quad (3)$$

Предпосылкой к успеху в данном случае является то, что из физических соображений условия линейной независимости строк матрицы $[A]$ для случая измерений в зоне ближнего излученного поля при измерениях в зоне ближнего излученного поля практически выполняются. Степень их выполнения определяет критичность решения (3) по отношению к погрешностям оператора задачи ΔA и погрешности измерений $\Delta E_{\text{изм}}$.

Возможность использование этого подхода иллюстрирует пример, приведенный ниже. Рассматривается модель решетки, состоящей из 49 ненаправленных излучателей с шагом $d_{\text{ап}} = 0.71\lambda$ равномерным синфазным АФР во всех элементах кроме двух «дефектных». Амплитуда возбуждения элемента $I_{\text{ап } 2,6} = 0.5$, элемента $I_{\text{ап } 1,5} = e^{-i\frac{\pi}{2}}$. Измерения проводятся с шагом $d_{\text{изм}} = 0.71\lambda$ на расстоянии $z_0\lambda = 2$. Восстановленные значения $|E_{\text{изм}}|$ показаны на рис.3

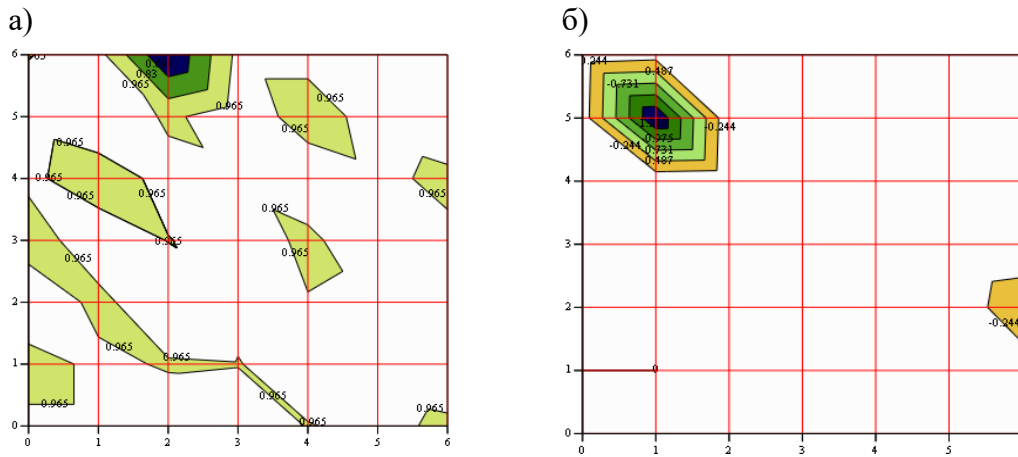


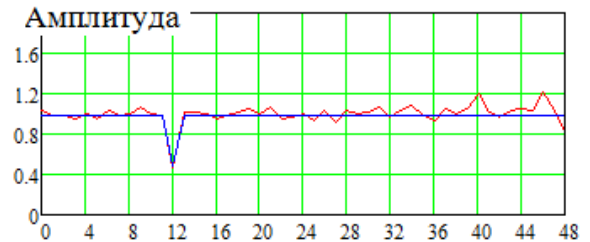
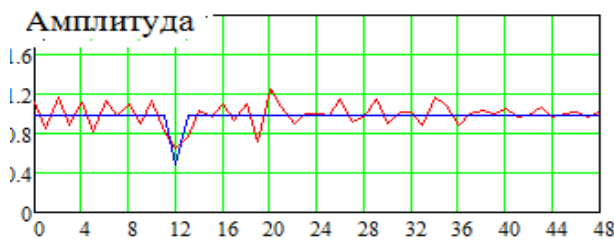
Рисунок 3. Восстановленные значения АФР. а) - модуль, б) - фаза. Расположение излучателей соответствует узлам координатной сетки.

Качество восстановления может быть дополнительно повышено путем рационального выбора параметров области измерения - расстояния z_0 и расположения точек в которых производится измерения. Рис. 4 служит иллюстрацией.

Для наглядности значения модулей и фаз показаны в виде линейной развертки. с координатами (таблица 1):

Таблица 1. Координаты модулей и фаз

Номер n	$0 \dots N$	$N+1 \dots 2N$	N^2-1
Координаты/d	$(0 \dots N, 0)$	$(0 \dots N, 1)$	$(0 \dots N, N)$



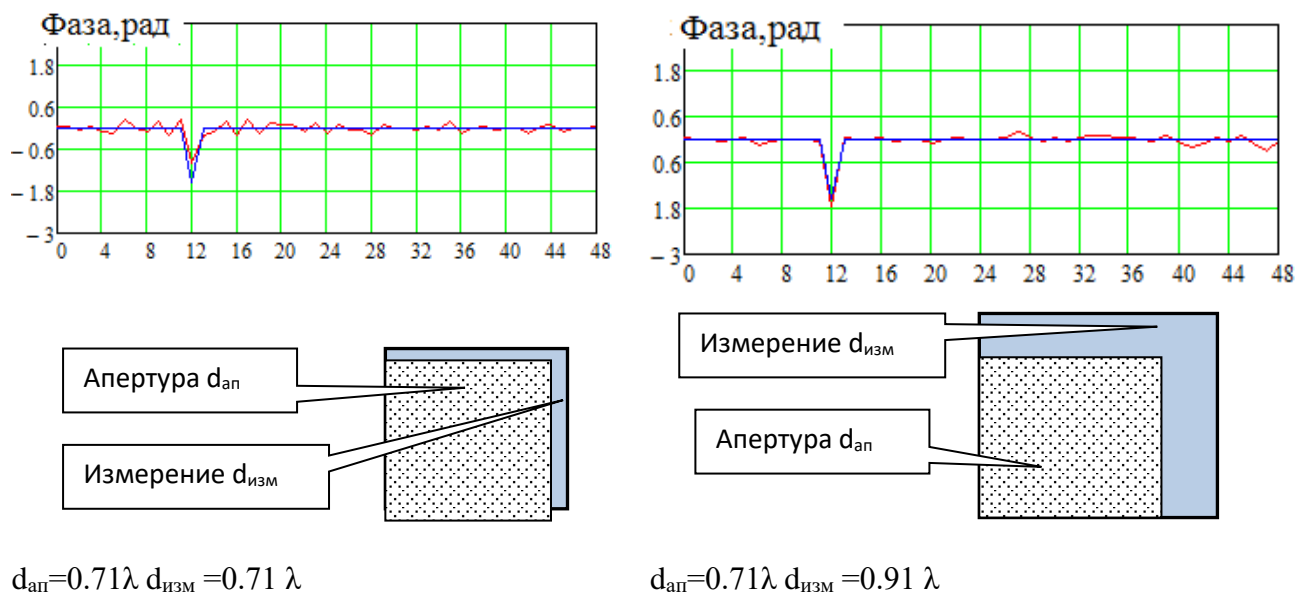


Рисунок 4. Фазы токов. Синяя линия - исходные токи, красная - восстановленные

4. Заключение

Предложенный подход может служить достаточно эффективным инструментом диагностики антенных решеток космических аппаратов на этапах их разработки и испытаний. Описанный подход оставляет возможности для улучшения его показателей путем рационального выбора параметров области измерений.

Список литературы.

1. Данилов И. Ю. и др. Новые технологии контроля спутниковых антенн аппаратуры космической связи на этапах разработки и испытаний //Электросвязь. – 2017. – №. 4. – С. 11-18.
2. Борисов С. Ю. Разработка методов, алгоритмов и устройств для определения амплитудно-фазовых распределений, и внешних характеристик антенн в амплифазометрическом методе антенных измерений. – 1992.
3. Коротков В. С. Исследование и разработка методов реконструкции тока по измеренному полю излучающих систем. – 1984.
4. Данилов И. Ю., Седельников Ю. Е. Диагностика апертурных распределений антенн путем измерений в зоне ближнего излученного поля //Журнал радиоэлектроники. – 2016. – №. 1. – С. 12-12.
5. Данилов И. Ю. Разработка методов и средств контроля элементов антенных систем перспективных космических аппаратов: дис. – Казан. нац. исслед. техн. ун-т им. АН Туполева, 2016.
6. Седельников Ю. Е., Шагвалиев Т. Р. Метод фокусировки при измерении амплитудно-фазового распределения в ближней зоне излучения //Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2020. – №. 1. – С. 30-36.