

– минимальные влияния паразитных рассеяний, канализирующих линий, погрешностей позиционирования зонда (следствие компактности);  
– нет зависимости от ДН зонда.

*Работа выполнена в рамках задания ГПНИ «Электроника и фотоника 2.2.02» «Разработка и создание компактного полигона для измерения амплитудно – фазовых распределений и анализа характеристик излучения приема – передающих модулей в сантиметровом диапазоне волн».*

#### Литература

1. Курочкин А.П. Теория и техника антенных измерений. Антенны, № 7, 2009г. – С. 39–45.

2. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д., Курочкин А.П. Методы измерения излучающих систем в ближней зоне. – Л. – 1985 г. – 272 с.

3. Будай А.Г. Разработка концепции построения аппаратно-программного комплекса модульной конструкции для определения характеристик антенных систем по измерениям в ближней зоне / А.Г. Будай, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Приборы и методы измерений. – 2017. – № 2. – С. 151–159.

4. Будай А.Г. К вопросу комплексной оценки метрологических характеристик радиолокационных измерительных комплексов./ А.Г. Будай, А.П. Гринчук, А.В. Громыко // Материалы 10-ой Международной научно – технической конференции «Приборостроение – 2017». Минск. БНТУ 2018. – С.121–123.

УДК 621.396.67

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБРАТНОЙ ДИФРАКЦИИ

**Будай А.Г., Гринчук А.П., Громыко А.В.**

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

В приложении к измерениям характеристик антенных систем задача обратной дифракции в общем виде может быть сформулирована следующим образом: в заданной области пространства расположен излучающий или рассеивающий объект (в последнем случае объект облучается падающей волной). На некотором расстоянии от объекта в направлении распространения излученной или падающей волны расположена поверхность, на которой измерено амплитудно – фазовое распределение (АФР) поля (изображение объекта). Необходимо определить процедуру обработки измеренных данных для визуализации объекта.

Решение этой задачи заложено в интегральных уравнениях, положенных в основу радиолокационных методов измерения. Как известно [1], существуют уравнения, определяющие структуру поля электромагнитных волн на плоскости, цилиндрической и сферической поверхности на любом удалении от излучающей апертуры. Таким образом, по измеренным данным на некотором расстоянии от антенны, или объекта, возможно математически рассчитать структуру поля как в сторону распространения волны с увеличением расстояния от антенны, так и в сторону уменьшения этого расстояния (обратно к излучающей апертуре).

В лаборатории прикладной электродинамики НИИПФП БГУ создан универсальный компактный антенный полигон для измерения характеристик различных типов антенных систем, включающий в себя экспериментальные образцы аппаратно – программных комплексов для измерения в ближней зоне на плоскости и сферической поверхности. В состав программного обеспечения

этих комплексов входят и программы для решения указанной выше задачи. Эта программа условно названа программой локализации.

*– экспериментальное решение задачи обратной дифракции для излучающих систем.*

Для проверки корректности работы программы локализации проведена обработка экспериментально измеренных АФР полей различных типов антенн. Как правило, излучающая апертура исследуемой антенны располагалась на расстоянии 3-4 длины волны от плоскости измерения для минимизации взаимовлияния антенны и зонда. Применение программы локализации позволяло пересчитать поле на указанное расстояние в сторону исследуемой антенны, т.е. восстановить структуру поля излучения в непосредственной близости от апертуры. Получено, поля локализуются, более четко очерчивая границы излучающих объектов.

Несколько другие результаты получаются при применении методики локализации при сферическом сканировании. Дело в том, что при решении задачи обратной дифракции для сферических измерений, пересчет распределений поля проводится также для сферической поверхности, но меньшего диаметра. Физически диаметр такой сферы не может быть меньше максимальных геометрических размеров объекта, а, значит, для объектов с плоской излучающей апертурой в этом случае невозможно получить распределение поля непосредственно в апертуре. При приближении к объекту поле заполняет больший угловой сектор. Это объясняется тем, что геометрическая проекция апертуры исследуемой антенны на сферу меньшего диаметра стягивается дугой больших

угловых размеров, а отсчеты поля берутся в точках, отстоящих друг от друга на угловой дискрет. В этом случае количество угловых отсчетов, приходящееся на область значительного уровня поля излучения антенны увеличивается, позволяя тем самым более детально его изучить.

**– экспериментальное решение задачи обратной дифракции для рассеивающих объектов**

В отличие от излучающих систем, поле, измеренное на некотором расстоянии от рассеивающих объектов, представляет собой векторную сумму полей падающей волны и поля рассеяния объекта. При этом, как правило, поле падающей волны по интенсивности значительно превосходит поле рассеяния. В этом случае эффективным решением является процедура комплексного вычитания полей, но для этого необходимо измерить (возможно, заранее) на той же поверхности поле падающей волны без рассеивающего объекта. В докладе приводятся результаты локализации двух рассеивателей в виде металлических стержней диаметром 2,5 мм и длиной 40 мм. Стержни размещены на расстоянии 15 см друг от друга. Для этой системы были последовательно измерены АФР полей свободной антенны, совместно с рассеивающими объектами, рассчитаны разностное поле и разностное поле с локализацией. Сравнивая структуру полей свободной антенны и антенны + рассеиватели отмечаем, что они практически не отличаются друг от друга, т. е. влияние рассеивателей крайне мало. Разностное поле указывает на некоторое различие полей, а пересчет поля в плоскость расположения рассеивателей позволяет уверенно локализовать их. Подобная процедура возможна и в случае, если местоположение рассеивателей неизвестно. В этом случае необходимо пересчитывать поле, последовательно изменяя расстояния. При совпадении очередного расстояния с местом расположения объекта, поле от него локализуется. А на всех других расстояниях картина будет размыта.

Измерения и алгоритмы расчета структуры полей с использованием сферического сканирования обладают существенным преимуществом. Алгоритм пересчета полей на заданные расстояния (и, соответственно, ПО) содержит процедуру анализа количества сферических гармоник, формирующих данное поле. Это количество всегда конечно. Чем более гладкое поле на сферической поверхности, тем меньшее количество сферических гармоник оно содержит. В идеале поле точечного ненаправленного источника содержит только одну гармонику. И наоборот, чем более неоднородна структура поля, тем большее количество гармоник оно содержит.

Рассмотрим свободную антенну и систему антенна + рассеиватель. Поле свободной антенны содержит определенное количество сферических

гармоник ( $N$ ). Поле системы антенна - рассеиватель содержит большее количество гармоник, поскольку имеет более сложную структуру за счет интерференции поля антенны и рассеянного поля ( $M=N+n$ ), причем гармоники более высокого порядка ( $n$ ) и определяют это интерференционное поле. Т. е. в самом алгоритме обработки заложено разделение полей свободной антенны и рассеивателя. Обработывая поле системы антенна - рассеиватель с учетом только  $N$  гармоник, мы получим структуру поля, похожую на структуру поля свободной антенны. Похожую, а не совпадающую потому, что амплитуда гармоник по сравнению с полем свободной антенны будет изменена (часть энергии уйдет на формирование рассеянного поля). А обработывая поле от гармоник более высокого порядка  $n$ , получим интерференционную картину с учетом рассеивателя. Полученные результаты иллюстрируют сказанное. Свободной антенной служил пирамидальный рупор с раскрытием 6x5 см. В качестве рассеивателя использовался металлический стержень диаметром 2 мм и длиной 20 мм, вынесенный впереди раскрытия на расстояние 6 см и расположенный посередине раскрытия. Как и ранее, были измерены АФР полей свободной антенны, системы антенна + рассеиватель на сферической поверхности радиусом 50 см. При обработке результатов получено, что поле свободной антенны формируют 10 сферических гармоник, а системы антенна + рассеиватель – 20. Далее проведены расчеты структуры полей системы антенна – рассеиватель на сферах разного радиуса: 12, 10, 8 и 6 см соответственно, причем отдельно рассчитывались структуры полей для гармоник низкого (1-10) и высокого (11-20) порядка. Получено, что структура поля от гармоник низкого порядка слабо меняется с расстоянием, четко изменяясь по фазе. Структура же поля высоких гармоник существенно зависит от расстояния, резко изменяясь при приближении к поверхности, на которой расположен рассеиватель. На этом расстоянии четко просматривается интерференционная картина.

**Выводы:**

– предложена методика экспериментального решения задачи обратной дифракции, которая практически может быть использована при дефектоскопии сложных антенных систем;

– наиболее перспективными с точки зрения практического применения являются метод радиологических измерений на сферической поверхности и обработка результатов с использованием анализа по сферическим гармоникам.

**Литература**

1. Курочкин, А.П. Теория и техника антенных измерений / А.П. Курочкин // Антенны. – 2009. – № 7. – С. 39–45.