

УДК.621.371.39

Использование частотного синтеза для оценки характеристик безэховости в рабочей зоне стенда для испытаний радиопрозрачных обтекателей радиолокационных головок самонаведения

А.Г. Вдовиченко

Аннотация

Настоящая статья посвящена вопросу обеспечения необходимых условий для измерений параметров радиопрозрачных обтекателей перспективных летательных аппаратов в безэховых камерах за счет оценки характеристик безэховости в рабочей зоне камеры, рассмотрены известные способы измерения коэффициента безэховости, а также проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова

Безэховая камера, радиопрозрачный обтекатель, коэффициент безэховости, амплитуда сигнала.

Введение

При испытаниях антенных устройств радиолокационных комплексов применяются безэховые камеры (БЭК), которые позволяют воспроизводить условия свободного пространства. Во многих случаях испытания радиотехнических комплексов в таких камерах позволяют резко сократить натурные испытания, что приводит к значительной экономии средств, а главное – времени. Одним из основных параметров БЭК является коэффициент безэховости.

К радиопрозрачным обтекателям антенн перспективных летательных аппаратов предъявляется сложный комплекс требований. Обтекатели должны защищать находящиеся под ними антенны и радиолокационное оборудование от внешних воздействий, при этом обладать приемлемыми радиотехническими характеристиками, от которых зависит дальность действия и точность работы конкретного радиолокационного оборудования.

Для обеспечения требуемой точности при проведении измерений радиотехнических параметров радиопрозрачных обтекателей для самонаводящихся ракет разработчиком радиолокационной головки самонаведения устанавливаются требования по уровню безэховости в рабочей зоне БЭК.

При измерении коэффициента усиления антенн одним из основных источников погрешностей являются переотражения излучаемого электромагнитного поля от элементов БЭК и между приемной и передающей антеннами. Поэтому наибольшие усилия при проведении измерений коэффициента усиления антенн направляются, как правило, на уменьшение уровней переотраженных сигналов по отношению к основному. Помимо непосредственных путей уменьшения уровней побочных переотражений – уменьшения коэффициента безэховости используемых БЭК и увеличения расстояния между антеннами, широкое распространение получили методы обработки результатов измерений, в которых тем или иным способом проводится синтезирование электрических длин прямого и переотраженных сигналов в некотором интервале. Широко распространяющиеся в последнее время «широкополосные» методы измерений параметров антенных устройств основаны на анализе и обработке временных зависимостей принимаемых сигналов. Массивы исходных данных для частотной области в этом случае должны содержать информацию об относительной фазе и требуют наличия соответствующей измерительной аппаратуры [1].

Использование широкополосных сигналов обеспечивает высокое разрешение по дальности. Для обеспечения необходимого углового разрешения предусмотрено использование остронаправленной антенны. Благодаря высокому пространственному разрешению удается локализовать в исследуемой БЭК участки интенсивных переотражений и измерить амплитуды сигналов, переотраженных данными участками.

Одно из основных требований, предъявляемых к безэховым камерам, для испытаний радиопрозрачных обтекателей состоит в том, что безэховость должна обеспечиваться во всем диапазоне волн излучающей аппаратуры, установленной на измерительном комплексе (стенде) [2].

Одними из основных радиотехнических параметров, используемыми для оценки качества обтекателя, являются коэффициент прохождения и угловая ошибка пеленга.

Важным аспектом на этапе проведения измерений РТХ РПО является определение требуемой рабочей безэховости исходя из характера и точности, проводимых в безэховой камере

измерений и определение допустимых значений отражений в безэховую зону камеры от каждой части ее поверхности [3].

Измерение коэффициента безэховости можно проводить с помощью следующих методов:

- движущегося индикатора поля (метод КСВН);
- наложения диаграмм направленности;
- генератора качающей частоты;
- частотного синтеза.

Метод движущегося индикатора поля

Одним из самых простых и производительных является метод испытания безэховой камеры с помощью индикатора поля, перемещаемого в безэховой камере вдоль некоторого направления в рабочей зоне камеры. Производится измерение амплитуды принятого сигнала.

Особенности метода заключаются в том, что в реальной камере структура рассеянного поля является весьма сложной: отраженные лучи могут приходиться с разных направлений, амплитуды отдельных полей зависят от расстояний, результирующая кривая осцилляций зависит от диаграммы направленности приемного индикатора, от направления его движения в камере.

Недостатком данного метода является применение узконаправленных антенн, обладающих малым значением бокового и заднего излучения.

Метод наложения диаграмм направленности

В этом методе, также как и в методе КСВН, основная трудность измерения коэффициента безэховости преодолевается путем специального подавления прямого сигнала. Для этого приемную антенну ориентируют так, чтобы прием падающей волны был значительно ослаблен. Тогда слабый эффект измерения суммарной энергии, вызванный отраженной энергией, будет наблюдаться как сильное изменение сигнала. Для определения величины отраженного поля в безэховом объеме используется метод наложения диаграмм. Сущность этого метода заключается в том, что сравниваются между собой диаграммы направленности, снятые в различных точках безэхового объема. Различие в форме диаграмм объясняется наличием отраженного поля.

Метод генератора качающей частоты

Определение коэффициента безэховости методом движущегося индикатора поля и методом наложения диаграмм направленности имеет тот недостаток, что для измерения коэффициента безэховости безэховых камер необходимо перемещать приемную антенну, что требует значительного времени для измерений и не обеспечивает необходимой точности. Применение кардиоидных диаграмм и генераторов качающей частоты обеспечивает устранение указанных недостатков.

Основная идея метода состоит в применении для измерения коэффициента безэховости специальной приемной антенны, имеющей не направленную диаграмму типа кардиоиды с одним провалом, и измерении электрического расстояния между отражающим предметом и приемной антенной за счет изменения частоты генератора.

Метод частотного синтеза

Наиболее точным и метрологически правильным является метод измерения коэффициента безэховости с помощью импульсных измерений. Существует установка, позволяющая реализовать данный метод. Сущность метода состоит в измерении отношения амплитуд и разности фаз последовательности излученных и принятых гармонических сигналов. При реализации данного метода для перехода во временную область и последующего возврата в частотную область используется прямое и обратное дискретные преобразования Фурье. Необходимая полоса частот, используемая для синтеза и отклика во временной области, и шаг перестройки частоты определяются на основе известных соотношений, исходя из требуемого разрешения и длины синтезируемой измерительной трассы:

$$\Delta f = \frac{c}{L}; \Delta l = \frac{c}{\Delta f}, \quad (1)$$

где Δl – требуемое разрешение по дальности;

L – электрическая длина измерительного канала.

Для режекции переотраженных сигналов в синтезированной временной области используются весовые оконные функции известных видов, наиболее часто – Ханна, Хемминга, Ланцоша, Блэкмена и другие.

Данный метод позволяет в значительной степени снизить погрешности измерений из-за побочных переотражений, однако, их эффективность ограничивается частотными свойствами используемых антенн и габаритами БЭК.

Большинство из выше перечисленных методов ориентировано на использование скалярной измерительной аппаратуры и гармонических сигналов. Их суть заключается в регистрации интерференции поля падающего непосредственно от облучателя и полей, рассеянных элементами БЭК. Напряжение на выходе приемной антенн в таком случае описывается выражением:

$$U(t) = [A \cdot e^{-i(\omega t + kR + \varphi_0)} + \sum_i A'_i \cdot D(\theta_i, \varphi_i) \cdot e^{-i(\omega t + kR'_i + \varphi_0)}], \quad (2)$$

где A, A'_i - множители, определяемые амплитудой проходящей волны и уровнем диаграммы направленности тестовой антенны в направлении ее приема;

$R \neq R'_i$ - геометрическая длина трассы распространения сигнала;

$D(\theta, \varphi)$ - объемная диаграмма направленности приемной антенны;

ω и φ_0 - частота и начальная фаза сигнала;

k - волновое число.

Активное развитие в последние годы импульсной техники позволило реализовать для измерений АФУ широкополосные импульсные методы. Селекция сигналов осуществляется по временной задержки их прихода, а переход в частотную область выполняется путем прямого преобразования Фурье от «взвешенного» полезного отклика.

Первым и главным их преимуществом является возможность временной частотной селекции прямого и рассеянных камерой сигналов. Вторым достоинством является проведение измерений одновременно в сверхширокой полосе частот, определяемой длительностью $\tau_{сум}$ генерируемого импульсного сигнала. Исходя из того, что основной лепесток спектра идеального видеоимпульса имеет ширину, равную $1/\tau$, требование к длительности (по уровню 0,5 первой осцилляции) реального сверхширокополосного (СШП) импульса для реализации метода импульсного зондирования в диапазоне частот $f_n < f < f_e$ можно в приближенной форме сформулировать как:

$$\tau_{сум} = \frac{1}{(2...4) \cdot (f_e - f_n)}, \quad (3)$$

Причем необходимо учитывать, что в пределах частотного диапазона f амплитуда спектральных составляющих убывает к краям этого диапазона, что соответственно уменьшает динамический диапазон измерений.

Использование импульсных сигналов дает возможность произвести непосредственное измерение мощности падающей и рассеянных волн. Их отделение производится по времени запаздывания, которое обусловлено разностью геометрических длин хода волн до точки приема. Таким образом, селекция прямого и побочных сигналов производится во временной области с последующим переходом в частотную.

При использовании абсолютно изотропной тестовой антенне коэффициент безэховости, измеренный во временной области, определяется по формуле:

$$K_B(\omega) = \max\left[\omega; \frac{S_{i_БЭК}^2(\omega)}{S_{ПП}^2(\omega)}\right], \quad (4)$$

где $S_{i_БЭК}(\omega)$ - частотные характеристики измеренных сигналов, принимаемых с задержкой относительно прямого, полученные с помощью преобразования Фурье;

$S_{ПП}(\omega)$ - частотная характеристика прямого сигнала, полученная с помощью преобразования Фурье.

Библиографический список

[1] Титаренко А.В. – «Применение кепстральной обработки для уменьшения погрешности измерений коэффициента усиления антенн из-за побочных переотражений», Вестник метролога №3, 2009г, стр.21-24.

[2] Мицмахер М.Ю., Тогрванов В.А. – Безэховые камеры СВЧ, «Радио и связь», Москва, 1982г., 128 стр.

[3] Пригода Б.А., Кокунько В.С. – Обтекатели антенн летательных аппаратов, «Машиностроение», Москва, 1970г., 118 стр.

Сведения об авторах

Вдовиченко Андрей Геннадьевич, инженер-конструктор, ОАО «ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка», 141980, Московская область, г.Дубна, ул. Жуковского д.2А, avdover@mail.ru, 8(909) 658-28-63