

**Комплекс аппаратно-программных средств оперативного
мониторинга радиолокационных побочных
переотражений безэховой экранированной камеры**

Мехтиев Р.Ф.^{1*}, Савельев А.Н.^{2}, Солод А.Г.^{1***}**

¹*Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»*

ул. Ильича, 7, Королёв, Московская область, 141080, Россия

²*Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, Москва, 105005, Россия*

**e-mail: mehrustam@mail.ru*

***e-mail: alex_san66@mail.ru*

****e-mail: agsolod@mail.ru*

Статья поступила 18.12.2019

Аннотация

Предложен импульсный метод оценки безэховости экранированной камеры, обеспечивающий оперативность предварительных исследований при проведении испытаний антенных и СВЧ-устройств радиоэлектронных систем и комплексов навигации и наведения. Представлена общая методика оценки коэффициента безэховости камеры в рабочей зоне импульсным методом во временной области. Показаны качественные и количественные результаты исследований в L-диапазоне с использованием экспериментальных данных для заданных условий применения в безэховой экранированной камере.

Ключевые слова: коэффициент безэховости, безэховая экранированная камера, электромагнитная совместимость, фоно-целевая обстановка, импульсный метод.

Введение

При исследованиях и испытаниях антенных и СВЧ-устройств радиоэлектронных систем и комплексов навигации и наведения широко применяются безэховые камеры (БЭК), воспроизводящие условия распространения электромагнитных волн (ЭМВ) в свободном пространстве, имитируя сложную фоно-целевую обстановку (ФЦО). Использование БЭК позволяет резко сократить или полностью исключить натурные испытания, что приводит к значительной экономии средств и времени. Безэховые камеры применяются на всех этапах создания радиоэлектронной аппаратуры: при разработке образцов, испытании, производстве серийной продукции и др. [1 - 6].

Основные свойства и возможности БЭК при заданных габаритах, рабочем диапазоне частот и поляризации характеризуются совокупностью показателей качества [1, 2, 6]: эффективность экранирования (ЭЭ) – shielding efficiency (SE); коэффициента затухания площадки (КЗП) – normalized site attenuation (NSA); неравномерности поля в рабочей зоне (НПРЗ) – fluctuation of electromagnetic field (FEF); коэффициента стоячей волны (КСВ) – standing wave ratio (SWR); коэффициента безэховости (КБ) – anechoic ratio (AR).

«Изолирующие» от окружающей электромагнитной обстановки свойства БЭК характеризуются ЭЭ (SE) и КЗП (NSA). В свою очередь, НППЗ (FEF), КСВ (SWR) и КБ (AR) гарантируют однозначность и точность проводимых в ней измерений и определяют широкую номенклатуру методов их измерения и оценки. При этом КБ (AR) определяет одно из направлений оценки качества измерений, проводимых в конкретной БЭК.

Основные показатели качества БЭК определяются совокупностью факторов: ее формой и размерами; типом и размещением поглощающего материала; типом и размещением облучающих антенн, источников излучения и их вспомогательных средств (подставок, динамических комплексов перемещения антенн).

Обеспечение требуемого КБ во всем объеме БЭК является сложной научно-технической задачей. В большинстве практических случаев КБ обеспечивается не во всем объеме БЭК, а лишь в ее части, называемой «чистой», невозмущенной, безэховой, рабочей.

Показатели качества БЭК оцениваются при ее периодической аттестации. Однако уникальность исследования (испытания) каждого вида устройств в определённой БЭК определяет острую необходимость разработки и совершенствования оперативных методов их оценки, в том числе коэффициента безэховости.

Таким образом, оценка КБ рассматривается как предварительная процедура перед основными исследованиями (испытаниями), которая должна обладать признаками оперативности и предполагает минимизацию затрачиваемых ресурсов: вре-

менных, материальных (приборы и оборудование), человеческих (трудозатраты, квалификация).

Номенклатура методов измерения КБ достаточно широка: непосредственного измерения рассеянной мощности; коэффициента стоячей волны; сравнения (наложения) диаграмм направленности; генератора качающейся частоты (свипператора); двух приемных антенн; вибрационный; коммутационный; реконструктивных антенных измерений; метод частотного или последовательного апертурного синтеза (гармонический анализ во временной и частотной области) [1, 6, 9].

Практически все перечисленные методы не отвечают требованиям оперативности оценки КБ внутри типовой БЭК в диапазоне L1 с габаритными размерами 24000x18000x12000 мм³, размером безэховой рабочей зоны 1.5×1.5×1.5 м³, длиной измерительной линии 6 - 8 м. Наиболее приемлемыми, с точки зрения оперативности оценки КБ, являются методы частотного синтеза.

Цель работы – разработка и применение методики оценки коэффициента безэховости камеры в рабочей зоне импульсным методом для исследования антенных и высокочастотных устройств радиоэлектронных систем и комплексов в L – диапазоне с использованием комплекса аппаратно-программных средств мониторинга радиолокационных побочных переотражений БЭК (КАПС-МПП БЭК).

1. Импульсный метод измерения и оценки коэффициента безэховости

Предлагаемый метод относится к классу методов частотного синтеза и основан на излучении широкополосных сигналов, их приеме и обработке во временной и ча-

стотной области с использованием прямого и обратного Фурье-преобразований. Достоинства метода определяются обеспечением высокого разрешения по дальности с селекцией прямого и побочных сигналов во временной или частотной области. Специальные требования предписывают использование узконаправленной передающей антенны и всенаправленной приемной антенны, а также необходимость согласования требуемого разрешения по дальности и ширины спектра сигнала (длительности импульса) с полосой пропускания антенн и приемника (регистратора), длины трассы и шага анализа в частотной области [7-8]. Ограничение эффективности метода может быть обусловлено частотными свойствами антенн и габаритами БЭК.

Под коэффициентом безэховости K_b принято понимать отношение рассеянного камерой $P_{расс}$ потока мощности, к прямому потоку мощности P_{np} , пришедшему от излучателя, в заданной точке безэховой зоны БЭК [5].

На практике КБ БЭК определяется, как правило, по «наихудшему» его значению в безэховой зоне [6, 7, 9]. Наихудшими являются наибольшие по мощности (амплитуде) переотраженные отклики зондирующего сигнала на выходе измерительного приемника

$$K_b = 10 \cdot \lg \frac{P_{расс}}{P_{np}} \quad (1)$$

В любой точке рабочей безэховой зоны КБ должно быть меньше заданного требуемого значения, необходимого для решения задач практических измерений [1, 2, 6].

Импульсный метод предполагает использование известных принципов классической радиолокации с разнесенными передающей и приемной позициями. Применительно к условиям БЭК необходимо учесть особенности и ограничения, обусловленные импульсным методом радиолокации:

наличие «мертвой» зоны, пропорциональной длительности зондирующего импульса (ЗИ);

обеспечение однозначности измерения временных задержек переотраженных сигналов, принимаемых с максимального расстояния (с учетом возможных переотражений) путем выбора периода следования ЗИ.

При выполнении перечисленных условий переотраженные зондирующие импульсы (ПЗИ) будут находиться в «свободной» зоне между ЗИ. Сравнение мощности ЗИ и наиболее мощного ПЗИ позволяет оценить коэффициент безэховости.

2. Аппаратная часть комплекса средств оперативного мониторинга коэффициента безэховости

Аппаратная часть комплекса включает в свой состав:

- векторный генератор ВЧ сигналов типа EXG серии X (модель N5172B, опция 503);
- направленную антенну L1-диапазона с шириной главного луча диаграммы направленности 24 град. и коэффициентом усиления 14 дБ;

– пассивную широкополосную антенну вибраторного типа с осевой линией питания, обеспечивающую как прием прямого сигнала, так и всеракурсный прием переотраженных сигналов;

– осциллограф Z204A (производство Keysight) с полосой пропускания 20 ГГц и частотой дискретизации до 80 ГГц.

Структурная схема аппаратной части комплекса представлена на рисунке 1.

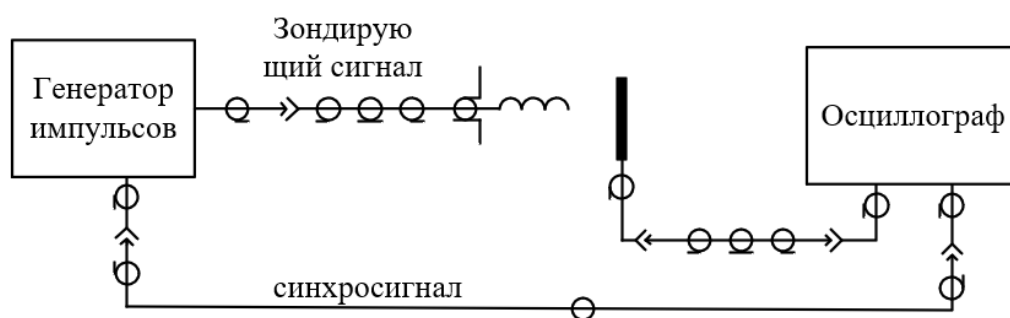


Рисунок 1. Структурная схема аппаратной части комплекса

Генератор формирует последовательность ЗИ на несущей частоте 1,5 ГГц, с минимальной длительностью импульса 20 нс и периодом повторения 2 мкс.

Особенностью аппаратной части комплекса является размещение части используемых приборов и аппаратуры в специализированном помещении вне БЭЖ. Протяженность коаксиальной кабельной системы составила: от генератора до передающей антенны – 55 метров, от приёмной антенны до осциллографа – 55 метров, от генератора до осциллографа (синхронизация) - 2 метра.

С генератора подаются прямоугольные синхронизирующие импульсы (СИ) на осциллограф. Сформированная последовательность ЗИ излучается во внутреннее пространство БЭЖ и принимается широкополосной антенной. Осциллограф, выпол-

няя функцию приемника, преобразует принимаемые сигналы в цифровую форму с частотой дискретизации 20 ГГц, которые сохраняются в памяти прибора в виде блоков данных формата CSV. Записанные данные подвергаются последующей обработке с использованием специализированного программно-алгоритмического модуля, реализованного в пакете прикладных программ MatLab.

3. Программно-алгоритмическая часть комплекса

Программно-алгоритмическая часть предназначена для преобразования и обработки оцифрованных сигналов, позволяющих измерить отношения сигнал/шум прямого и ПЗИ, а следовательно, оценить КБ.

Разработанный программно-алгоритмический модуль решает следующие задачи:

- синхронизации и калибровки временных задержек с учетом протяженности кабельной системы;
- оценки мощности собственных шумов приемного тракта;
- расчета порога, обеспечивающего заданный уровень вероятности ложных тревог;
- реализации процедуры оптимального корреляционного приема;
- обнаружения и измерения отношения сигнал/шум прямого ЗИ и его переотраженных копий в «зоне прозрачности»;
- оценки КБ и характеристик обнаружения;
- визуализации и контроля результатов обработки, измерений и оценки.

На рисунке 2 представлены осциллограммы записанных сигналов СИ и ЗИ, импортированных в Matlab. СИ необходим для определения момента времени старта излучения ЗИ генератором и определения задержки принятого сигнала, обусловленной длиной коаксиальной кабельной системы.

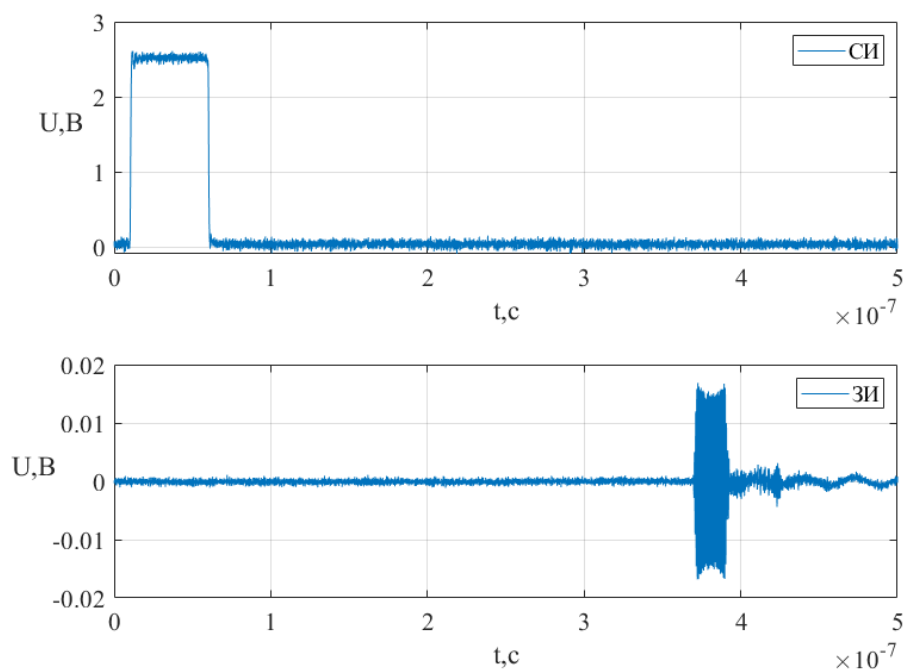


Рисунок 2. Осциллограммы записанных сигналов

Предварительный анализ осциллограммы ЗИ позволяет сделать выводы о наличии после него значительных амплитудных всплесков, причиной которых являются ПЗИ. Детальная обработка принимаемых сигналов осуществляется программно-алгоритмическим модулем, структура которого представлена на рисунке 3.

В осциллографе осуществляется аналого-цифровое преобразование принятых сигналов и их сохранение в файл формата *.csv.

Амплитуда сигнала U в моменты временной дискретизации t_n представляется в виде вектора - столбца:

$$U[n] = (t_1, u_1; t_2, u_2; \dots; t_n, u_n)^T, \quad (1)$$

где $n = 0, 1, \dots, N$ – номер элемента массива, N – длина массива.

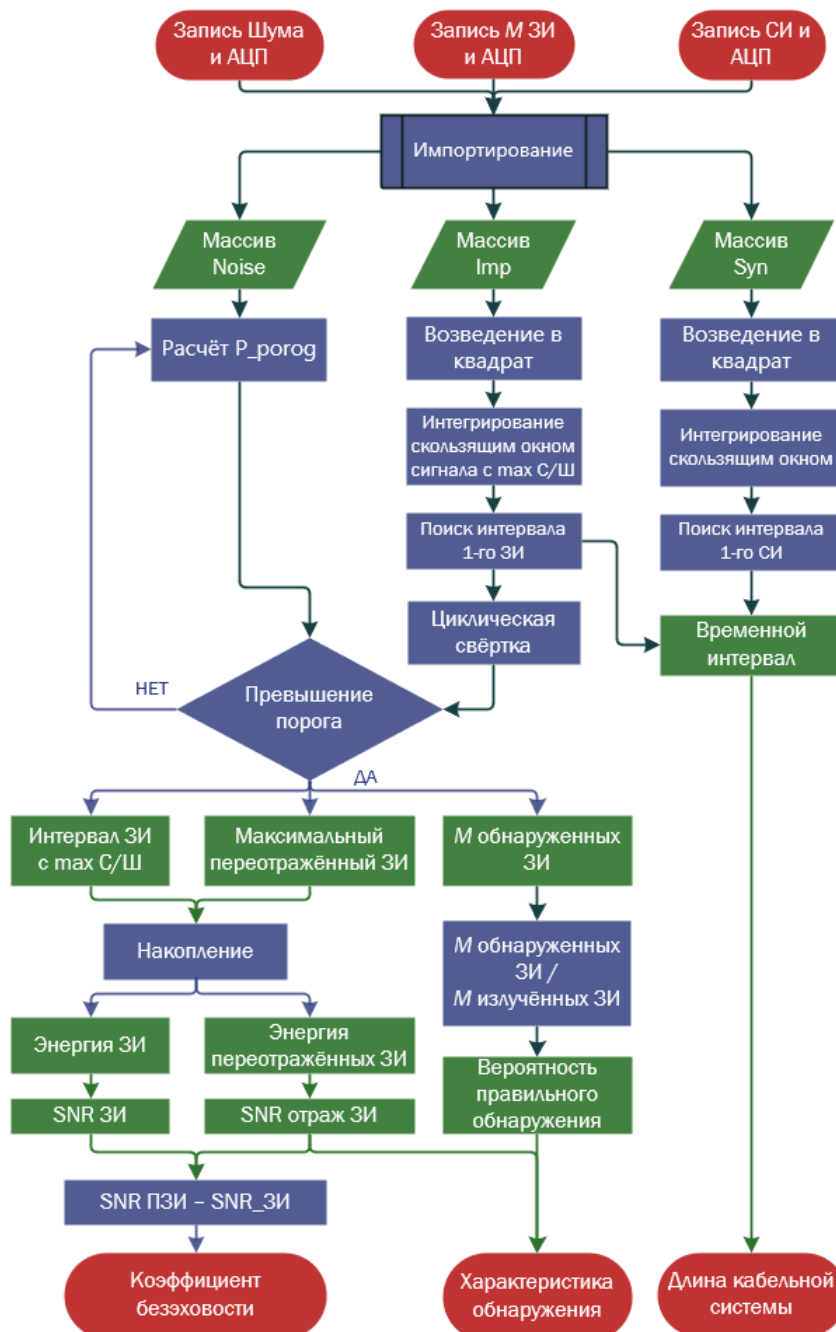


Рисунок 3. Структура программно-алгоритмического модуля обработки

Для последующей обработки данные о собственных шумах, СИ, ЗИ и их количестве M импортируются в программно-алгоритмического модуль. В блоке «Импортирование» происходит преобразование формата файлов *.csv в формат *.mat, при котором оцифрованные значения напряжений вектора U извлекаются и записываются в массив вектора - строки:

$$Noise[n] = (u_1, u_2, \dots, u_n), \quad (2)$$

$$Imp[n] = (u_1, u_2, \dots, u_n), \quad (3)$$

$$Syn[n] = (u_1, u_2, \dots, u_n). \quad (4)$$

Последующая обработка проводится отдельно по каждому массиву. Для обнаружения ЗИ в массиве $Imp[n]$ (3) необходимо рассчитать порог обнаружения по массиву $Noise[n]$ (2).

4. Расчёт порога обнаружения

Для расчёта порога обнаружения используется «чистый» шум без излучения ВЧ-сигнала в БЭК из массива $Noise[n]$ (2). Значение порогового уровня определяется в соответствии с известным выражением для белых гауссовских шумов (БГШ) [16]

$$P_{porog} = (-2) \cdot \sigma^2 \cdot k \cdot \ln(F), \quad (5)$$

где P_{porog} - пороговое значение мощности шума, k – натуральное число, F – вероятность ложной тревоги $10^{-2}, \dots, 10^{-12}$, σ^2 – мощность шумов измерительного приемного канала.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) мощности шума оценивается по формуле Стьюдента:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Noise_i - \overline{Noise})^2}{n - 1}}, \quad (6)$$

где σ – СКО, $Noise_i$ – значение i -го элемента массива шумовых отсчетов, \overline{Noise} – среднее значение массива (математическое ожидание) равно нулю, n – количество элементов массива шумовых отсчетов $Noise$.

Спектральная плотность мощности БГШ [16]

$$N_0 = \sigma^2. \quad (7)$$

Заданная вероятность ложной тревоги $F = 10^{-6}$ обеспечивается при численном значении коэффициента $k = 420$, что подтверждается проведенными статистическими исследованиями. Полученный пороговый уровень $P_{porog} = 1.3 \cdot 10^{-3}$ [Вт] = -28.86 [дБ] определяет достоверность обнаружения ЗИ на выходе блока «Циклическая свёртка» реализует операцию свертки над отсчетами массива ЗИ $Imp[n]$ (3) и соответствует отношению сигнал/шум 25.32 [дБ], при мощности шума $N_0 = 1.1621 \cdot 10^{-7}$ [Вт] = -67.9 [дБ].

5. Определение времени запаздывания зондирующего импульса относительно синхронизирующего импульса

Массивы данных $Syn[n]$ и $Imp[n]$ проходят одинаковые процедуры «Возведение в квадрат». Выполнение процедур позволяет определить моменты времени их начала на временной оси и их относительную задержку.

Операция «Возведение в квадрат» проводится над каждым элементом массива, результаты представлены на рисунке 4:

$$Imp[n] = Imp^2[n] = (Imp_1^2, Imp_2^2, \dots, Imp_n^2). \quad (8)$$

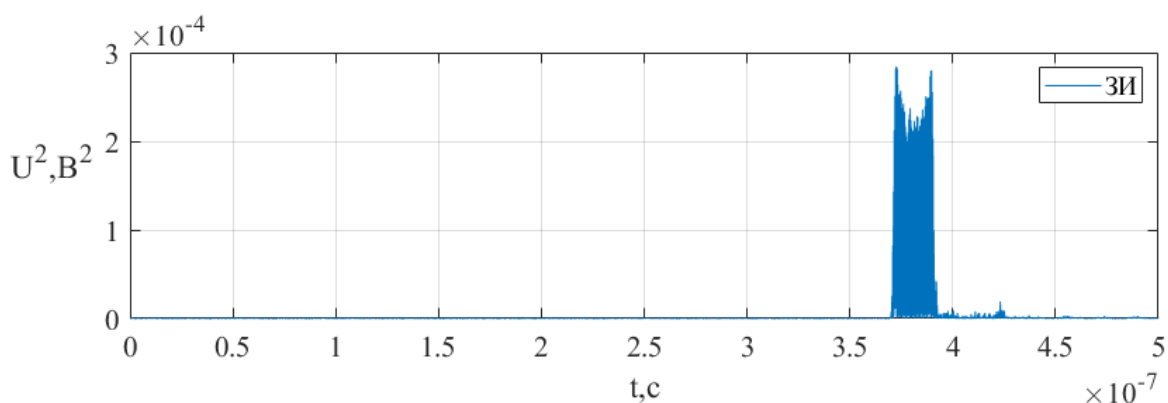


Рисунок 4. Результат блока «Возведение в квадрат»

Блок «Интегрирование скользящим окном» реализует процедуру скользящего суммирования. Использована типовая встроенная функция *convolution* пакета прикладных программ Matlab:

$$E[i] = conv(U[n], V[n],) = (E_1, E_2, \dots, E_i), \quad (9)$$

где $E[i]$ – массив с энергиями импульсов, i – номер элемента массива $E[i]$, $U[n]$ – массив данных ЗИ $Imp[n]$ или СИ $Syn[n]$, $V[n]$ – массив «окно», являющейся единичным вектором строкой длиной равной длительности ЗИ или СИ в дискретных значениях.

Функция *convolution* реализует вид следующей математической операции или алгоритм моделирования:

$$E[i] = \sum_n U(n) \cdot V(i - n + 1), \quad (10)$$

$$E[i] = U(1) \cdot V(n) + U(2) \cdot V(n - 1) + \dots + U(n) \cdot V(1). \quad (11)$$

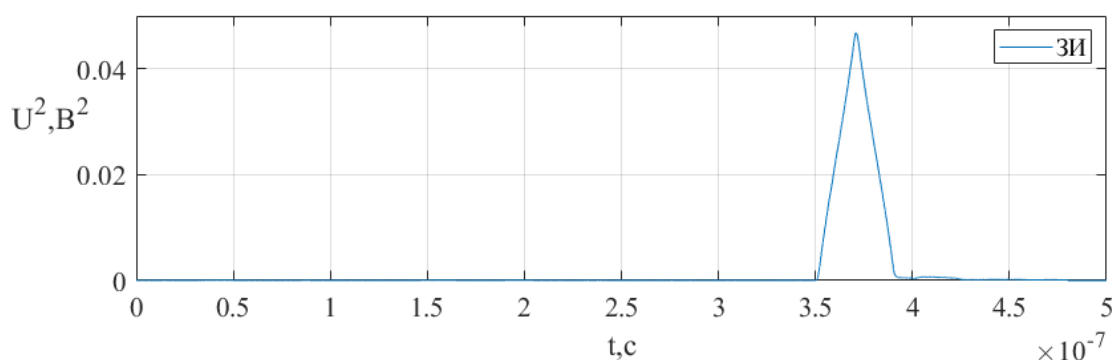
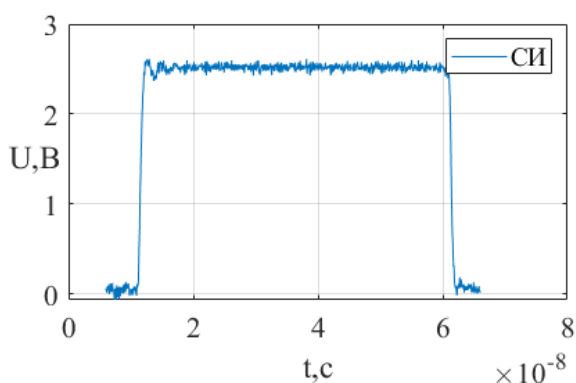


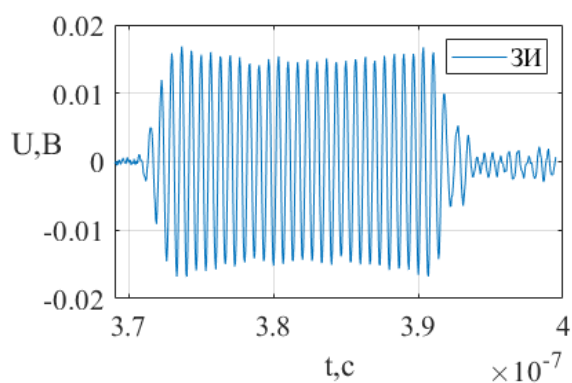
Рисунок 5. Результат блока «Интегрирование скользящим окном»

Максимальное значение соответствует окончанию ЗИ или СИ. Разность между моментом времени окончания ЗИ или СИ и известной длительностью формируемых ЗИ и СИ позволяет определить моменты времени их начала в блоке «Поиск интервала 1-го СИ» или «Поиск интервала 1-го ЗИ». Найденный интервал временных отсчетов ЗИ используется при реализации операции «Циклическая свёртка» в соответ-

ствующем блоке программно-алгоритмической части. На рисунке 6 представлены СИ и ЗИ на выходе блока «Поиск интервала 1-го СИ» и «Поиск интервала 1-го ЗИ»



а)



б)

Рисунок 6. Осциллограммы временных интервалов СИ и ЗИ

Момент времени начала СИ определяет временную задержку до ЗИ, по которой можно измерить длину измерительной линии и кабельной системы.

6. Обнаружение зондирующих импульсов

В блоке «Циклическая свёртка» и «Превышение порога» реализован принцип алгоритма корреляционного обнаружителя, представленного на рисунке 7.

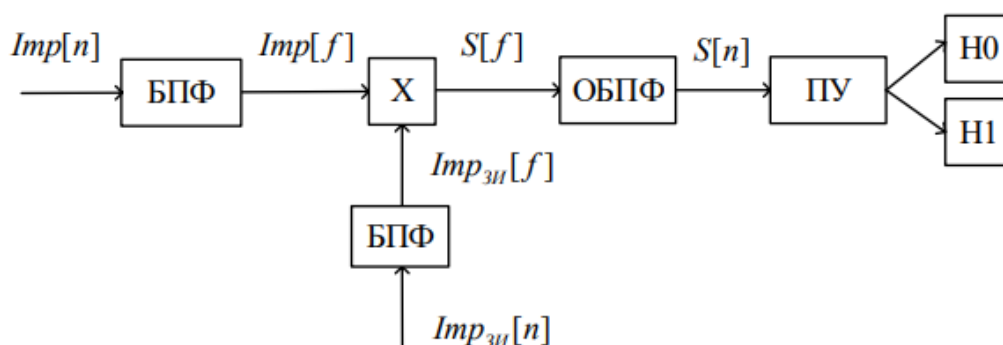


Рисунок 7. Принцип алгоритма корреляционного обнаружителя

На рисунке 7 используются обозначения: $Imp[n]$ – массив записанного сигнала с ЗИ во временной области, $Imp[f]$ – спектр сигнала $Imp[n]$ в частотной области, $Imp_{ЗИ}[n]$ – найденный интервал ЗИ во временной области, где n – длительность ЗИ в отсчетах, $Imp_{ЗИ}[f]$ – спектр интервала ЗИ в частотной области, БПФ – быстрое преобразование Фурье, блок X – перемножитель сигналов, $S[f]$ – произведение спектров массива ЗИ $Imp_{ЗИ}[f]$ и массива данных сигнала $Imp[f]$, $S[n]$ – выходной сигнал свёртки массива данных ЗИ и $Imp_{ЗИ}[n]$ и массива данных сигнала $Imp[n]$, во временной области, ПУ – пороговое уровень, H_1 – гипотеза обнаружения импульса, H_0 – гипотеза не обнаружения импульса.

Таким образом, на выходе блока «Циклическая свёртка» получается автокорреляционная функция ЗИ с ярко выраженным максимумом, соответствующим энергии ЗИ. Реализация процедуры корреляционного приема частотным методом позволяет также обнаружить задержанные по времени ПЗИ в «свободной зоне» между ЗИ при превышении выходным сигналом коррелятора (энергией ПЗИ) установленного порога. Использование частотного метода для реализации операции свертки обеспечивает инвариантность к временным задержкам ПЗИ относительно прямых. На рисунке 8 показаны результаты обработки прямых и ПЗИ на выходе блока «Циклическая свёртка».

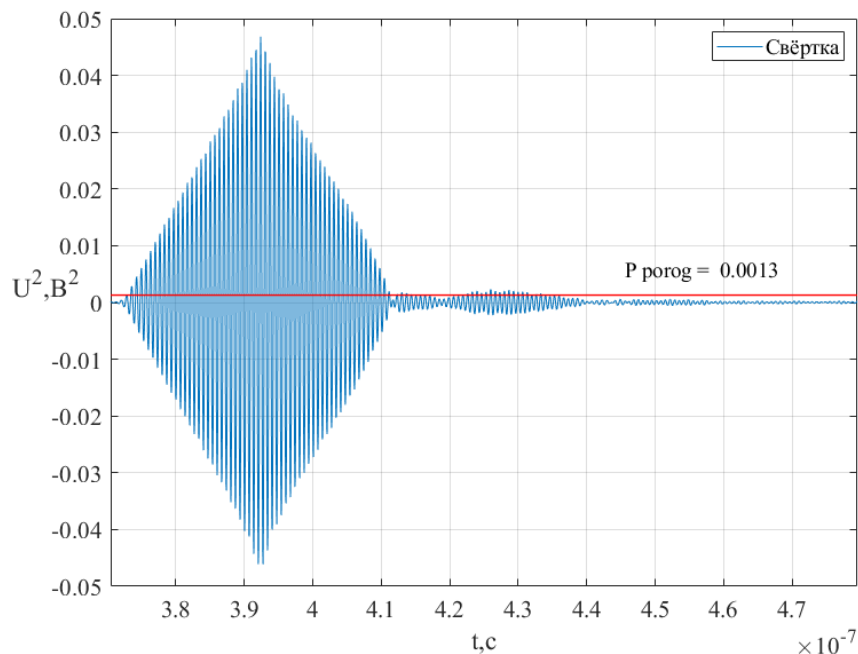


Рисунок 8. – Результат блока «Циклическая свёртка» и «Превышение порога»

Основными операциями частотного метода являются известные дискретные версии прямого и обратного преобразования Фурье (ДПФ и ОДПФ):

$$U\left(i \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N \cdot \Delta t}\right) = U[i] = \sum_{n=0}^{N-1} u[n] \cdot \exp\left(\frac{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot i}{N}\right), \quad (12)$$

где N – количество временных отсчётов, $\Delta t = 1$ – шаг дискретизации, $i = 0, 1, \dots, N - 1$ – номер элемента нового массива $U[i]$.

Выражение (12) записано в пределах одного периода, $i = 0, 1, \dots, N - 1$. При $i > N - 1$ функция $U[i]$ повторяется периодически.

Восстановление сигнала $U[n]$ во временной области реализуется через обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ):

$$U[n] = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} U[i] \cdot \exp\left(\frac{-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot i}{N}\right), \quad (13)$$

где $n = 0, 1, \dots, N - 1$ – номер элемента нового массива $U[n]$.

Для повышения быстродействия процедур анализа, связанного с преобразованиями сигнала из временной области в частотную и обратно в программно-алгоритмическом модуле использованы типовые встроенные функции *fft* и *invfft* пакета прикладных программ Matlab, реализующих алгоритмы прямого и обратного быстрого преобразований Фурье (БПФ и ОБПФ) соответственно:

$$Imp[f] = \text{complex}(\text{fft}(Imp[n])), \quad (14)$$

$$Imp_{3И}[f] = \text{fft}(Imp_{3И}), \quad (15)$$

$$S[n] = \text{invfft}(Imp[f]^* \cdot Imp_{3И}[f]), \quad (16)$$

где $Imp[f]^*$ - массив сигнала с 3И комплексно-сопряженный.

Обнаружение локального максимума, превысившего пороговый уровень в «свободной зоне» между 3И, определяет момент окончания ПЗИ. Обнаруженные «максимумы» соответствуют «малой» энергии. Для повышения достоверности обнаружения слабых в энергетическом отношении импульсов используется операция некогерентного накопления в соответствующем блоке:

$$S_{\text{накопление}}[n] = \sum_{n=Imp_{3И}}^N S[n] + \sum_{n=Imp_{\text{пере.3И}}}^N S[n] \quad (17)$$

где $S_{\text{накопление}}[n]$ – массив сигнала с накопленной энергией.

Корректность обнаружения последовательности некогерентно накопленных импульсов обеспечивается за счет соответствующего увеличения порогового уровня [16].

$$P_{\text{порог}_{\text{нак}}} = P_{\text{порог}} \cdot \sqrt{M} \quad (18)$$

где M – количество накопленных импульсов.

Полученный пороговый уровень составляет $P_{\text{порог}} = 1,3 * 10^{-2}$ [Вт] = -18.86 [дБ].

7. Коэффициент безэховости

Оценка КБ определяется путем сравнения отношений сигнал - шум (SNR) для прямого и максимального ПЗИ:

$$SNR = 20 \cdot \lg \sqrt{\frac{E_u}{N_0}}, \quad (19)$$

где E_u – энергия прямого ЗИ или ПЗИ,

Тогда оценка КБ в относительных единицах определяется выражением:

$$K_b = SNR_{\text{ПЗИ}} - SNR_{\text{ЗИ}}. \quad (20)$$

8. Общая методика оперативной оценки коэффициента безэховости

Общая методика оценки КБ определяет последовательность выполняемых операций.

- Размещение аппаратной части в БЭК (антенны).
- Монтаж измерительной линии.
- Включение остальной аппаратной части (осциллограф, генератор).
- Запись шума в рабочей зоне БЭК (без излучения).
- Запись сигнала с СИ.
- Запись сигнала с МЗИ.
- Обработка записанных данных при помощи программно-алгоритмического

модуля.

9. Результаты проведенных исследований

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 Значения КБ

Мощность генератора, дБм	$SNR_{ЗИ}$, дБ	$SNR_{ПЗИ}$, дБ	Коэффициент безэховости, дБ	Решение об обнаружении ПЗИ «1» или «0»
Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5
30	76.01	60.59	-12.93	1

25	73.53	57.96	-12.93	1
20	71.05	55.13	-13.08	1
15	68.46	53.67	-13.33	1
10	66.03	51.83	-12.35	1
5	63.64	50.64	-11.81	1
-5	58.74	*50.64	-	0
-10	56.52	*50.64	-	0
-15	56.52	*50.64	-	0

Анализ полученных результатов позволяет констатировать:

- при уменьшении мощности излучения генератора ВЧ-сигналов (столбец 1) очевидно уменьшается отношение сигнал-шум ЗИ (столбец 2) на выходе измерительного приемника (осциллограф), при этом отношение сигнал-шум соответствующих ПЗИ также уменьшается;
- превышение энергией ПЗИ установленного порога *50.64дБ позволяет гарантированно принять решение об их обнаружении (столбец 5);
- измеренные значения отношение сигнал-шум ПЗИ (столбец 3) позволяют оценить КБ;
- при заданной выходной мощности генератора ВЧ-сигнала -5, -10, -15 дБм энергия ПЗИ не превышает уровень установленного порога, обнаружение ПЗИ и оценка КБ не представляется возможной (столбцы 4 и 5).

Таким образом, оцененное значение КБ находится в диапазоне от -13.33 дБ до - 11.81 дБ.

Заключение

Научность комплекса аппаратно-программных средств электронных систем наведения, используемых в ракетно-космической технике, определяет применение методов полунатурного моделирования с использованием БЭК для воспроизведения сложной ФЦО. Имитация ФЦО требует проведения большого объема работ по калибровке контрольно-измерительной аппаратуры и аттестации рабочей зоны БЭК на безэховость. Использование КАПС-МПП БЭК ускоряет процесс калибровки в 2 – 3 раза в рабочей зоне. Таким образом, достоинством данного комплекса и алгоритма обработки, в отличие от остальных методов измерения, является повышение оперативности выполнения измерений. Кроме того, метод не требует дополнительной дорогостоящей специализированной аппаратуры, значительных трудозатрат и может проводиться самостоятельно специалистами предприятия, без привлечения метрологических центров, аккредитованных для проведения аттестации.

Сравнительный анализ результатов оценки КБ другими методами подтверждает его достоверность. При проведении исследований совместно со специалистами ВНИИ ФТРИ с применением метода КСВ получена оценка КБ, равная -12.4 дБ, в аналогичных условиях.

Использование КАПС-МПП БЭК позволило успешно провести государственные испытания аппаратуры потребителей спутниковых навигационных сигналов беспилотных летальных аппаратах.

Библиографический список

1. Воронин Е.Н., Нечаев Е.Е., Шашенков В.Ф. Реконструктивные антенные измерения. – М.: Наука, 1995. – 351 с.
2. Белов Ю.И., Кашин А.В. Экспериментальное исследование отражений в большой радиобезэховой камере // Антенны. 2006. № 5. С. 49 - 61.
3. Белов Ю.И., Варенцов Е.Л., Илларионов И.А. Экспериментальное исследование излучающих свойств открытого конца волновода прямоугольного сечения вблизи проводящих объектов // Антенны. 2009. №12 (151). С. 18 - 27.
4. Фрадин А.З., Рыжков Е.В. Измерения параметров антенно-фидерных устройств. – М.: Связь, 1972. – 352 с.
5. Мицмахер М.Ю., Торгованов В.А. Безэховые камеры СВЧ. - М.: Радио и связь, 1982. – 129 с.
6. Нечаев Е.Е., Шашенков В.Ф. О возможности реконструктивных антенных измерений для радиотехнической аттестации помещений // Научный вестник МГТУ ГА. Серия: Радиофизика и радиотехника. 2005. № 93. С. 79 – 84.
7. Вдовиченко А.Г. Использование частотного синтеза для оценки характеристик безэховости в рабочей зоне стенда для испытаний радиопрозрачных обтекате-

лей радиолокационных головок самонаведения // Труды МАИ. 2010. № 38. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=14167>

8. Титаренко А.В. Применение кепстральной обработки для уменьшения погрешности измерений коэффициента усиления антенн из-за побочных переотражений // Вестник метролога. 2009. № 3. С. 21 - 24.

9. Ильин И.В. Методы проектирования безэховых камер и измерения радиолокационных характеристик. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 112 с.

10. Торгованов В.А. Устройство для измерения параметров безэховых камер. Авторское свидетельство № 345451 СССР. 1972. Бюлл. № 22.

11. Воронин Е.Н., Нечаев Е.Е. Устройство для определения ошибок безэховых камер. Авторское свидетельство № 119295 СССР. 1985. Бюлл. № 44.

12. Воронин Е.Н., Нечаев Е.Е. Устройство для аттестации безэховых камер. Авторское свидетельство № 1317373 СССР. 1985. Бюлл. № 38.

13. Воронин Е.Н., Нечаев Е.Е. Способ определения диаграммы направленности антенны. Авторское свидетельство № 1239647 СССР. 1984. Бюлл. № 23.

14. Акашин Б.А., Воронин Е.Н., Морозов Г.А., Нечаев Е.Е., Валиахметов Н.К. Коллиматорный зонд. Авторское свидетельство № 1259145 СССР. 1999. Бюлл. № 46.

15. Мицмахер М.Ю. Качество современных безэховых камер и радиопоглощающие материалы // Антенны: Сборник статей. - М.: Связь, 1980. № 28. С. 38 – 45.

16. Васин В.А., Власов И.Б., Егоров Ю.М. и др. Информационные технологии в радиотехнических системах. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 672 с.

17. Emerson W.H. Electromagnetic Wave Absorbers and Anechoic Chambers Through the Years // IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1973, vol.AP-21, no. 4, pp. 484 - 490.
18. Buckley E.F. Microwave Reflectivity Measurement. Theory and Practice. Electronic Design (Microwaves), 1962, March 15, pp. 12 - 19.
19. Buckley E.F. Design Evaluation and Performance Modern Microwave Anechoic Chambers for Antenna Measurements // Electronic Components, 1965, vol. 6, no. 12, pp. 1119 - 1126.
20. Appel-Hansen J. Reflectivity Level of Radio Anechoic Chambers // IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1973, vol. AP-21, no. 4, pp. 490 - 498.