

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СВЕРХ-ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ

О. Н. Гниденко, Ю.А. Смирнов

Государственный университет
информационно-коммуникационных технологий
03110, Киев, ул. Соломенская, 1

Для того, чтобы определить устойчивость радиотехнических систем от средств обнаружения необходимо определить предварительно, какие задачи должна будет решать радиотехническая система, какие методы будут использованы, какие критерии оценки ее эффективности используют на практике существующие системы. Поэтому при исследовании последовательно остановимся на этих основных моментах.

Наряду с обычными (традиционными) радиоэлектронными средствами (РЭС) сверхширокополосные системы также являются источниками сведений или источниками информации. Обработанные сведения с выводами о работе сверхширокополосных РЭС и обеспечиваемых ими систем вооружения будем называть данными.

В совокупности, обрабатываемые сведения и данные будем называть информацией. Задачи по добыванию информации о работе сверхширокополосных РЭС будут решаться комплексом технических средств и различными методами ее обработки и обобщения на соответствующих пунктах. Основными способами добывания сведений в радиотехнических системах является перехват радиоизлучений и определение местоположения излучающих РЭС.

Обработка сведений имеет целью извлечение из них сведений и данных о составе и состоянии радиолокационных систем, о состоянии и уровне технического развития радиоэлектронных систем. Процесс обработки сведений включает: измерение параметров и характеристик сигналов;

определение местоположения источника излучения параметров сигналов;
определение тактического назначения РЭС и степень их угрозы; определение класса или типа РЭС;

выявление индивидуальных особенностей в параметрах и структуре сигналов;
идентификацию и индивидуальное опознавание конкретных образцов РЭС;
определения состава РЭС на объектах разведки; вскрытие режимов работы

РЭС;

определение боевых возможностей и обеспечивающих РЭС;

накопление и обобщение сведений для эталонного описания объектов.

Для распознавания типов и конкретных экземпляров РЭС, определения их назначения, места установки, перемещения в пространстве, принципа действия, вскрытия режимов работы используются соответствующие признаки.

Признаки подразделяются на опознавательные, режимные, оперативно-тактические.

К опознавательным признакам относится совокупность параметров и характеристик сигналов, позволяющих определить тип, конкретный экземпляр, назначение и государственную принадлежность РЭС.

К режимным разведывательным признакам относятся, как правило, различия в структуре сигналов РЭС, связанные с изменением их режимов работы, формы, структуры и потока сигналов.

В классической литературе по радиолокации обосновано фундаментальное положение о том, что характеристики обнаружения не зависят от структуры сигналов, а зависят только от их энергии. Так как энергия сигнала определяется произведением мощности сигнала на его длительность, то при малой длительности будет и малая энергия сигнала на входе станции радиотехнической системы. Следовательно, не всегда будет возможность обеспечить требуемую дальность разведки при перехвате сигналов РЛС.

Дальность разведки связана также с реальной чувствительностью приемных устройств, которая определяется из классического выражения:

$$P_p = kt\Delta f_{\text{пр}}(N_{\text{пр}} + t_a - 1)m_p$$

где K - постоянная Больцмана;

T - эффективная шумовая температура антенны, 390 К;

$\Delta f_{\text{пр}}$ - полоса пропускания приемника;

t_a - относительная шумовая температура антенны;

$m_p = \frac{P_c}{P_m}$ - коэффициент различимости секвентного сигнала;

$N_{\text{пр}}$ - коэффициент шума приемника.

Так как полоса пропускания приемника станции радиотехнической системы определяется длительностью принимаемого сигнала ($A_{\text{пр}} = 1..5/t_{\text{и}}$), то $D_{\text{пр}}$ будет составлять несколько гигагерц. Следовательно, обеспечить высокую реальную чувствительность приемников перехвата несинусоидальных сигналов при такой в полосе практически не реально. В связи с этим возникает первая научно-техническая задача: оценки энергетической доступности секвентных сигналов на дальностях, определяемых задачами.

Информационный аспект для радиотехнических систем определяется группой концептуальных требований (концепция 4-й) сформулированных в первом разделе и связан с широкополосностью сигнала, проблемой его приема, регистрацией и анализом, фиксацией временного положения импульсов на временной оси, искажениями сигналов при распространении радиоволн в реальных условиях, отыскиванием принципиально новой системы демаскирующих и разведывательных признаков, заключенных в структуре секвентных сигналов. Для секвентных сигналов в связи с их нетрадиционностью нецелесообразно при их

описании применяют классическое представление, основанное на огибающей импульсов и фазе.

Упрощенное комплексное представление сигнала, основанное на замене преобразования Гильберта простым сдвигом сигнала по фазе, характеризуется существенными погрешностями. Поэтому для описания секвентного сигнала необходимо использовать вещественные функции времени и их спектральные характеристики, что значительно затрудняет теоретический анализ при оценке скрытности работающих РЭС. Следует отметить, что высокие требования к точности анализа несинусоидальных сигналов, значительно превышающие традиционные, требуют нового подхода к описанию и представлению сигналов.

Во-первых, из информационной структуры исключается несущая частота поскольку секвентный сигнал без несущей.

Во-вторых, широкополосность спектра исключает использование модели комплексных огибающих. Поэтому необходимо осуществлять анализ сигналов преимущественно во временной области.

В третьих, несовпадение возбуждающего передающую антенну сигнала и временной структуры излученного поля, а также временной структуры падающей на антенну станции радиотехнической системы волны и сигнала на ее выходе затрудняет идентификацию, поскольку принимается и анализируется не сигнал, а его импульсная характеристика. Кроме того, зависимость временной структуры поля от угловых координат секвентных РЛС исключает возможность непосредственного использования в нестационарных случаях классической монохроматической диаграммы направленности антенны, которая по отношению к несинусоидальному широкополосному сигналу теряет смысл.

В-четвертых, фундаментальные связи между импульсной переходной и другими видами характеристик, рассеянием сигналов на отражающих объектах и формой этих объектов, их размерами и ориентацией относительно РЛС и станции радиотехнической системы позволяют на принципиально новом уровне решать задачи комплексного синхронного анализа прямых и отраженных сигналов РЛС и демаскировать работу РЛС. Поэтому повышение широкополосности сигналов с одной стороны усложняет их радиотехнический перехват, но с другой стороны значительно повышает их информативность, так как информационная емкость СШПС значительно выше чем сигналы традиционных РЛС.

При использовании метода комплексного синхронного анализа прямых и отраженных сигналов при разведке ракетно-космических полигонов в качестве информационной характеристики может использоваться импульсная характеристика цели $h(t)$, зависящая от типа цели, ее ориентации относительно РЛС и станции радиотехнической системы и структуры импульса РЛС.

Свойства импульсной характеристики определяются точками ее разрыва гладкости, которые могут быть определены при высокой точности анализа широкополосных отраженных сигналов. Поэтому регистрация и анализ импульсной характеристики, непосредственно связанной с формой цели, ее ориентацией относительно РЛС и РРС является для средств радиотехнической системы важной практической задачей. Определяя форму сигналов, рассеянных компонентами радиолокационными целями, значительными преимуществами обладают методы анализа во временной области, оперирующие импульсными и переходными характеристиками, описывающими нестационарные процессы рассеивания на объектах и целях сигналов.

Технический аспект радиотехнического перехвата основан на том что использование секвентных сигналов в радиотехнических системах различного назначения требует существенного изменения принципов построения аппаратуры радиотехнической системы, в частности, приемных антенн, усилителей, селекторов,

индикаторов, измерителей временных и частотных параметров. Принципиальной является необходимость оснащения станций радиотехнической системы перехвата сигналов секвентных РЛС высокоразвитой вычислительной техникой. Это вызвано тем, что вследствие широкополосности будут наблюдаться существенные искажения сигналов за счет тракта формирования, распространения и тракта приема. Поэтому вычислительная система должна производить расчет степени искажений и корректировать характеристики приемной аппаратуры или учитывать степень искажений сигналов при распознавании информации, что потребует создания сложных алгоритмов решения. Так как единственным источником информации о секвентных РЭС является сигнал, то в первую очередь при оценке скрытности объектов и источников необходимо оценить его энергетическую доступность средствами радиотехнической системы.

Оценка энергетической доступности сигналов сверхширокополосных РЛС.

Для оценки возможностей средств радиотехнической системы по вскрытию боевого применения систем вооружения, управляемых секвентными РЛС вводится понятие коэффициента энергетической доступности $K_{эд}$, под которым понимается отношение энергетически доступных РЛС j -го типа ($M_{эдj}$) к общему числу РЛС i -го типа в зоне разведки M_i ,

$$K_{эд} = \frac{M_{эдj}}{M_j}$$

Энергетически доступными для радиотехнической системы считаются такие РЛС, которые обеспечивают уровень сигнала на входе приемника разведки, превышающей реальную чувствительность приемника, то есть должно выполняться условие $P_{л} > P_{р}$

$$P_{свх} = (P_{л} G_{л}(\lambda) G_{р}(\lambda) \lambda^2 \gamma / (4\pi D_{р})) 10^{-0,05\alpha(\lambda) D_{р}}$$

где $P_{л}$ - излучаемая мощность секвентного сигнала;

$G_{л}$ - коэффициент усиления антенны РЛС, зависящий от полосы сигнала;

$G_{р}$ - коэффициент усиления антенны станции радиотехнической системы, зависящий от длины волны или ширины спектра сигнала;

γ - коэффициент потерь при излучении и приеме сигналов (коэффициент полезного действия);

$\alpha(\lambda)$ - коэффициент затухания сигнала в атмосфере, зависящий от длины волны λ . Здесь $\lambda = c \pi U$

$D_{р}$ - дальность до цели (разведываемой РЛС).

Выражение есть не что иное, как хорошо известная формула радиоразведки. Однако, применение ее для оценки эффективности разведки секвентных РЭС имеет существенные ограничения. Эти ограничения связаны с шириной полосы сигнала, которая влияет на расчет всех параметров, входящих в формулу в виде зависимости от частоты. Например, при ширине спектра от 1 до 10 ГГц длина волны λ изменяется от 30 см до 3 см, а коэффициент усиления антенны G_A изменяется в 100 раз. Подстановка в выражение минимальных или максимальных, или средних значений длины волны приведет к существенному разбросу коэффициента энергетической доступности, а, следовательно, и существенному разбросу оценки дальности радиотехнической разведки.

Поэтому значения параметров, входящих в выражение, должны быть выбраны оптимальным образом и рассчитаны с учетом широкополосности и отсутствия несущей частоты сигнала.

Анализ сигналов секвентных РЛС. Общая постановка задачи *.

Анализ перспектив развития секвентных РЛС, областей их применения, методов формирования сигналов показывает, что несмотря на отсутствие в сигнале несущей частоты, а в связи с этим фазо-частотных параметров, сигналы отличаются большим разнообразием по межимпульсной и внутриимпульсной структуре, каждый из которых характеризуется определенным набором параметров. Естественно, не все параметры несут достаточно информации для вскрытия оперативно-тактических и тактико-технических характеристик СШП РЭС. Поэтому при определении демаскирующих признаков систем следует положить, что радиотехническая разведка будет нацелена в первую очередь на решение следующих первоочередных задач:

опознание типа и тактического назначения секвентных РЛС;

определения степени угроз;

индивидуальное распознавание конкретных экземпляров РЛС;

спектральных характеристик сигналов;

вскрытие характеристик и режимов работы секвентных РЛС при обеспечении управления оружием, пусков ракет и антиракет при проведении испытаний на ракетно-космических полигонах вероятного противника;

определение состояния и уровня технического развития секвентных РЛС и управляемого оружия;

определение характеристик воздушных и космических целей, ракет и антиракет при их испытаниях на полигонах с использованием секвентных РЛС;

определение принципов построения секвентных РЛС, оценки их возможностей и тенденций развития;

получение координатной и не координатной информации о местоположении РЛС.

В принципе, все параметры сигналов несут определенную информацию при решении любой из перечисленных выше задач. Их демаскирующие свойства зависят, в первую очередь, от метода формирования сигнала, точности измерения параметров, сигнально-помеховой обстановки в зоне разведки, выбора критерия эффективности и ряда других факторов.

Измерение всей совокупности параметров проводится не будет так как это нецелесообразно как с информативной точки зрения, так и с технико-экономической.

На основании качественного анализа перечисленных выше задач, решаемых радиотехнической системы по перехвату сигналов секвентных РЛС, видовой разведки наиболее информативными параметрами, представляющими систему признаков, следует считать:

центральную частоту спектра сигнала, его ширину и форму; временные параметры: форму импульсной характеристики сигнала, длительность и период повторения импульсов, форму и характеристику спектра; временные задержки сигналов относительно выбранного начала отсчета; характеристики отраженных от целей сигналов во время испытаний нового оружия (временные и частотные).

Ввиду нетрадиционности "сигналов без несущей", их сверхкороткой длительности, широкополосности традиционные параметры и методы их анализа не всегда будут удовлетворять требованиям обеспечения информативности. Поэтому следует ожидать, что системы обнаружения секвентных РЭС сосредоточат основное внимание на анализе параметров и характеристик отраженных сигналов, а также на и анализе тонкой структуры временных параметров.