

ОСОБЕННОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Гончаренко Ю. Ю.¹

DOI: 10.21681/2311-3456-2024-1-124-131

Цель исследования: систематизация особенностей процесса идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры.

Метод исследования: рассмотрены классические задачи оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки и по критерию максимума отношения сигнал-шум. Условия оптимальной фильтрации характеризуются спектральной плотностью полезного сигнала на входе радиоприёмного устройства.

Результат исследования: показано, что работное время автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры зависит от значений скорости обзора пространства, а так же от коэффициентов распознавания радиолокационных станций, необходимых для обнаружения и распознавания людей, животных, пилотируемых и беспилотных малоразмерных летательных аппаратов и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической информационной инфраструктуры. Данные коэффициенты определяются с использованием функций поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определённому числу линейных интегралов, зависящих от размеров объекта и длины волн излучения.

Научная новизна: сформулированная задача автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры технически сводится к задаче оптимальной фильтрации радиоприёмным устройством всех отражённых сигналов.

Ключевые слова: радиолокационная станция, идентификация опасных целей, процесс автоматизации, физическая защита, акустический контроль, оптимальная фильтрация сигналов.

FEATURES OF IDENTIFICATION OF RADAR TARGETS WHILE ENSURING THE SECURITY OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE

Goncharenko Yu. Yu.²

The purpose of the study: systematization of the features of the process of identification of radar targets while ensuring the security of critical information infrastructure.

Research method: the classical problems of optimal linear filtering are considered by the criterion of the minimum of the mean square of the error and by the criterion of the maximum of the signal-to-noise ratio. The formulated task of automated identification of radar targets while ensuring the safety of critical information infrastructure is technically reduced to the task of optimal filtering by a radio receiver of all reflected signals. Optimal filtering conditions are characterized by the spectral density of the useful signal at the input of the radio receiver.

Results obtained: it is shown that the operating time of automated identification of radar targets while ensuring the safety of critical information infrastructure depends on the values of the speed of viewing space, as well as on the recognition coefficients of radar stations necessary for detecting and recognizing people,

1 Гончаренко Юлия Юрьевна, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия. E-mail: ygoncharenko@sevsu.ru

2 Yulia Yu. Goncharenko, Dr.Sc., Associate Professor, Sevastopol State University, St. Sevastopol, Russia, E-mail: ygoncharenko@sevsu.ru

animals, manned and unmanned small-sized aircraft and other dangerous targets on approaches to protected objects of critical information infrastructure. These coefficients are determined using the absorption functions of electromagnetic radiation by the tissues of a biological object according to a certain number of linear integrals depending on the size of the object and the wavelength of radiation.

Scientific novelty: the formulated task of automated identification of radar targets while ensuring the safety of critical information infrastructure is technically reduced to the task of optimal filtering by a radio receiver of all reflected signals.

Keywords: radar station, identification of dangerous targets, automation process, physical protection, acoustic control, optimal signal filtering.

Введение

Обеспечение безопасности критической информационной инфраструктуры – актуальная проблема современности, которую призваны решать службы физической защиты этих объектов [1–3]. Они оснащены оптоэлектронными и инфракрасными средствами, системами акустического и контактного контроля, предназначенными для наблюдения за периметром охраняемых объектов и на подходах к ним [4–7]. Появление новых террористических угроз в отношении критической информационной инфраструктуры потребовало оснащение служб физической защиты специальными средствами обнаружения – радиолокационными станциями, которые обеспечивают наблюдение и освещение обстановки вокруг охраняемых объектов [8–12].

Процесс освещения обстановки включает ряд составных частей, а именно: радиолокационный поиск вокруг охраняемого объекта, обнаружение радиолокационной цели, идентификация и определение степени ее опасности, принятие решения и воздействие на обнаруженную опасную цель. Для принятия решения по варианту воздействия должностные лица действуют строго по протоколу. Проблема состоит в идентификации цели и определении степени ее опасности, при этом время, которое проходит с момента обнаружения радиолокационной цели до ее идентификации, зависит от множества объективных и субъективных факторов, включая уровень подготовки операторов радиолокационных станций, их эмоциональное и физическое состояние. Решить эту проблему можно путем автоматизированной идентификации [13–15].

Цель данной работы – систематизация особенностей процесса автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, сформулировать задачу автоматизированной идентификации при радиолокационном наблюдении вокруг объектов критической информационной инфраструктуры. Во-вторых, рассмотреть классическую задачу

оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки. В-третьих, рассмотреть классическую задачу оптимальной линейной фильтрации по критерию максимума отношения сигнал-шум. В-четвертых, интерпретировать классические решения применительно к задаче автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ).

Постановка задачи автоматизированной идентификации при радиолокационном наблюдении вокруг объектов КИИ

Главная задача радиолокационного наблюдения вокруг объектов КИИ – это обнаружение опасных целей. С позиций охраны объектов КИИ к таким целям можно отнести злоумышленников (вооруженных и невооруженных людей),двигающихся в сторону охраняемого периметра, животных и птиц, деревья и кустарники, которые могут использоваться для маскировки и отвлечения внимания операторов. Это могут быть пилотируемые (автожиры, дельтапланы, парашюты) и беспилотные летательные аппараты всех классов и типов. Именно они представляют наибольшую опасность на подходах к охраняемым объектам. Все эти цели, попав в зону радиолокационного облучения, отражают электромагнитные волны, которые принимаются антенной РЛС и обрабатываются (усиливаются, детектируются, демодулируются, преобразуются, выделяются на фоне помех). С технической точки зрения совокупность всех этих процессов принято называть фильтрацией сигналов.

Другими словами, задача идентификации опасных радиолокационных целей на подходах к охраняемому объекту КИИ технически сводится к оптимальной фильтрации принятых радиоприёмным устройством – РЛС, всех отраженных сигналов, поступающих как от опасных целей, так и от целей, создающих помехи.

Рассматривая этот процесс в общем виде, формулируем задачу автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности КИИ (задачу оптимальной фильтрации сигналов).

Пусть колебание $x(t)$, принятое в некотором интервале времени радиоприёмным устройством, является функцией от сигнала $S[t, \rho(t)]$ и шума $n(t)$ следующего вида:

$$x(t) = f\{S[t, \rho(t)], n(t)\}. \quad (1)$$

Сигнал $S[t, \rho(t)]$ в общем случае может зависеть не от одного, а от нескольких параметров $\rho_i(t)$.

Допустим, что сам сигнал или его параметр – случайный процесс, и априори известны некоторые статистические характеристики сигнала и шума. Предположим также, что известен вид функции $f\{S, n\}$ (способ комбинирования сигнала и шума).

Используя эти данные, необходимо определить устройство, изображённое на рис. 1, которое оптимальным образом решит, какая реализация самого сигнала $S[t, \rho(t)]$ или его параметр $\rho(t)$ содержится в колебаниях электромагнитных волн, описываемых зависимостью (1), принятых радиоприёмным устройством РЛС.



Рис. 1. Схема оптимального фильтра

По причине наличия шума $n(t)$ с одной стороны, и случайного характера сигнала $S[t, \rho(t)]$ с другой, оценка реализации сигнала $\hat{S}[t, \rho(t)]$ или реализации его параметра не будет совпадать с истинной реализацией, поэтому возникает ошибка фильтрации.

Для количественной оценки качества фильтрации могут использоваться различные критерии, но наиболее часто применяют критерий минимума среднего квадрата ошибки и критерий максимума отношения сигнал-шум. В зависимости от принятых допущений о характере сигнала и шума сформулированная задача решается методами линейной или нелинейной фильтрации.

Если сигнал и шум взаимодействуют аддитивно, то суммарный эффект действия равен сумме входящих эффектов. Получаем, что:

$$x(t) = f\{S[t, \rho(t)] + n(t)\}. \quad (1)$$

В этом случае при решении задачи идентификации опасных радиолокационных целей можно ограничиться линейными методами фильтрации.

Таким образом, задача автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности КИИ, с технической точки зрения, сводится к задаче оптимальной фильтрации сигналов. Она состоит в выявлении опасных радиолокационных целей, которыми являются люди и животные, пилотируемые и беспилотные малоразмерные летательные аппараты, двигающиеся в сторону охраняемого объекта, которая решается классическими линейными методами фильтрации.

Классическая задача оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки

Пусть сигнал $S[t, \rho(t)] = S(t)$ и шум $n(t)$, определяющие колебания электромагнитных волн на входе приёмного устройства, описываются уравнением (2) и являются стационарными нормальными случайными процессами с известными ковариационными функциями, то есть:

$$\left. \begin{aligned} K_s(\tau) &= M\{S(t), S(t+\tau)\} \\ K_n(\tau) &= M\{n(t), n(t+\tau)\} \\ K_{sn}(\tau) &= M\{S(t), n(t+\tau)\} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Требуется определить систему, которая из принимаемого множества $x(t) = S(t) + n(t)$ с минимальной среднеквадратической ошибкой E^2 выделяет не параметр $\rho(t)$, а сам полезный сигнал $S(t)$. Иначе говоря, искомая оптимальная система должна минимизировать величину:

$$E^2 = M\{[\hat{S}(t) - S(t + \Delta)]^2\}, \quad (4)$$

где Δ – приращение времени, введенное для общности описания.

При $\Delta > 0$ оценка $\hat{S}(t)$ на входе системы должна представить (прогнозировать) значение входного сигнала $S(t)$ на время Δ .

При $\Delta = 0$ сформулированная задача сводится к выделению сигнала $S(t)$ из колебаний $x(t)$.

Строгое математическое решение сформулированной задачи для случая полубесконечного интервала наблюдения $(-\infty; t)$ было дано А. Н. Колмогоровым³ и Н. Винером⁴. В решении было показано, что оптимальное по критерию минимума среднего квадрата ошибки устройство относится к классу линейных фильтров с постоянными параметрами.

Используя основные результаты Колмогорова-Винера, предположим, что на входе реализуемой линейной системы, представленной на рис. 2, с импульсной характеристикой $h(t)$, определяемой выражением:

$$h(t) = \begin{cases} h(t), & \text{если } t \geq 0, \\ 0, & \text{если } t < 0, \end{cases} \quad (5)$$

воздействует стационарный случайный процесс, описываемый соотношением:

$$y(t) = \hat{S}(t) = \int_0^\infty h(\tau)x(t - \tau)d\tau. \quad (6)$$

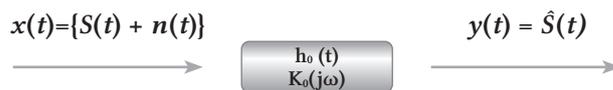


Рис. 2. Схема линейного фильтра

3 Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей / А. Н. Колмогоров // Известия Академии Наук, серия математическая. – М.: Академия Наук, 1941. – № 5. – С. 3–14.
4 Wiener N. Extrapolation, interpolation and soothing of stationary time series. – New-York: John Wiley, 1949. 162p.

Подставляя (6) в (4), получаем средний квадрат ошибки фильтрации:

$$E^2 = M \left\{ \left[\int_0^\infty h(\tau)x(t - \tau)d\tau - S(t + \Delta) \right]^2 \right\} \quad (7)$$

Выполнив в (7) ряд преобразований, получим:

$$E^2 = K_x(0) - 2 \int_0^\infty h(\tau)K_{sx}(t - \tau)d\tau + \int_0^\infty \int_0^\infty h(\tau_1)h(\tau_2)K_x(\tau_2 - \tau_1)d\tau_2d\tau_1 \quad (8)$$

В выражении (8) для среднего квадрата ошибки фильтрации появляются новые составляющие. Это взаимная ковариационная функция процессов $S(t)$ и $x(t)$:

$$K_{sx}(\tau) = M\{S(t), x(t + \tau)\} \quad (9)$$

и ковариационная функция случайного процесса $x(t)$:

$$K_x(\tau) = M\{x(t), x(t + \tau)\}. \quad (10)$$

Чтобы определить импульсную характеристику $h_0(t)$ оптимального фильтра, минимизирующего средний квадрат ошибки, определяемый выражением (8), необходимо использовать один из методов вариационного исчисления.

Пусть

$$h(t) = h_0(t) + \mu g(t), \quad (11)$$

где μ – параметр, не зависящий от t ; $g(t)$ – произвольная функция.

В этом случае условие минимума среднего квадрата ошибки запишется в виде:

$$\left. \frac{dE^2}{d\mu} \right|_{\mu=0} = 0. \quad (12)$$

В результате подстановки (11) в (8) условие (12) примет вид:

$$\int_0^\infty d\tau \left[\int_0^\infty h_0(\nu)d\nu - K_{sx}(\tau + \Delta)d\tau \right] = 0. \quad (13)$$

Соотношение (13) должно выполняться при произвольной функции $g(t)$, тогда импульсная характеристика $h_0(t)$ оптимального фильтра должна удовлетворять интегральному уравнению Фредгольма первого рода, то есть:

$$\int_0^\infty h_0(\nu)K_x(\tau - \nu)d\nu = K_{sx}(\tau + \Delta), \quad \tau \geq 0 \quad (14)$$

Выражение (14) принято называть уравнением Винера-Хопфа. Оно является одним из основных уравнений теории линейной фильтрации.

Получили, что задача нахождения оптимального сглаживающего фильтра (при $\Delta = 0$) или оптимального прогнозирующего фильтра (при $\Delta > 0$), которая может реализоваться технически, сводится к решению уравнения (14). Это довольно сложная задача, которая обусловлена требованиями к технической реализации оптимального фильтра.

Рассмотрим частный случай. На вход фильтра поступает случайная последовательность $x(t)$, которая имеет дробно-рациональную спектральную

плотность $S(\omega)$, что возможно, как правило, в результате высокочастотного детектирования электромагнитного сигнала, поступающего на вход приёмного устройства РЛС. Используя (14), получим $K_0(j\omega)$ – комплексную частотную характеристику оптимального фильтра, минимизирующего средний квадрат ошибки:

$$K_0(j\omega) = \frac{1}{2\pi \cdot f(j\omega)} \int_0^\infty e^{-i\omega r} dr \int_0^\infty \frac{S_{sx}(\Omega)}{f^*(j\Omega)} e^{j\Omega(\tau + \Delta)} d\Omega, \quad (15)$$

где

$$\left. \begin{aligned} f(j\omega) \cdot f^*(j\omega) &= |f(j\omega)|^2 = S_x(\omega), \\ S_x(\omega) &= \int_{-\infty}^\infty K_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau, \\ S_{sx} &= \int_{-\infty}^\infty K_{sx}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Тогда минимальное значение среднего квадрата ошибки фильтрации будет определяться выражением:

$$E_{\min}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty [S_s(\omega) - |K_0(j\omega)|^2 \cdot S_x(\omega)] d\omega, \quad (17)$$

где $S_s(\omega) = \int_{-\infty}^\infty K_s(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$

Для частного случая сглаживания аддитивного множества взаимно независимых стационарных случайных процессов $S(t)$ и $n(t)$, последний из которых называют белым шумом (математическое ожидание $m_n = 0$ и корреляционная функция $R_n(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$, выражение (15) упрощается и приводится к виду:

$$K_0(j\omega) = 1 - \frac{N_0}{2S_s(\omega) + N_0}. \quad (18)$$

Под N_0 принято понимать общее число систем или число восстановлений одной и той же системы. Физический смысл N_0 состоит в количестве принятых импульсных отражений от радиолокационной цели при её идентификации. Значит, для рассматриваемого частного случая средний квадрат ошибки будет вычисляться по формуле:

$$E_{\min}^2 = \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^\infty \ln \frac{1}{\pi} \left(1 + \frac{2S_s(\omega)}{N_0} \right) d\omega. \quad (19)$$

Практическая реализация вычислений по формуле (19) оказывается довольно громоздкой, поэтому для их упрощения не будем накладывать на оптимальный фильтр требование технической реализуемости. Тогда нижний предел в выражении (14) будет равным $-\infty$, и оно примет вид:

$$\int_0^\infty h_0(\nu)K_x(\tau - \nu)d\nu = K_{sx}(\tau + \Delta). \quad (20)$$

Решение (20) позволяет получить следующее выражение комплексной частичной характеристики оптимального фильтра:

$$K_0(j\omega) = \frac{S_{sx}(\omega)}{S_x(\omega)} e^{j\omega\Delta}. \quad (21)$$

Для частного случая статистически независимого сигнала $S(t)$ и белого шума $n(t)$ (21) приводится к виду:

$$K_0(j\omega) = \frac{S_{sx}(\omega)}{S_x(\omega) + S_n(\omega)} e^{j\omega\Delta}. \quad (22)$$

Допуская равенство выражений (18) и (22), описывающих одну и ту же комплексную частотную характеристику оптимального фильтра, получим:

$$1 - \frac{N_0}{2S_s(\omega) + N_0} = \frac{S_s(\omega)}{S_s(\omega) + S_n(\omega)} e^{j\omega\Delta}.$$

После преобразования последнее выражение примет вид:

$$\frac{2}{2S_s(\omega) + N_0} = \frac{e^{j\omega\Delta}}{S_s(\omega) + S_n(\omega)}, \quad (23)$$

откуда следует, что:

$$S_s(\omega) = \frac{S_n e^{-j\omega\Delta} - 0,5N_0}{1 - e^{-j\omega\Delta}}. \quad (24)$$

В выражении (19) в общем случае слагаемое и множитель $e^{-j\omega\Delta}$ является убывающей функцией, поэтому можно утверждать, что спектральная плотность сигнала будет определяться N_0 , то есть:

$$S_s(\omega) = f(N_0). \quad (25)$$

Таким образом, спектральная плотность полученного сигнала при оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки определяется количеством принятых импульсных отражений от радиолокационной цели при её идентификации.

Классическая задача оптимальной линейной фильтрации по критерию максимума отношения сигнал-шум

Пусть на вход линейного фильтра с комплексной частотной характеристикой $K(j\omega)$ поступает комплексное множество $x(t)$, состоящее из полезного сигнала $S(t)$, который представляет собой случайный процесс со спектральной плотностью $S_n(\omega)$, и помехи $n(t)$ (рис. 2).

Полезный сигнал $S(t)$ статистически независим от помехи $n(t)$, форма которого заранее известна, имеет амплитудный спектр $S(j\omega)$. Тогда на выходе фильтра случайный процесс $y(t)$ будет определяться результатом преобразования сигнала $S_{\text{пф}}(t)$ и преобразования помехи $n_{\text{пф}}(t)$ линейным фильтром, то есть:

$$y(t) = S_{\text{пф}}(t) + n_{\text{пф}}(t). \quad (26)$$

Составляющая полученного сигнала на выходе фильтра будет равна:

$$S_{\text{пф}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_s(j\omega) K(j\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (27)$$

Дисперсия помехи на выходе фильтра:

$$\sigma_{\text{пф}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_n(j\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega. \quad (28)$$

Рассмотрим величину a , представляющую собой отношение мгновенного значения полезного сигнала на входе фильтра в некоторый момент времени t , равный T , к среднеквадратическому значению выходного шума, то есть:

$$a = \frac{|S_{\text{пф}}(T)|}{\sigma_{\text{пф}}}. \quad (29)$$

С учётом (27) и (28) выражение (29) примет вид:

$$a = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_s(j\omega) K(j\omega) e^{j\omega T} d\omega}{\sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_n(j\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega}}. \quad (30)$$

Линейный фильтр, максимизирующий отношение a , является оптимальным фильтром по критерию максимума отношения сигнал-шум. Его комплексные характеристики определяются формулами:

$$K_0(j\omega) = \frac{S^S(j\omega)}{S_n(\omega)} e^{-j\omega T}; \quad (31)$$

$$h_0(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_0(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (32)$$

где $S^S(j\omega)$ – комплексно-сопряжённая с амплитудным спектром функция входного сигнала $S(t)$; $S_n(\omega)$ – спектральная плотность помехи.

Если помеха $n(t)$, входящая в случайный процесс $x(t)$, представляет собой стационарный нормальный Гауссовский процесс (белый шум), то выражения (31) и (32) приводятся к виду:

$$K_0(j\omega) = k S^S(j\omega) e^{-j\omega T}, \quad (33)$$

$$h_0(t) = k S(T-t), \quad (34)$$

где k – некоторая постоянная величина, технический смысл которой может быть определён как коэффициент усиления радиоприёмного устройства, принимающего отражённые радиолокационные сигналы.

С технических позиций коэффициент усиления приёмного устройства – постоянная величина на определённом участке полосы пропускания. В пределах всей полосы пропускания приёмного устройства коэффициент усиления изменяется в достаточно широких пределах. Это учитывается амплитудно-частотными характеристиками радиоприёмного устройства, поэтому спектральная плотность полезного сигнала на выходе линейного фильтра будет определяться степенью сопряжения коэффициента усиления амплитудному спектру входного сигнала, то есть:

$$S_s(j\omega) = K^S S(j\omega), \quad (35)$$

где K^S – функция, показывающая степень сопряжения (соответствия) коэффициента усиления в полосе приёмного устройства амплитудному спектру входного сигнала [17, 18].

Другими словами, спектральная плотность полезного сигнала при оптимальной линейной фильтрации по критерию максимума отношения сигнал-шум определяется степенью сопряжения (соответствия) амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру входного полезного сигнала. Сведя в одну систему уравнений выражения (34) и (35)

$$\left. \begin{aligned} S_s(j\omega) &= f(N_0) \\ S_s(j\omega) &= K^s S(j\omega) \end{aligned} \right\}, \quad (36)$$

получим условия оптимальной фильтрации сигналов, принятых радиоприёмным устройством.

Таким образом, идентификация радиолокационных целей при обеспечении безопасности КИИ технически сводится к оптимальной фильтрации принятых радиоприёмным устройством РЛС всех отражённых сигналов, поступающих как от опасных целей, так и целей, создающих помехи этому приёму. Условия оптимальной фильтрации характеризуются спектральной плотностью полезного сигнала на входе радиоприёмного устройства. Она определяется количеством принятых импульсных отражений от радиолокационной цели при её идентификации по критерию минимума среднего квадрата ошибки и степенью сопряжения амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру входного полезного сигнала по критерию максимума отношения сигнал-шум.

Интерпретация классических решений применительно к задаче автоматизированной идентификации при радиолокационном наблюдении вокруг ядерных объектов

Совокупность сведений о целях, получаемых средствами радиолокации, принято называть радиолокационной информацией. Средства получения радиолокационной информации – это радиолокационные станции (РЛС). Другими словами, РЛС являются особой подгруппой радиотехнических систем извлечения информации и относятся к обширной группе информационных радиосистем. Процесс получения радиолокационной информации состоит из следующих этапов: обнаружение целей, измерение координат и параметров движения, разрешение и идентификация целей.

Обнаружение состоит в принятии решения о наличии или отсутствии цели в каждом временном участке пространства с минимально допустимыми вероятностями ошибочных решений.

Измерение сводится к определению координат и параметров движения цели с минимально допустимыми погрешностями. При использовании сферической системы координат обычно измеряют дальность до цели, ее азимут (на суше) или пеленг (на море) и угол места. В качестве параметров движения цели,

как правило, используются направление и скорость движения. Могут выводиться производные координат либо другие параметры траектории движения, например, временное изменение расстояния (ВИР), временное изменение азимута (ВИА) и другие.

Разрешение состоит в выполнении задач обнаружения и измерения параметров выбранной цели при наличии других целей, находящихся в зоне наблюдения. В соответствии с характером движения цели различают разрешение целей по дальности, угловым координатам и скорости.

Разрешающую способность по координатам характеризуют элементарным объемом, размеры которого по дальности, в азимутальной плоскости, угломестной устанавливаются так, что наличие цели в соседнем объеме не ухудшает показатели качества обнаружения и измерения параметров цели, расположенной в центре выделенного объема. Определенный таким образом элементарный объем называют разрешаемым объемом.

Распознавание заключается в установлении принадлежности обнаруженной цели к определенному виду. В одних случаях необходимо установить принадлежность «свой – чужой» с помощью запросно-ответных устройств радиолокационного распознавания. В других необходимо выделить истинную цель на фоне ложных целей, определить характер ее движения и тип. Эти действия называются идентификацией.

Скоротечность и сложность решения каждой из задач: обнаружения, измерения, разрешения и распознавания (идентификации) для любого конечного объема пространства должно решаться за ограниченное время. В связи с этим априорное знание характеристик радиолокационных целей позволяет упростить и формализовать процесс обработки радиолокационной информации.

Основными характеристиками радиолокационных целей являются: отражающая способность, определяющая способность цели переизлучать определенную часть падающей на нее электромагнитной энергии; закон распределения и спектр флуктуаций амплитуды отраженного сигнала; закон распределения и спектр флуктуаций фазового фронта отраженного сигнала; особенности траектории движения.

Идентификация опасных радиолокационных целей описывается системой уравнений (36), одно из которых определяется общим числом принятых импульсных отражений от цели N_0 , другое – отношением сопряжения амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру полученного входного сигнала K^s . С точки зрения технической реализации число N_0 будет тем больше, чем больше количество оборотов антенны РЛС, которое зависит от скорости вращения – технической

характеристики РЛС, то есть от $N_{обор}$ – числа оборотов в минуту. Для достоверной идентификации необходимо не менее трёх регистраций, то есть трёх оборотов антенны. В ряде случаев инструкциями определяется и 4, и 5 регистраций для достоверной классификации опасной цели.

Соответствие сопряжения амплитудно-частотной характеристики приемного устройства спектру входного полезного сигнала учитывает технический параметр РЛС δ – коэффициент распознавания. Иначе говоря, время идентификации опасной цели (работное время поисковой системы) зависит от скорости вращения антенны РЛС и коэффициента распознавания, то есть:

$$t_{IP} = f(N_{обор}, \delta). \quad (37)$$

Необходимо отметить, что присутствующая в выражениях (36) и (37) величина δ – коэффициент распознавания, характеризует обработку отраженного от цели радиолокационного сигнала в приёмном устройстве РЛС. Как было отмечено ранее, коэффициент распознавания, безразмерная величина, лежит в основе оптимального обнаружения и показывает, во сколько раз должно быть превышение уровня или интенсивности принятого полезного сигнала над уровнем помех, действующих на вход приёмного устройства.

В то же время величина и спектр электромагнитного сигнала, отраженного от биологической цели, будут определяться суммой поглощения единичных электромагнитных лучей на максимально малых отрезках (площадках) облученной поверхности биологической цели. Особенность этого поглощения падающей электромагнитной волны специфична для разных видов (классов) биологических целей и имеет множество индивидуальных признаков, которые по интенсивности и спектру поглощения позволяют не только классифицировать биологический объект как человека (мужчину, женщину, подростка, ребенка и др.), животное (собаку, овцу, корову и пр.), но и персонализировать ее. Подобная идентификация осуществляется по интенсивности и спектру принятого электромагнитного сигнала, отраженного от биологической цели. Она реализуется посредством восстановления образа облученной цели по совокупности линейных интегралов, описывающих поглощение электромагнитной волны в каждой точке (на бесконечно малом отрезке, бесконечно малой площадке) облученной поверхности биологического объекта.

С учетом вышеизложенного можно сделать заключение, что если в приемнике РЛС реализуется оптимальный прием, то значение коэффициента распознавания должно вычисляться по формуле:

$$\frac{1}{\delta} = \int_{R^1} T(E) \exp \left\{ - \int_L f(xE) dx \right\} dE. \quad (38)$$

Таким образом, рабочее время автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры будет зависеть от значений скорости обзора пространства и коэффициентов распознавания радиолокационных станций. Коэффициенты распознавания радиолокационных станций, необходимые для обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам критической информационной инфраструктуры, определяются функциями поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определенному числу линейных интегралов, зависящих от размеров объекта и длины волн излучения.

Выводы

Задача автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности КИИ, с технической точки зрения, сводится к задаче оптимальной фильтрации сигналов. Она состоит в выявлении опасных радиолокационных целей, которыми являются люди и животные, пилотируемые и беспилотные малоразмерные летательные аппараты, двигающиеся в сторону охраняемого объекта, которая решается классическими линейными методами фильтрации.

Спектральная плотность полученного сигнала при оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки определяется количеством принятых импульсных отражений от радиолокационной цели при её идентификации.

Идентификация радиолокационных целей при обеспечении безопасности КИИ технически сводится к оптимальной фильтрации принятых радиоприёмным устройством РЛС всех отражённых сигналов, поступающих как от опасных целей, так и целей, создающих помехи этому приёму. Условия оптимальной фильтрации характеризуются спектральной плотностью полезного сигнала на входе радиоприёмного устройства. Она определяется количеством принятых импульсных отражений от радиолокационной цели при её идентификации по критерию минимума среднего квадрата ошибки и степенью сопряжения амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру входного полезного сигнала по критерию максимума отношения сигнал-шум.

Рабочее время автоматизированной идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры будет зависеть от значений скорости обзора

пространства и коэффициентов распознавания радиолокационных станций. Коэффициенты распознавания радиолокационных станций, необходимые для обнаружения и идентификации людей и других опасных целей на подходах к охраняемым объектам

критической информационной инфраструктуры, определяются функциями поглощения электромагнитного излучения тканями биообъекта по определенному числу линейных интегралов, зависящих от размеров объекта и длины волн излучения.

Литература

1. Гончаренко Ю. Ю. Оптимизация акустического контроля на потенциально опасных объектах / Ю. Ю. Гончаренко, М. И. Ожиганова. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2023. – 120 с.
2. Козырева А. В. Защита объектов критической информационной инфраструктуры в 2022 году / А. В. Козырева // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 5. – С. 1215–1223.
3. Информационная безопасность критической информационной инфраструктуры организаций Российской Федерации / Е. В. Данилин, В. Е. Клюев, А. П. Теленьга, А. С. Черникова // Информационная безопасность – актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов в области информационной безопасности. – 2019. – № 1(10). – С. 33–38.
4. Здоровцов А. Г. Оценка эффективности системы охраны периметров объектов и контроля за прилегающей территорией / А. Г. Здоровцов, А. М. Пушкарев // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. – 2022. – № 4(8). С. 43–45.
5. Кривошея Д. Г. Средства контроля и физической защиты периметра потенциально опасных объектов / Д. Г. Кривошея, В. Л. Ефименко // Пожарная и техноферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2020. – № 1(5). – С. 368–375.
6. Ожиганова М. И. Архитектура безопасности киберфизической системы / М. И. Ожиганова // Защита информации. Инсайд. – 2022. – № 2(104). – С. 5–9.
7. Корчагин, С. И. Системы защиты периметра, 2-е переиздание, под редакцией Корчагина Сергея Игоревича // Корчагин С. И., Шанаев Г. Ф., Филатов В. В., Закиров Т. Н., Леус А. В. и др. – М.: Секьюрити Фокус, 2019. – 282 с.
8. Рыкунов В. Охранные системы и технические средства физической защиты объектов / Рыкунов В.: Security Focus, 2022–284 с.
9. Защита критической инфраструктуры государства от террористического воздействия / Е. В. Азаренко, Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк, М. И. Ожиганова. – Киев: Издательство НУОУ им. Ивана Черняховского, 2018. – 82 с.
10. Теоретические основы интеграции технических средств охраны границы (радиолокационные станции) в единую систему безопасности / В. Е. Эчин, А. С. Мартикьян, А. К. Саматов, Т. Т. Муратбеков // Научный аспект. – 2021. – Т. 1, № 3. – С. 54–69.
11. Гончаренко Ю. Ю. Особенности использования стационарных радиолокационных станций для предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера / Ю. Ю. Гончаренко, С. Н. Девицына // Экономика. Информатика. – 2021. – Т. 48, № 2. – С. 405–412. – DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-405-412.
12. Гончаренко Ю. Ю. Радиолокационные станции как средство обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры / Ю. Ю. Гончаренко, И. Н. Карцан // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2023. – Т. 24, № 1. – С. 90–98. – DOI 10.31772/2712-8970-2023-24-1-90-98.
13. Ожиганова М. И. Автоматизация выбора мер по обеспечению безопасности объекта КИИ соответствующей категории значимости при составлении модели угроз / М. И. Ожиганова, А. О. Егорова, А. О. Миронова, А. А. Головин // Энергетические установки и технологии. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 130–135.
14. Лапсарь А. П. Повышение устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры к целевым компьютерным атакам / А. П. Лапсарь, С. А. Назарян, А. И. Владимирова // Вопросы кибербезопасности. 2022. № 2(48). С. 39–51.
15. Кокарева Ю. В. Социальная безопасность: теоретический и прикладной аспекты: монография / Ю. В. Кокарева, М. Н.. – Чита: ЗабГУ, 2021. – 254 с.

