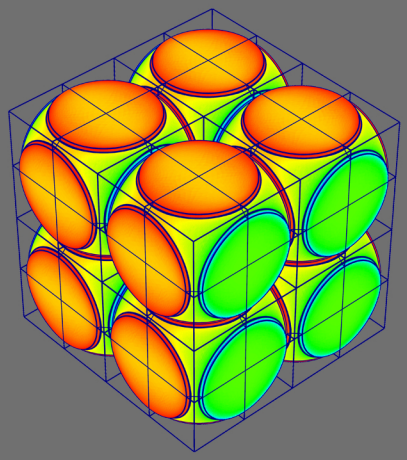
ISSN 2309-3684



Математическое моделирование и численные методы

Пушкарёв Ю.А., Свиридов В.В. Модель оценки качества характеристик робототехнического комплекса для обнаружения нарушителя в лесистой местности. Математическое моделирование и численные методы, 2021, № 1, с. 77–90.

Источник: https://mmcm.bmstu.ru/articles/244/

Параметры загрузки:
IP: 216.73.216.140
12.11.2026 01:07:43

УДК 519.2 DOI: 10.18698/2309-3684-2021-1-7790

Модель оценки качества характеристик робототехнического комплекса для обнаружения нарушителя в лесистой местности

© Ю.А. Пушкарёв, В.В. Свиридов

Филиал ВА РВСН, Серпухов, 142202, Россия

В статье предложена модель оценки качества вероятностных характеристик обнаружения нарушителя с помощью оптико–электронных средств робототехнического комплекса. На основе полученных параметров статистики, математического ожидания и дисперсии принятых сигналов от оптико-электронных средств проанализированы изменения значений вероятности обнаружения нарушителя, значений порога его обнаружения и отношения сигнал/шум при различных значениях вероятности ложной тревоги.

Ключевые слова: *вероятность обнаружения, вероятность ложной тревоги, аддитивная смесь сигнала и шума, порог обнаружения, математическое ожидание, дисперсия фона подстилающих поверхностей*

Введение. Развитие способов воздействия нарушителей, когда вместо скрытых одиночных проникновений к охраняемым объектам стало планироваться массированное применение диверсионных групп с ведением поиска и разведки, устройством засад, дистанционным воздействием и внезапным налётом на критически важные объекты (КВО) [1], показывает необходимость разработки научно–обоснованного подхода к решению проблем и задач своевременного обнаружения нарушителей [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Для обнаружения несанкционированного проникновения нарушителя обычно используют системы охранной сигнализации, как одну из основных составляющих средств физической защиты КВО. При их разработке и анализе эффективности первоочередным является достижение требуемой вероятности обнаружения несанкционированного проникновения. Известные на сегодняшний день методы и модели оценки качества обнаружения нарушителей, как правило, основаны на формализованном представлении функций системы и средств обнаружения. В [4, 7, 8, 9, 10, 11] разработаны: модель объекта и режима его функционирования, модель нарушителя, модель правильного функционирования (или наоборот — опасного состояния) технических средств обнаружения нарушителей, модель реального функционирования системы охраны, модель боестолкновения. Однако, важную роль играет возможность получения объективной оценки качества обнаружения нарушителей при тех или иных видах его воздействия.

В настоящее время в целях повышения уровня охраны КВО в практику внедряются интеллектуальные системы безопасности, в состав которых включены робототехнические комплексы (РТК) и комплексы с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) это позволит, во-первых, разрабатывать более эффективные средства физической защиты, во-вторых, иметь возможность оценки эффективности существующих систем, а также осуществлять объективное сравнение разных систем и различных типов систем и средств охраны КВО.

Постановка задачи. Одной из мероприятий разведки и охранения КВО является задача достоверного и своевременного обнаружения нарушителя, определения места его проникновения на охраняемую территорию, а также оперативного принятия мер по его задержанию [1, 2, 12]. В настоящее время задачи контроля над состоянием безопасности объекта решаются с помощью РТК и комплексов с БЛА. Практика решения задач охраны показывает, что применение РТК и комплексов с БЛА позволяет в разумных пределах (с точки зрения реализации определенной тактики охраны) снизить численность личного состава охраны, повысить надежность защиты объекта, увеличить достоверность и оперативность в выработке решения на принятие мер к задержанию нарушителя [14].

В рамках проводимых полевых исследований решаются задачи по обнаружению нарушителя (человека) с помощью высокочувствительных оптико-электронных средств, установленных на РТК (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Изображения участков лесистой местности, снятой оптико-электронными средствами:
а — изображение с тепловизора; *б* — изображение с дневной камеры

Из сравнения данных участков следует, что оба средства обнаружения имеют хорошее разрешение фона для видения нарушителя.

Обнаружение нарушителя должно проводиться по его локальным признакам (таблица 1), конфигурация которых изменяется в зависимости от способа передвижения [14].

Таблица 1

Геометрические размеры нарушителя (человека)

Способ передвижения нарушителя	Геометрические размеры нарушителя		
	высота, м	глубина, м	ширина, м
В рост	1,6…2,0	0,3…0,5	0,4…0,6
Согнувшись	1,0…1,3	1,2…1,3	0,4…0,6
Ползком (перекатыванием)	0,3…0,5	1,6…2,0 (0,4…0,6)	0,4…0,6 (1,6…2,0)

При рассмотрении вероятностных характеристик охранных систем часто на практике вероятность обнаружения $P_{обн.}$ вычисляют с помощью известной вероятности пропуска целей [15], т.е.

$$P_{обн.} = 1 - P_{проп.} = 1 - \frac{n}{m},$$

где $P_{проп.}$ — вероятность пропуска нарушителя; m — общее количество нарушителей, преодолевших рубеж охраны, n — количество пропусков нарушителей (не обнаружения проникновения).

Данное выражение используется при проведении натурных испытаний и считается экспертной оценкой.

При применении оптико–электронных средств обнаружения нарушителя возникают помехи (отражение от птиц, животных, деревьев и других объектов), которые становятся причиной ложных тревог. Для их характеристики вводится среднее время наработки обнаружителя на ложную тревогу

$$T_{ЛТ} = \begin{cases} T_{исп.}, & K = 0, \\ T_{исп.} \diagup K \neq 0, & K \neq 0, \end{cases}$$

где $T_{исп.}$ — суммарное время испытаний, КK — суммарное количество ложных тревог за это время.

Приведённое выражение также требует наличия готовой аппаратуры обнаружения и проведения натурных испытаний.

В некоторых случаях для оценки систем охраны обходятся только одной вероятностью, которая определяется путём интегрирования соответствующей плотности распределения вероятностей [4, 5, 6]. И всё-таки, в основном, качество обнаружения сводится к определению, как вероятности обнаружения, так и вероятности ложных тревог [12, 17, 18]. При этом важную роль играет принцип максимального правдоподобия, в соответствии с которым работают системы обнаружения [17].

Основой для вычисления вероятности правильного обнаружения $P_{обн.}$ является интеграл от плотности распределения вероятностей следующего вида:

$$P_{обн.} = \int_{q} v_{сп}(q) A(q) dq, \tag{1}$$

где q — аддитивная смесь полезного сигнала X_c и шума f, $v_{сп}(q)$ — плотность распределения вероятностей сигнала на входе оптико-электронного приемника; $A(q)$ — оценочная функция обнаружения сигнала.

Данная функция принимает следующий вид:

$$A(q) = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad l > l_0, \\ 0, & \text{если} \quad l < l_0, \end{cases} \tag{2}$$

где l — отношение правдоподобия, а l_0 —порог обнаружения.

При описании алгоритма обработки сигнальной информации с учетом фоноцелевой обстановки отмечается, что выделение полезных сигналов от нарушителя связано с выставлением порогов обнаружения, которые, в общем случае, должны быть адаптивные по отношению к изменению фона. Расчёт значения этих порогов связан с заданной вероятностью ложных тревог. Поэтому далее рассматривается методика их расчёта с учетом заданной вероятности ложных тревог и известного отношения сигнал/шум [17, 18].

Телевизионные средства обнаружения и распознавания, размещенные на РТК, должны функционировать в условиях малой вероятности появления ложных тревог.

Поэтому при вычислении вероятности обнаружения нарушителя, которая на коротком интервале времени наблюдается *N* раз, целесообразно от вычисления многомерного интеграла:

$$\iint \ldots \int v(q_1, q_2, \ldots, q_N = P_{обн.}$$

перейти к вычислению одномерного интеграла по статистике *L*, т.е.

$$P_{обн.} = P(L \triangleright l_0 / H_1) dL, \tag{3}$$

$$P_{л.т.} = P(L \triangleright l_0 / H_0) dL, \tag{4}$$

где H_1 — гипотеза присутствия сигнала, H_0 — гипотеза отсутствия сигнала, $P_{л.т.}$ — вероятность ложной тревоги.

Статистика случайной величины L может быть получена на основе отношения правдоподобия:

$$l = \frac{v(q_1, q_2, ..., q_N)/H_1}{v(q_1, q_2, ..., q_N)/H_0}, \tag{5}$$

При независимых измерениях аддитивных смесей сигнала X_c и шума $f(q_1 = X_{C1} + f_1, \quad q_2 = X_{C2} + f_2, \quad q_N = X_{CN} + f_N)$ плотность распределения вероятностей многомерного процесса (5) будет представлять собой произведения одномерных плотностей

$$l = \frac{\prod_{i=1}^{N} v(q_i/H_i)}{\prod_{i=1}^{N} v(q_i/H_0)}. \tag{6}$$

Для гипотезы H_0 значение $q_i = f_i$, а для гипотезы H_i значения $q_i = X_i + f_i$ откуда $f_i = q_i - X_i$ при $\forall i = 1...N$.

Определение вероятностей по выражениям (3) и (4) требует знания параметров статистики L и опирается на вычисление отношения правдоподобия l (выражение (6)).

Поэтому первоначально необходимо определить отношение правдоподобия и использовать его для определения параметров (математического ожидания и дисперсии) статистики L.

Для нормального закона распределения имеем:

$$l = \frac{1}{\sigma_f^N (\sqrt{2\pi})^N} \cdot \exp\left[-\sum_{i=1}^{N} \frac{(q_i - X_i)^2}{2\sigma_f^2} / \frac{1}{\sigma_f^N (\sqrt{2\pi})^N} \right] \times$$

$$\times \exp\left[-\sum_{i=1}^{N} \frac{q_i^2}{2\sigma_f^2} \right] = \tag{7}$$

$$= \exp\left[-\sum_{i=1}^{N} \frac{(q_i - X_i)^2}{2\sigma_f^2} + \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i^2}{2\sigma_f^2} \right] = \exp \sum_{i=1}^{N} \frac{2q_i X_i - X_i^2}{2\sigma_f^2}.$$

Взяв логарифм от левой и правой части выражения (7), получим

$$\ln l = \sum_{i=1}^{N} \frac{2q_i X_i - X_i^2}{2\sigma_f^2}. \tag{8}$$

Целью статьи является разработка методического подхода определения вероятностных характеристик процесса обнаружения нарушителей средствами РТК с учётом особенностей наблюдения и их анализ.

Методика определение параметров статистики. Правая часть выражения (8) представляет собой случайную величину L, которая называется статистикой.

Вначале найдём математическое ожидание m_L . По определению

$$m_L = M\left[L\right] = \sum_{i=1}^{N} M\left[\frac{2q_i X_i - X_i^2}{2\sigma_f^2}\right] =$$

$$= \frac{1}{2\sigma_f^2}\sum_{i=1}^{N}\left\{M\left[2q_i X_i\right] - M\left[X_i^2\right]\right\},$$

$$q_i = X_i + \overset{\circ}{f}_i .$$

Найдём следующие два выражения:

$$M\left[2q_i X_i\right] = 2M\left[X_i^2 + \overset{\circ}{f}_i X_i\right] = 2X_i^2 + 2M\left[\overset{\circ}{f}_i X_i\right] = 2X_i^2,$$

$$M\left[\overset{\circ}{f}_i\right] = 0,$$

$$M\left[X_i^2\right] = X_i^2 .$$

Поэтому

$$m_L = \frac{1}{2\sigma_f^2}\sum_{i=1}^{N}\left\{2X_i^2 - X_i^2\right\} = \frac{NX_i^2}{2\sigma_f^2},$$

$$\frac{X_i^2}{2\sigma_f^2} = \rho^2, \qquad (9)$$

$$X_i = X_C,$$

где ρ — отношение сигнал/шума.

Найдём дисперсию σ_L^2 статистики L . Центрированная случайная величина

$$\overset{\circ}{L} = L - m_L = \sum_{i=1}^{N}\frac{2q_i X_i - X_i^2}{2\sigma_f^2} - \frac{NX_C^2}{2\sigma_f^2},$$

$$X_i = X_C .$$

Отсюда имеем

$$\overset{\circ}{L} = \frac{1}{2\sigma_f^2} N(2q_П X_C - X_C^2 - X_C^2) = \frac{N}{\sigma_f^2}\left(\left(X_C + \overset{\circ}{f}_П\right)X_C - X_C^2\right) =$$

$$= \frac{N}{\sigma_f^2}\overset{\circ}{f}_П X_C = \sum_{i=1}^{N}\frac{\overset{\circ}{f}_П X_C}{\sigma_f^2},$$

где X_C — амплитуда сигнала, $\overset{\circ}{f}_П$ — помеха, $q_П$ — аддитивная смесь сигнала и помехи.

По определению дисперсия центрированной случайной величины $\overset{\circ}{L}$ есть

$$\sigma_f^2 = M\left[\overset{\circ}{L}\right]^2 = \sum_{i=1}^{N} M\left[\frac{f_i X_i}{\sigma_f^2}\right]^2 = N\frac{\sigma_f^2 X_C^2}{\sigma_f^4} = N\frac{X_C^2}{\sigma_f^2} = N\rho^2. \qquad (10)$$

Следует заметить, что в дисперсию помехи σ_f^2 входит как дисперсия шума приёмника, так и дисперсия фона, в котором находится полезный сигнал.

Наличие статистики L и ее параметров m_L и σ_L позволяют определить вероятность обнаружения полезных сигналов.

Для этого необходимо определить порог обнаружения $\overset{\circ}{l}$ при заданной вероятности ложной тревоги $P_{л.т.}$.

Методика выставления порогов обнаружения нарушителя с учётом вероятности ложной тревоги. Если известна плотность распределения вероятностей $v(L/X_C)=0$, то вероятность ложной тревоги

$$P_{л.т.} = P(L \triangleright l_0 / X_C = 0) = \int_{l_0}^{\infty} v(L/X_C = 0)dL. \qquad (11)$$

Аналогичным образом, при известной плотности распределения вероятностей $v(L/X_C \neq 0)$, имеем следующее выражение для вероятности обнаружения

$$P_{обн.} = P(L \triangleright l_0 / X_C \neq 0) = \int_{l_0}^{\infty} v(L/X_C \neq 0)dL. \qquad (12)$$

Для нормального закона распределения указанных вероятностей (определяемых по таблице интеграла Лапласа) значение порога l_0 найдется из выражения

$$y = \frac{m_L - l_0}{\sigma_L}, \quad \text{при } m_L = 0, \qquad (13)$$

т.е. при отсутствии полезного сигнала $(X_C = m_L = 0)$.

Выражение для "y" входит в показатель степени экспоненты нормального закона распределения.

Задавая значения "y" можно по таблице Лапласа найти саму функцию Лапласа

$$\Phi(y) = P_{л.т.}.$$

Обычно при известной вероятности ложных тревог находят само значение "y" по указанной таблице.

Следует заметить, что замена принятого сигнала q на порог l_0 в числителе выражения (13) вполне объяснима. Она следует из вероятности ложной тревоги и их частоты. Согласно [11] вероятность ложной тревоги

$$P_{л.т.} \approx \lambda T, \ \lambda T \prec\prec 1,$$

где λ — частота ложных тревог, T — длина одного интервала наблюдения.

В [15] также дано определение частоты ложных тревог — это есть среднее число пересечений стохастическим процессом порогового уровня l_0 за 1 секунду.

Исходя из данного определения такая замена q на порог l_0 вполне очевидна.

Имея значение вероятности ложной тревоги $P_{л.т.}$, можно найти сначала значение "y", а затем значение порога

$$l_0 = -y\sigma_L.$$

Определение вероятности обнаружения $P_{обн.}$ также производится по указанной таблице с использованием выражения (13), в котором $m_L \neq 0$.

В таблице 2 для $N = 1...10$, $\rho = 3$ и заданной вероятности ложной тревоги $P_{л.т.} = 0,001$ приведены значения порога обнаружения l_0 и вероятности обнаружения $P_{обн.}$. При этом параметры статистики составили:

$$m_L = \frac{N}{2}\rho^2 = \frac{N}{2}9, \ \ \sigma_L = \sqrt{N}\rho = \sqrt{N}3,$$
$$y_1 = -l_0/\sigma_L, \ \ y_2 = -\left(m_L - l_0\right)/\sigma_L.$$

Это следует из формул (9) и (10).

В таблицах 3 и 4 для значений N, m_L при значениях вероятности ложной тревоги 0,01 и 0,05 соответственно приведены значения порогов l_0 и вероятности обнаружения $P_{обн.}$.

Таблица 2

Изменение значений вероятности обнаружения нарушителя, значений порога его обнаружения при вероятности ложной тревоги $P_{л.т.} = 0,001$

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_L	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5	45,0
σ_L	3,000	4,240	5,196	6,000	6,700	7,300	7,900	8,480	9,000	9,480
$P_{л.т.}$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
l_0	9,30	13,14	16,10	18,6	20,77	22,60	24,50	26,29	27,90	29,39
y_1	–3,1	–3,1	3,1	–3,1	3,1	–3,1	3,1	–3,1	3,1	–3,1
y_2	–1,60	–0,98	–0,50	–0,10	–0,26	0,60	0,89	1,15	1,40	1,65
$P_{обн.}$	0,055	0,164	0,310	0,460	0,600	0,730	0,810	0,870	0,920	0,950

Таблица 3

Изменение значений вероятности обнаружения нарушителя, значений порога его обнаружения при вероятности ложной тревоги $P_{л.т.} = 0,01$

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_L	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5	45,0
σ_L	3,000	4,240	5,196	6,000	6,700	7,300	7,900	8,480	9,000	9,480
$P_{л.т.}$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
l_0	6,90	9,75	11,95	13,80	15,40	16,80	18,20	19,50	20,70	21,80
y_1	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3	–2,3
y_2	–0,80	–0,18	0,30	0,70	1,06	1,40	1,68	1,95	2,20	2,45
$P_{обн.}$	0,210	0,430	0,620	0,780	0,860	0,920	0,950	0,970	0,986	0,990

Таблица 4

Изменение значений вероятности обнаружения нарушителя, значений порога его обнаружения при вероятности ложной тревоги $P_{л.т.} = 0,05$

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_L	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5	45,0
σ_L	3,000	4,240	5,196	6,000	6,700	7,300	7,900	8,480	9,000	9,480
$P_{л.т.}$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
l_0	4,92	6,954	8,52	9,84	11,00	11,97	13,00	13,91	14,76	15,5
y_1	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64	–1,64
y_2	–0,14	0,48	0,958	1,36	1,71	2,05	2,34	2,6	2,86	3,11
$P_{обн.}$	0,444	0,6844	0,83	0,9131	0,956	0,97	0,99	0,995	0,998	0,999

Численный анализ вероятностных характеристик процесса обнаружения нарушителя при изменении условий наблюдения. Анализируя данные всех трех таблиц 2, 3, 4 можно сделать вывод, что при увеличении порога обнаружения при относительно большей вероятности ложных тревог с увеличением числа наблюдений (N), увеличивается вероятность обнаружения нарушителя (рис. 2).

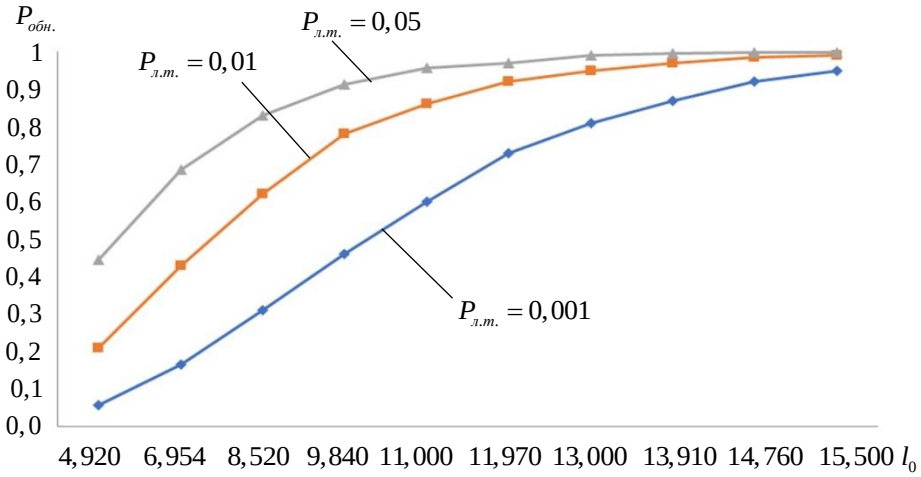


Рис. 2. График зависимости вероятности обнаружения нарушителя от порога обнаружения для вероятностей ложных тревог 0,001…0,05 с накоплением принятых сигналов

Следует заметить, что «само по себе» увеличение порога обнаружения не приводит к увеличению вероятности обнаружения. Эффект повышения данной вероятности достигается за счёт накопления сигналов, что приводит их к лучшему (в сравнении с помехами) преодолению указанного порога. При этом вероятность ложной тревоги как бы стабилизируется, что и видно из всех таблиц и рисунков, отражающих результаты исследований.

Рассмотрим вероятностные характеристики процесса обнаружения нарушителя при увеличении числа опытов. Анализируя полученные данные, следует отметить, что при увеличении числа опытов N (числа накопления сигнала X_C, первоначальная вероятность обнаружения нарушителя небольшая, а затем она монотонно растёт (рис. 3).

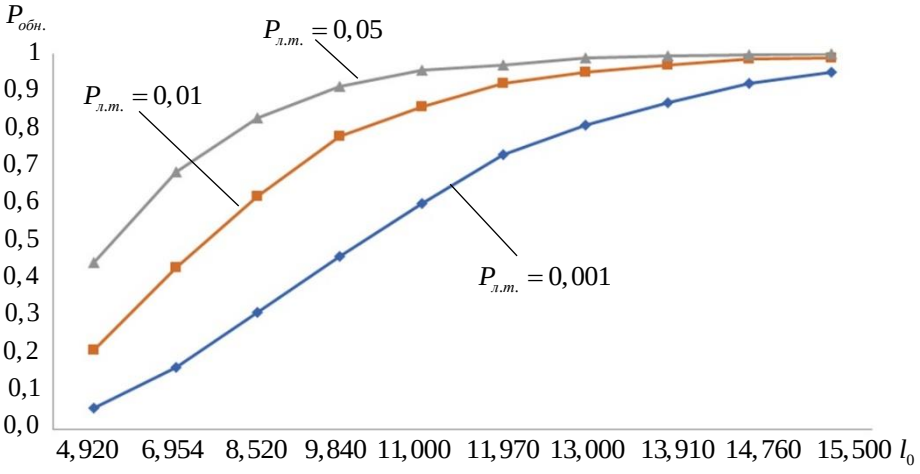


Рис. 3. График зависимости вероятности обнаружения нарушителя от накопления сигнала X_C для заданных вероятностей ложных тревог

Необходимо также отметить, что с увеличением серии опытов, значения вероятности обнаружения нарушителя приближается к максимальной величине. Это означает, что с увеличением вероятности ложных тревог увеличивается и вероятность обнаружения, тем самым повышается достоверность правильного обнаружения нарушителя и, как следствие, уменьшается время обнаружения [7].

Выводы. Результаты разработанной модели оценки качества обнаружения нарушителя в лесистой местности с применением робототехнической системы показали необходимость знания статистики и её параметров (математического ожидания и дисперсии), которые позволяют определить вероятность обнаружения полезных сигналов.

В статье показано, что указанные параметры зависят от отношения сигнал/шум и числа наблюдений, что даёт возможность связать их с геометрическим размером нарушителя, от которых зависит мощность принятого сигнала, а также связать с дисперсиями шумов приёмного устройства и фона подстилающей поверхности при наблюдении сигналов.

Результаты исследования вероятностных характеристик процесса обнаружения нарушителя средствами робототехнического комплекса охраны сводится к следующему:

1. определение вероятности обнаружения нарушителя при заданной вероятности ложной тревоги основывается на нормальном законе распределения аддитивной смеси сигнала и помехи, знании отношения сигнал/шум и числа наблюдений;

2. анализ проведённых исследований показывает увеличение вероятности обнаружения нарушителя при заданной вероятности ложных тревог и росту числа наблюдений при фиксированном значении отношения сигнал/шум;

3. ввиду изменения мощности принятых сигналов, а также дисперсии фона подстилающих поверхностей, т.е. параметров фоноцелевой обстановки, порог обнаружения должен изменяться, т.е. должна быть введена автоматическая адаптация порога обнаружения к параметрам фоноцелевой обстановки, в которой работают средства обнаружения робототехнического комплекса охраны КВО;

4. при проведении серии опытов наблюдается увеличение порога первоначальной вероятности обнаружения нарушителя, тем самым повышая достоверность правильного обнаружения нарушителя и, как следствие, уменьшая время его обнаружения;

5. предложенная методика определения вероятностных характеристик процесса обнаружения нарушителя позволит оценить его качество до проведения натурных испытаний и ускорить разработку системы охраны критически важных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кузьмичев В.В., Скрипачев Д.А. *ФЦНВТ и безопасность критически важных объектов*. Москва, ФГУП «СНПО «Элерон», 2011, 235 с.

[2] САЙГА12. RU. Боевые роботы Вооруженных Сил России [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sayga12.ru/6221-2/ (дата обращения: 01.11.2020).

[3] EN 50131-2-2. *Alarm systems – Intrusion systems – Part 2-2: Requirements for passive infrared detectors*. Approved 2004-05-04. CENELEC. – 38 p.

[4] Волхонский В.В., Воробьев П.А. Методика оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения оптико–электронным извещателем. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2011, № 1(77), с. 120–123.

[5] Чуев В.Ю., Дубограй И.В., Анисова Т.Л. Вероятностная модель отражения атаки разнотипных средств. *Математическое моделирование и численные методы*, 2018, № 1, с. 90–97.

[6] Корсунский В.А. *Перспективы развития военных робототехнических комплексов наземного базирования в России*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, 379 с.

[7] Горсиа М.Л. *Проектирование и оценка систем физической защиты*. Москва, Мир, 2003, 386 с.

[8] Kaushik A.R., Lovell N.H., Celler B.G. Evaluation of PIR detector characteristics for monitoring occupancy patterns of elderly people living alone at home. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology — Proceedings*, 2007, pp. 3802–3805.

[9] Волхонский В.В. К вопросу повышения вероятности обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемый объект. *Вестник Воронежского института МВД России*, 2011, № 4, с. 35–44.

[10] Богданов А.В., Багров В. Особенности характеристик обнаружения ПИК и совмещенных ПИК + РВ датчиков для помещений. *Алгоритм безопасности*, 2012, № 4, с. 72–73.

[11] Волхонский В.В., Малышкин С.Л. К вопросу единства терминологии в задачах физической защиты объектов. *Информационно–управляющие системы*, 2013, № 5(66), с. 61–68.

[12] Нефедов С.И., Скосырев В.Н., Растворов С.А., Восторгов А.Б., Ниашвили М.И., Шумов А.В. Экспериментальные исследования радиолокационных параметров различных типов целей в миллиметровых диапазонах длин волн. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2012, № 1, 24 с.

[13] Свиридов В.В., Дубин А.Е. *Автономные транспортные системы и мобильные роботизированные платформы*. Серпухов, Изд-во Военной академии. РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове Московской области), 2019, 174 с.

[14] Мальцев А.И. Подход к обоснованию вероятностных характеристик периметральных средств обнаружения. *Технологии защиты*, 2015, № 5. URL: http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=1348&uid2=1450&uid3=1461

[15] Трухачёв А.А. *Радиолокационные сигналы и их применение*. Москва, Воениздат, 2005, 320 с.

[16] Хелстрон К. *Статистическая теория обнаружения сиг*налов. Москва, Изд-во иностранной литературы, 1963, 431 с.

[17] Пушкарёв Ю.А. *Системы автоматического управления в ракетно-космической технике. Задачи слежения и терминального управления*. Серпухов, Изд-во Военной академии. РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове Московской области), 2020, 357 с.

[18] Чимитдоржиев Т.Н. К вопросу об использовании поляриметрических радиолокационных данных для классификации различных типов подстилающих поверхностей. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2003.

Статья поступила в редакцию 25.01.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:
Пушкарёв Ю.А., Свиридов В.В. Модель оценки качества характеристик робототехнического комплекса для обнаружения нарушителя в лесистой местности. *Математическое моделирование и численные методы*, 2021, № 1, с. 77–90.

Пушкарёв Юрий Александрович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного управления», филиал ВА РВСН (г. Серпухов).

Свиридов Виктор Викторович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, филиал ВА РВСН (г. Серпухов). e-mail: vodiriv@list.ru

Mathematical modeling of assessing the quality of intruder detection by a robotic system in a wooded area

© Yu.A. Pushkarev, V.V. Sviridov

Branch of SRTMA, Serpukhov, 142202, Russia

When solving the tasks of protecting critical objects, the problem of detecting an intruder in a non-deterministic dynamic external environment with the use of standard technical means arises. The article considers a methodological approach to assessing the quality of probabilistic characteristics of intruder detection using optoelectronic means of a robotic complex. Based on the obtained parameters of the statistics of received signals from optoelectronic devices, changes in the values of the probability of detecting an intruder, the values of the detection threshold and the signal-to-noise ratio at different values of the false alarm probability are analyzed.

Keywords: *detection probability, changing phono target environment, additive mixture of signal and noise, detection threshold, false alarm probability*

REFERENCES

[1] Kuzmichev V.V., Skripachev D.A. *FCNVT i bezopasnost' kriticheski vazhnyh ob"ektov* [FTSNVT and the safety of critical facilities]. Moscow, FSUE «SNPO «Eleron» Publ., 2011, 235 p.

[2] SAYGA 12. RU. *Boevye roboty Vooruzhennyh Sil Rossii* [Combat robots of the Armed Forces of Russia] [Electronic resource]. Access mode: https://sayga12.ru/6221-2/ (accessed: 01.11.2020)

[3] EN 50131-2-2. *Alarm systems – Intrusion systems – Part 2-2: Requirements for passive infrared detectors*. Approved 2004-05-04. CENELEC. – 38 p.

[4] Volkhonskiy V.V., Vorobyov P.V. Estimation method of unauthorized intrusion probability detection by passive infrared detector. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics,* 2011, no. 1 (77), pp. 120–123.

[5] Chuev V.U., Dubogray I.V., Anisova T.L. Probability model of meeting an attack of different types of weapon. *Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2018, no. 1, pp. 90–97.
[6] Korsunsky V.A. *Perspektivy razvitiya voennyh robototekhnicheskih kompleksov nazemnogo bazirovaniya v Rossii* [Prospects for the development of ground-based military robotic complexes in Russia]. Moscow, BMSTU Publ., 2013, 379 p.
[7] Garcia M.L. *Proektirovanie i ocenka sistem fizicheskoj zashchity* [Design and evaluation of physical protection systems]. Moscow, Mir Publ., 2003, 386 p.
[8] Kaushik A.R., Lovell N.H., Celler B.G. Evaluation of PIR detector characteristics for monitoring occupancy patterns of elderly people living alone at home. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology — Proceedings*, 2007, pp. 3802–3805.
[9] Volkhonskiy V.V. About task of probability detection increasing during unauthorized penetration to guarded object. *The bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2011, no. 4, pp. 35–44.
[10] Bogdanov A.V., Bagrov V. Osobennosti harakteristik obnaruzheniya PIK i sovmeshchennyh PIK + RV datchikov dlya pomeshchenij [Features of the characteristics of PEAK detection and combined PEAK + RV sensors for premises]. *Algoritm bezopasnosti* [Security Algorithm], 2012, no. 4, pp. 72–73.
[11] Volkhonskiy V.V., Malyshkin S.L. The issue of unity of terminology in physical protection applications. *Information and Control Systems*, 2013, no. 5(66), pp. 61–68.
[12] Nefedov S.I., Skosyrev V.N., Rastvorov S.A., Vostorgov A.B., Noniashvili M.I., Shumov A.V. Experimental research of different target types radar pictures in milieter wave range. *Electronic scientific and technical periodical: Science and Educational*, 2012, no. 1, 24 p.
[13] Sviridov V.V., Dubin A.E. *Avtonomnye transportnye sistemy i mobil'-nye robotizirovannye platformy monografiya* [Autonomous transport systems and mobile robotic platforms]. Serpukhov, SRTMA Publ. (branch in Serpukhov, Moscow region), 2019, 174 p.
[14] Maltsev A.I. Podhod k obosnovaniyu veroyatnostnyh harakteristik peri-metral'nyh sredstv obnaruzheniya [Approach to the substantiation of probabilistic characteristics of perimeter detection tools]. *Tekhnologii zashchity* [Protection Technologies], 2015, no. 5. URL: http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=1348&uid2=1450&uid3=1461
[15] Trukhachev A.A. *Radiolokacionnye signaly i ih primenenie* [Radar signals and their application]. Moscow, Voenizdat Publ., 2005, 320 p.
[16] Helstrom C. *Statistical theory of signal detection*. New York, Pergamon Press., 1960, 364 p.
[17] Pushkarev Yu.A. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya v raketno-kosmicheskoj tekhnike. Zadachi slezheniya i terminal'nogo upravleniya.* [Automatic control systems in rocket and space technology. Tasks of tracking and terminal management]. Serpukhov, SRTMA Publ. (branch in Serpukhov, Moscow region), 2020, 357 p.
[18] Chimitdorzhiev T.N. *K voprosu ob ispol'zovanii polyarimetricheskih radiolokacionnyh dannyh dlya klassifikacii razlichnyh tipov podstilayushchih poverhnostej* [On the use of polarimetric radar data for the classification of various types of underlying surfaces]. Ulan-Ude, BSC SB RAS, 2003.

Pushkarev Yu.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of «Automatic Control Systems», Branch of SRTMA (Serpukhov).

Sviridov V.V., Cand. Sc. (Eng.), Senior researcher of the Research Department, Branch of SRTMA (Serpukhov). e-mail: vodiriv@list.ru