

Методика использования основного уравнения пассивной локации в расчетах зон покрытия на охраняемых объектах информатизации

А.М. Макаров, Е.А. Писаренко

Пятигорский государственный университет, г. Пятигорск

Аннотация: В статье описано решение задачи применения основного уравнения пассивной локации для расчета зон покрытия инфракрасных извещателей. Методика расчета разработана на основе уравнения максимальной дальности действия пассивного приемника. В исследовании были рассмотрены три модели соотношения параметров сигнала и шума: сигнал на фоне белого шума при полностью известных параметрах сигнала и шума; обнаружение сигнала, фаза и амплитуда которого неизвестны; обнаружение случайного сигнала на фоне шума.

В результате проведенного исследования были найдены условия, при выполнении которых формулы пассивного обнаружения сигнала на фоне помех дают корректные результаты. Таким образом, была установлена связь статистической теории обнаружения с уравнением дальности действия пассивного извещателя.

Ключевые слова: информационная безопасность, инфракрасный извещатель, пассивная локация, инженерно-техническая защита, пироэлемент.

Вопросы, связанные с радиолокацией, сегодня составляют серьезный пласт научных исследований в области разработки новых технических систем. Так, особенности радиолокации миллиметровых волн рассматриваются специалистами применительно к расчетам систем связи [1], принцип пассивной локации положен в основу вычисления относительных координат радиоизлучающих объектов [2].

Разработкой и расчетами систем инженерно-технической защиты занимались многие специалисты [3-5], что соответствует важности и серьезности проблемы технической защиты объектов самого разного назначения. Но наибольший интерес, безусловно, представляет защита объектов информатизации.

В технических системах охраны широкое распространение получили пассивные инфракрасные датчики обнаружения вторжения на объект злоумышленников [6, 7]. Расчеты систем пассивной локации проводятся по различным методикам, в том числе [8] с использованием нечетких вычислений.

Несмотря на существенную разработанность методов проектирования систем пассивной локации, задача установления связи теории статистического обнаружения и выбора на этой основе параметров уравнения для расчета максимальной дальности обнаружения рассмотрена недостаточно подробно. Это может повлечь некорректное использование основного уравнения пассивной локации в расчетах при проектировании технических средств охраны объектов информатизации.

Целью настоящего исследования является разработка методики использования основного уравнения пассивной локации в расчетах зон покрытия на охраняемых объектах информатизации.

В работе А. С. Веницкого [9] приведено выражение для максимальной дальности действия и энергетического потенциала беззапросной радиолинии. Уравнение дальности пассивного приемника для максимума дальности действия имеет вид:

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_{\text{Прд}} \cdot S_{\text{эфПрд}} \cdot S_{\text{эфПрм}} \cdot \Pi}{\rho_{\min} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot a \cdot L \cdot \lambda^2}}, \quad (1)$$

где:

$\mathcal{E}_{\text{Прд}} = P_{\text{Прд}} T_n$ – энергия сигнала длительности T_n , излучаемого передатчиком мощностью $P_{\text{Прд}}$;

$S_{\text{эфПрд}}$ – эффективная площадь антенны передатчика, удаленной от приемника на расстояние R ;

$S_{\text{эфПрм}}$ – эффективная площадь антенны приемника;

Π – коэффициент потерь в среде распространения;

ρ_{\min} – минимально допустимое превышение сигнала над шумом по мощности;

k – постоянная Больцмана;

T_{Σ} – суммарная шумовая температура на входе приемника;

a – коэффициент, равный 1,37;

L – коэффициент запаса на неучитываемые факторы, $L \approx 3 \div 10$;

λ – длина волны приемного устройства.

Адаптируем это выражение для ситуации объемный датчик и объект вторжения с учетом

$$P_{\text{Пр}min} = \rho_{min} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш}},$$

где:

$P_{\text{Пр}min}$ – минимальная чувствительность приемника извещателя;

$\Delta f_{\text{ш}}$ – шумовая полоса приемника для оптимального фильтра, $\Delta f_{\text{ш}} = \frac{\alpha}{T_{\text{ш}}}$.

Определим численные величины, входящие в (1) применительно к обнаружению нарушителя. Для этого запишем мощность его излучения $P_{\text{Пр}d}$ в инфракрасном диапазоне для $\lambda = (5 \div 15) \cdot 10^{-6}$ м по формуле:

$$P_{\text{Пр}d} = S \cdot \delta (T_1^4 - T_0^4),$$

где

T_1, T_0 – температура окружающей среды и человека соответственно;

S – поверхность излучения тепла от биологического объекта;

$\delta = \alpha \sigma$, где

α – коэффициент поглощения биологического объекта,

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.

В соответствии с ГОСТ Р50777-95 для стандартной модели S принимается равной $10,045-0,06 \text{ м}^2$; $T_1 = 310^\circ \text{ К}$, $T_0 = 306^\circ \text{ К}$.

Тогда мощность передатчика равна $P_{\text{Пр}d} = 10^{-9} \text{ Вт}$.

Так как в датчике обнаружения в качестве антенны приемника применяется линза Френеля с зеркальной линзой, то ее коэффициент усиления составляет десятки и сотни раз, тогда

$$S_{\text{эф}Прd} = (10^{-5}-10^{-6}).$$

С другой стороны, для пироэлемента имеем:

$$S_{\text{эф}Прм} = (10^{-8}-10^{-10}).$$

Основную задачу составляет выбор минимального значения отношения сигнал/шум ρ_{min} для заданных вероятностей правильного обнаружения P_{no} и ложной тревоги $P_{лт}$.

Рассмотрим метод определения ρ_{min} обнаружителя сигнала на фоне белого шума с полностью известными параметрами. Это предельный случай априорно известных параметров о сигнале и помехе, который иллюстрирует предлагаемую методику.

При условии применения критерия Неймана-Пирсона, который характерен для локационных обнаружителей сигналов, вероятность ложной тревоги $P_{лт}$ запишется в виде:

$$P_{лт} = 1 - \psi\left(\frac{h}{\sqrt{\rho_{min}}}\right),$$

где

h – величина порога решающего правила Неймана-Пирсона,

$\psi(\cdot)$ – интеграл вероятности, равный $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}x^2} dx$.

Для вероятности правильного обнаружения запишем:

$$P_{по} = 1 - \psi\left(\frac{h}{\sqrt{\rho}} - \sqrt{\rho}\right).$$

Из этих формул определяем ρ для заданных вероятностей ложных тревог и правильного обнаружения и подставляем в основную формулу пассивного локатора.

В практических расчетах большой интерес представляет другой случай, случай, когда ни фаза сигнала, ни его амплитуда неизвестны. Тогда вероятности ложных тревог и правильного обнаружения примут вид:

$$P_{лт} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{h}{\sqrt{P_{лт} \cdot m} \cdot \sqrt{E}/2}\right)^2\right\},$$

где

P_u – мощность шума,

$m[E]$ – среднее значение энергии сигнала;

$$P_{по} = \exp\left\{-\frac{h_0}{2(1+\sigma_A^2 \frac{2m[E]}{N_0})}\right\},$$

где

$$h_0 = \frac{h}{\sqrt{P_{лг} m[E] / 2}};$$

σ_A^2 – дисперсия неизвестной, но случайной амплитуды сигнала,

N_0 – спектральная плотность мощности шума.

Как показано в работе [10],

$$P_{по} = P_{лг}^{1/(1+\frac{E}{2})}.$$

Третья модель параметров представляет обнаружение случайного сигнала на фоне шума [11]. Для этого случая аналитических выражений для связи ρ_{min} , $P_{по}$ и $P_{лг}$ не существует. Поэтому целесообразно воспользоваться анализом графиков зависимости дальности обнаружения R_{max} от ρ_{min} и $S_{эф}$ приемника и передатчика (рис. 1, 2). Исходя из них легко рассчитать $P_{по}$ и $P_{лг}$ для всех трех моделей параметров сигнал/шум, описанных выше, описанных выше.

Форма приведенных графиков требует некоторого пояснения. Реальная чувствительность приемника вычисляется по формуле:

$$P_{Пр min} = q_{min} k T_2 \Delta f / U$$

Как видим, она зависит от минимального значения отношения сигнал/шум на входе приемника, в нашем случае на входе пироэлемента.

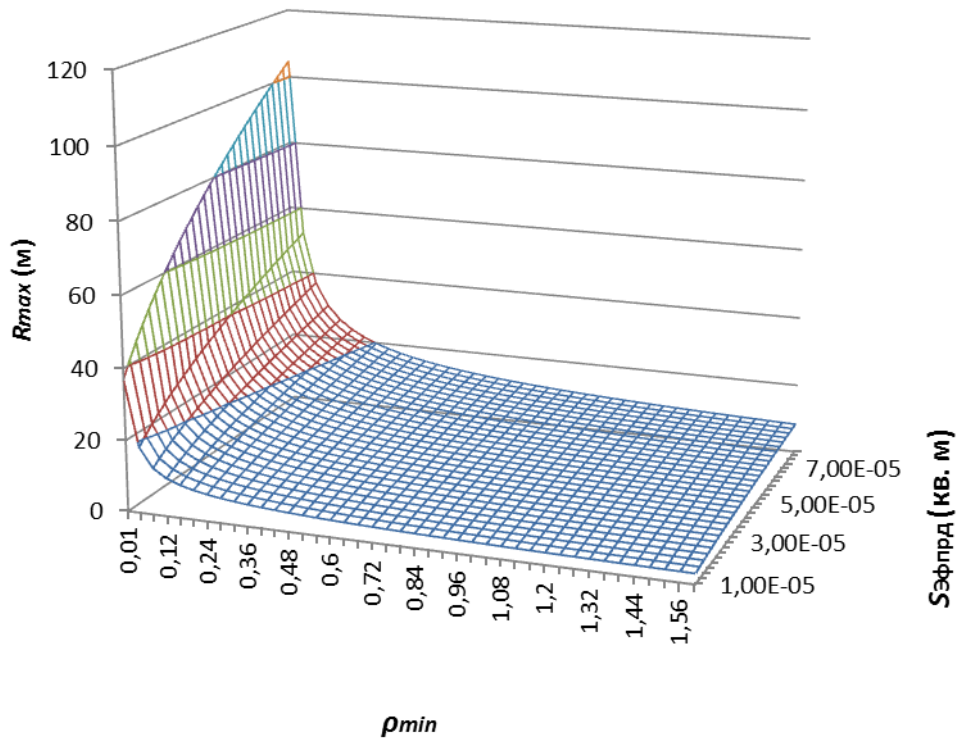


Рис. 1. Зависимость R_{max} от ρ_{min} и $S_{эфпрд} = 1 \div 7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$

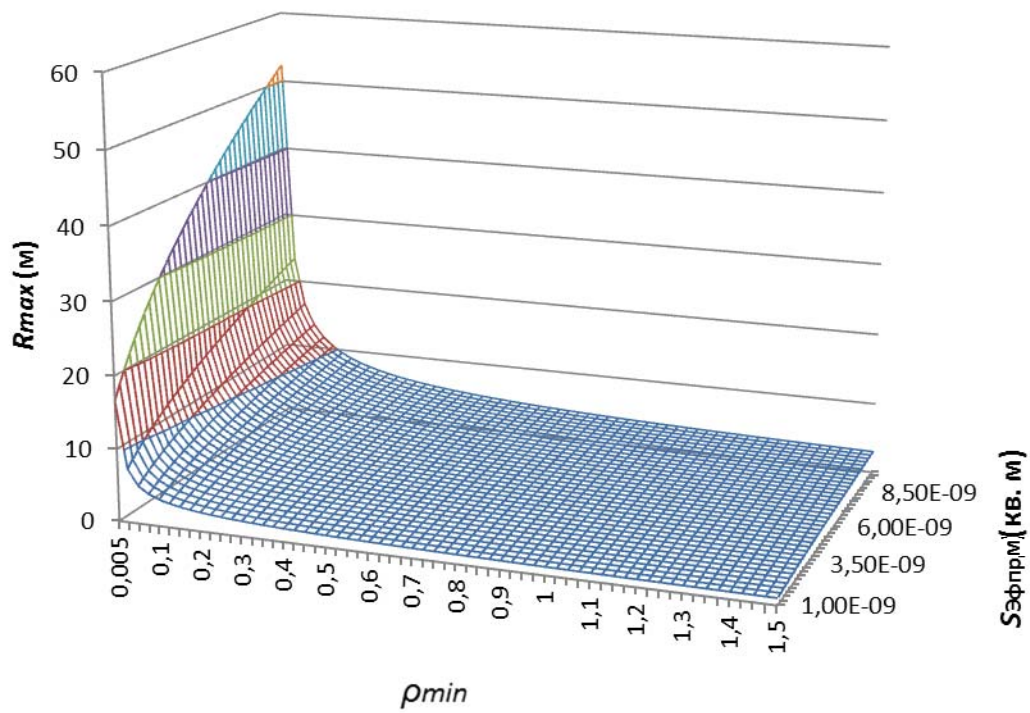


Рис 2. Зависимость R_{max} от ρ_{min} и $S_{эфпрм} = 1 \div 9 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$

Особенностью использования уравнения пассивной локации в технических системах охраны объектов информатизации состоит в том, что мощность сигнала нарушителя не может быть увеличена за счет повышения его температуры излучения. Возможно лишь осуществить увеличение времени интегрирования пироэлементом излучения нарушителя, тогда отношение сигнал/шум в момент времени интегрирования будет пропорционально корню квадратному из T , т.е.

$$\rho_{\text{инт min}} = \sqrt{T} \rho_{\text{min}}$$

Это объясняет форму графиков, приведенных на рис. 1, 2.

При $\rho_{\text{min}} = 0,5$, $\sqrt{T} \sim 5$, тогда дальность обнаружения составит порядка 20 метров, с учетом того, что отношение сигнал/шум должно обеспечивать вероятность правильного обнаружения $P_{\text{По}} \geq P_{\text{По доп}}$ при вероятности ложной тревоги $P_{\text{Лт}} \leq P_{\text{Лт доп}}$, где $P_{\text{По доп}}$ – допустимая вероятность правильного обнаружения, $P_{\text{Лт доп}}$ – допустимая вероятность ложной тревоги.

Таким образом, комплекс условий, которые необходимо выполнить, приводит к корректному использованию формул пассивного обнаружения сигнала на фоне помех.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана методика, позволяющая связать статистическую теорию обнаружения с уравнением дальности действия пассивного излучателя. Эта методика может найти применение при проектировании систем инженерно-технической защиты с использованием пассивных инфракрасных извещателей.

Литература

1. Тихомиров А.В., Омельянчук Е.В., Кривошеев А.В. Особенности проектирования систем связи миллиметрового диапазона радиоволн // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1742.
 2. Манжула В.Г., Крутччинский С.Г., Савенко А.В., Воронин В.В. Интерферометрический интерфейс системы определения относительных координат радиоизлучающих объектов // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1027.
 3. Garcia, M. L. Design and evaluation of physical protection systems, Butterworth-Heinemann Publ. 2007, 351 p.
 4. Борисов Е.Г., Егоров С.Г., Мартемьянов И.С. Определение местоположения источников радиоизлучения пассивной двухпозиционной радиотехнической системой // «Вопросы радиоэлектроники», 2017, с. 15-20
 5. Минаев В. А., Сычев М. П., Севрюков Д. В., Дудолодов В. А. Отечественные ИК - извещатели в системах охранно-пожарной сигнализации // Вопросы оборонной техники. Серия 16: «Технические средства противодействия терроризму». 2017, № 11-12 (113-114), С. 115-121
 6. Волхонский В.В., Малышкин С.Л. Оценка вероятности обнаружения нарушителя пассивными инфракрасными извещателями // «Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики», 2015, Т. 15, № 4. С. 716-721, DOI: 10.17586/2226-1494-2015-15-4-716-721
 7. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. - М.: Горячая линия.Телеком. 2004.- 676с.
 8. Yan, J. "A passive location system for single frequency networks using digital terrestrial TV signals", European transactions on telecommunications. Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana Publ., 2011, V 22. no 8, pp. 487-499. DOI: 10.1002/ett.1498.
-

9. Виницкий А.С. Автономные радиосистемы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь 1986. – 336с.
10. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь. – 1982. – 624 с.
11. Калиберда И.В., Макаров А.М. Анализ и вывод расчетной формулы для дальности действия пассивного оптоэлектронного извещателя. Научный журнал «Современная наука и инновации»: Пятигорск-Изд. ПФСУФУ. - 2014 вып.4(8) – с. 195.

References

1. Tikhomirov A.V., Omel'yanchuk E.V., Krivosheev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1742.
2. Manzhula V.G., Krutchinskiy S.G., Savenko A.V., Voronin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1027.
3. Garcia, M. L. Design and evaluation of physical protection systems, Butterworth-Heinemann Publ. 2007, 351 p.
4. Borisov E.G., Egorov S.G., Martem'yanov I.S. Voprosy radioelektroniki (Rus), 2017, pp. 15-20.
5. Minaev V. A., Sychev M. P., Sevryukov D. V., Dudoladov V. A. Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: "Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu", 2017, № 11-12 (113-114), pp. 115-121.
6. Volkhonskiy V.V., Malyshkin S.L. Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki, 2015, T. 15, № 4. pp. 716-721, DOI: 10.17586/2226-1494-2015-15-4-716-721
7. Magauenov R.G. Sistemy okhrannoy signalizatsii: osnovy teorii i printsipy postroeniya. [Security alarm systems: basic of the theory and principles of construction]. M.: Goryachaya liniya-Telekom. 2004. 676 p.



8. Yan, J. “A passive location system for single frequency networks using digital terrestrial TV signals”, European transactions on telecommunications. Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana Publ., 2011, V 22. no 8, pp. 487-499. DOI: 10.1002/ett.1498.

9. Vinitskiy A.S. Avtonomnye radiosistemy: Ucheb. posobie dlya vuzov [Stand-alone radio systems: Textbook for high schools]. M.: Radio i svyaz', 1986, 336 p.

10. Tikhonov V. I. Statisticheskaya radiotekhnika [Statistical Radio Engineering]. M.: Radio i svyaz', 1982, 624 p.

11. Kaliberda I.V., Makarov A.M. Nauchnyy zhurnal “Sovremennaya nauka i innovatsii” (Rus). Pyatigorsk. PFSUFU Publ. 2014, vyp.4 (8) p. 195.