

Зависимость вероятности обнаружения движущегося источника ионизирующего излучения от различных параметров

В. М. КИРИЛЛОВ, Е. А. КОРОЛЕНКО, А. А. НЕКЛЮДОВ

Методом компьютерного моделирования исследована зависимость вероятности обнаружения движущегося источника ионизирующего излучения от различных параметров. Разработана методика моделирования, приведены полученные зависимости и оптимальные значения параметров.

The dependence of probability of detection of a driven ionizing radiation source on various parameters by method of computer modelling is investigated. Technique of modelling is developed, the obtained dependences and optimum values of parameters are exposed.

В практической деятельности экспериментатора может возникнуть необходимость обнаружения движущихся источников ионизирующего излучения. При этом желательно до проведения эксперимента определить условия, обеспечивающие оптимальную вероятность обнаружения. Сформулируем задачу.

Пусть источник ионизирующего излучения интенсивностью Λ движется прямолинейно и равномерно со скоростью v . На расстоянии R от траектории движения источника находится приемник, который регистрирует γ -кванты. Обозначим T — время регистрации и будем полагать, что регистрация

начинается и заканчивается в симметричных точках (рис. 1), тогда расстояние x между источником и приемником будет описываться выражением

$$x^2 = R^2 + (vT/2 - vt)^2,$$

а интенсивность сигнального излучения, зарегистрированного приемником,

$$\lambda_c = \frac{\Lambda \epsilon S}{4\pi(R^2 + (vT/2 - vt)^2)}, \quad (1)$$



Рис. 1. Схема эксперимента

где ϵ — эффективность регистрации приемника; S — площадь чувствительной поверхности приемника.

В данной задаче сигнальные импульсы будут распределены согласно неоднородному закону Пуассона [2].

Пусть количество фоновых импульсов распределено нормально со средним и дисперсией соответственно

$$\mu_{\Phi} = \Phi_{\Phi} \epsilon ST; \quad \sigma_{\Phi}^2 = \Phi_{\Phi} \epsilon ST, \quad (2)$$

где Φ_{Φ} — плотность потока естественного радиационного фона.

Тогда для порога обнаружения при вероятности ложной тревоги $P_{л.т} = 10^{-3}$ получим выражение [5]:

$$n_{пор} = n_{\Phi} + 3\sqrt{n_{\Phi}}, \quad (3)$$

где n_{Φ} распределены нормально со средним и дисперсией (2):

$$p(n_{\Phi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Phi}} \exp\left[-\frac{(n_{\Phi} - \mu_{\Phi})^2}{2\sigma_{\Phi}^2}\right].$$

С помощью ЭВМ генерируются случайные числа, распределенные по закону Пуассона с параметром (1) и по нормальному закону с параметрами (2). Для этого можно ис-

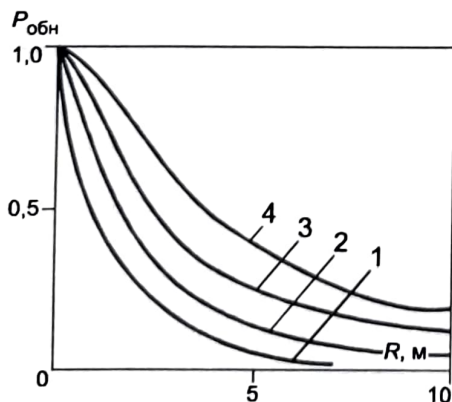


Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения от расстояния до траектории движения источника. Кривые соответствуют параметрам:

1 — $v = 10$ м/с, $\Lambda = 5000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с, $S = 0,02$ м 2 ; 2 — $v = 10$ м/с, $\Lambda = 10000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с, $S = 0,02$ м 2 ; 3 — $v = 5$ м/с, $\Lambda = 5000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с, $S = 0,02$ м 2 ; 4 — $v = 5$ м/с, $\Lambda = 10000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с, $S = 0,02$ м 2

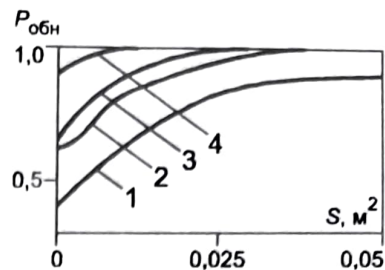


Рис. 3. Зависимость вероятности обнаружения от площади детектора. Расстояние до траектории источника принято 1 м. Кривые соответствуют параметрам:

1 — $v = 10$ м/с, $\Lambda = 5000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с; 2 — $v = 10$ м/с, $\Lambda = 10000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с; 3 — $v = 5$ м/с, $\Lambda = 5000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с; 4 — $v = 5$ м/с, $\Lambda = 10000$ с $^{-1}$, $T = 3$ с

пользовать различные методы [3, 4]. Базовой функцией для построения случайных величин с перечисленными выше законами распределения является функция с равномерным распределением на отрезке $[0, 1]$. В отличие от случайной величины, которая имеет распределение Пуассона и достаточно просто разыгрывается [1, 3, 4], получить случайную величину, подчиненную гауссову распределению, не столь элементарно. В модели используется приближенное разыгрывание нормальной случайной величины. Опишем алгоритм моделирования этой случайной величины. Составим сумму, состоящую из n независимых равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$ случайных величин ξ_i , $i = 1, 2, \dots, n$; в силу центральной предельной теоремы данная сумма будет иметь нормальное распределение. Пронормировав сумму, т. е. отняв математическое ожидание и разделив на дисперсию, найдем аналитическую формулу для получения случайной величины с любой степенью приближения к нормальному закону распределения

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i - (n/2)}{\sqrt{n/12}}$$

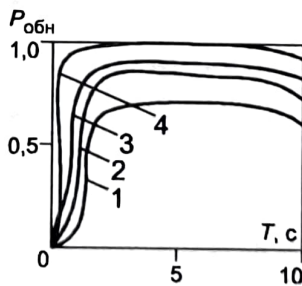


Рис. 4. Зависимость вероятности обнаружения от времени наблюдения. Расстояние до траектории источника принято 1 м. Кривые соответствуют параметрам:

1 — $v = 10$ м/с, $\Lambda = 5000$ с $^{-1}$, $S = 0,02$ м 2 ; 2 — $v = 10$ м/с, $\Lambda = 10000$ с $^{-1}$, $S = 0,02$ м 2 ; 3 — $v = 5$ м/с, $\Lambda = 5000$ с $^{-1}$, $S = 0,02$ м 2 ; 4 — $v = 5$ м/с, $\Lambda = 10000$ с $^{-1}$, $S = 0,02$ м 2

Критерий обнаружения строится согласно выражению (3), моделирование повторяется значительное число раз, результат усредняется и определяется вероятность обнаружения [1, 3, 4]. Изменяя R , T и S , получаем зависимость вероятности обнаружения движущегося источника от этих параметров.

Описанная методика была осуществлена авторами с помощью интегрированной среды программирования Borland C++3.1. Были получены зависимости вероятности обнаружения от расстояния между приемником и траекторией движения источника, от времени регистрации и чув-

ствительной площади приемника. Плотность потока естественного радиационного фона полагали равной $20 \text{ квант} / (\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Результаты расчета приведены на рис. 2 — 4. Обсудим их.

С удалением приемника от траектории движения вероятность обнаружения резко убывает, причем тем быстрее, чем слабее сигнал и больше скорость источника. Поэтому при проведении эксперимента по обнаружению скоростных и слабых источников следует устанавливать приемник достаточно близко к траектории движения. В других случаях следует найти компромисс между надежностью обнаружения и обеспечением скрытности наблюдения.

С увеличением площади чувствительной поверхности детектора вероятность обнаружения возрастает. Чем меньше скорость источника и больше его интенсивность, тем быстрее происходит этот рост. Поэтому площадь приемника более $20\text{—}30 \text{ см}^2$ имеет смысл только при обнаружении скоростных источников слабого сигнала.

Как видно из рис. 4, оптимальное время регистрации лежит в пределах $1,5\text{—}7 \text{ с}$ и практически не меняется при изменении других параметров, т. е. на него не накладываются строгих ограничений и его можно выбирать, исходя из удоб-

ства проведения эксперимента. Условия проведения эксперимента должны обеспечивать максимальную вероятность обнаружения при заданных требованиях к скрытности, стоимости аппаратуры и т. п.

Таким образом, предложенная методика позволяет получить оптимальные условия проведения эксперимента без применения громоздких теоретических расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ватутин В. А., Телевинова Т. М., Чистяков В. П. Вероятностные методы в физических исследованиях. — М.: Наука, 1985.
2. Кириллов В. М., Короленко Е. А., Неклюдов А. А. // Измерительная техника. — 1998. — № 9. — С. 36.
3. Любарский Г. Я. и др. Математическое моделирование и эксперимент. — Киев: Наукова думка, 1987.
4. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. — М.: Наука, 1973.
5. Шереметьев А. Г. Статистическая теория лазерной связи. — М.: Связь, 1971.