

Обнаружение периодически расположенных точечных изотропных источников ионизирующего излучения

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

С помощью метода компьютерного моделирования изучена возможность обнаружения периодически расположенных вдоль одной (не обязательно прямой) линии изотропных источников ионизирующего излучения. Получены численные зависимости, накладывающие ограничения на возможность их обнаружения.

The research of detection of periodically located isotropic sources of ionizing radiation along one line (not necessary direct) is carried out using a method of computer simulating. The numerical dependences imposing restrictions on an opportunity of their detection are obtained.

Поставим задачу обнаружения группы точечных изотропных источников ионизирующего излучения, расположенных вдоль одной линии (не обязательно прямой) с помощью движущегося детектора. Данная ситуация может возникнуть при обнаружении, например, радиоактивных источников при контроле технологических процессов на предприятиях атомной промышленности. Ввиду сложности теоретического решения поставленной задачи авторами был применен метод компьютерного моделирования.

Обозначим R расстояние между двумя соседними источниками. Исходя из практических условий контроля предположим для определенности, что R не может быть меньше 0,2 м. Тогда из-за пространственного ослабления излучения можно утверждать, что основной вклад вносят первые четыре ближайших к детектору источника, а влиянием остальных, более удаленных, в рамках поставленной задачи можно пренебречь [1, 2].

Обозначим H расстояние от приемного устройства до поверхности земли, а x — расстояние от источника 2 до проекции детектора на линию источников (см. рис. 1). Тогда расстояния от источников 1—4 до приемного устройства будут соответственно

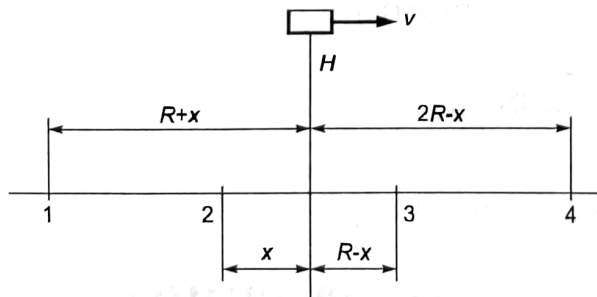


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1—4 — источники ионизирующего излучения

$$L_1 = \sqrt{(R+x)^2 + H^2}; \quad L_2 = \sqrt{x^2 + H^2};$$

$$L_3 = \sqrt{(R-x)^2 + H^2}; \quad L_4 = \sqrt{(2R+x)^2 + H^2}.$$

Суммарная интенсивность в точке приема от четырех ближайших следов [2]:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 \lambda_i,$$

где $\lambda_i = \frac{J}{4\pi L_i^2} \varepsilon S$; J — плотность потока излучения одного

источника; S — площадь приемного устройства; ε — эффективность регистрации детектора.

Скорость движения обнаружителя v и $x = vt$, где t — время движения. Считаем, что сигнальные импульсы распределены по неоднородному закону Пуассона [3], а фоновые — по нормальному закону.

Проведя усреднение интенсивности источника за время работы счетчика T , получим среднее значение интенсивности, что позволит разыгрывать число сигнальных импульсов, пришедших на вход детектора ионизирующего излучения. Подобным образом, задавая плотность потока фона, получают число шумовых импульсов.

Будем считать, что приемник работает по цифровому методу, т. е. зафиксировано время наблюдения, проводятся подсчет числа импульсов, пришедших за этот интервал, и сравнение его с неким порогом, зависящим от фона. Преимущества такого метода по сравнению с временным были показаны в [4].

В качестве критерия обнаружения пуассоновского сигнала на фоне нормального шума принят критерий Неймана—Пирсона [2]. Считали, что зарегистрирован источник ра-

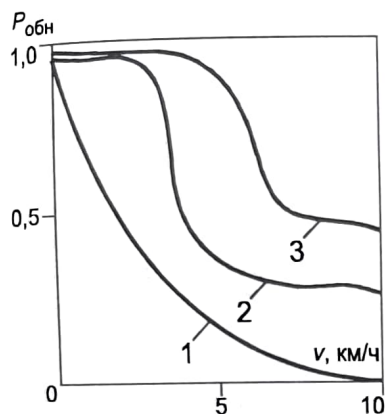


Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения от скорости движения приемного устройства при различных отношениях сигнал — шум:

1 — $C = 1$, $T = 1$ с; 2 — $C = 10$, $T = 1$ с;
3 — $C = 100$, $T = 1$ с

диоактивного излучения, если количество импульсов на входе детектора превышало или было равно пороговому значению

$$n_{\text{пор}} = n_{\text{ф}} + U_{1-P_{\text{пт}}} \sqrt{n_{\text{ф}}},$$

где $n_{\text{ф}}$ — количество импульсов фона на входе детектора; $U_{1-P_{\text{пт}}}$ — квантиль порядка $1 - P_{\text{пт}}$ стандартизованного нормального распределения.

В рабочей программе использовалась вероятность ложной тревоги, равная 10^{-3} .

При работе модели по известной плотности фона получаем выборку, состоящую из отдельных реализаций числа шумовых импульсов, зарегистрированных детектором, при отсутствии источника ионизирующего излучения [5, 6]. Усредняя число импульсов по всей выборке, находим оценку $n_{\text{ф}}$. При моделировании считали, что приемник регистрирует γ -кванты с эффективностью детектора $\epsilon = 80\%$.

Программа, моделирующая описанный выше физический процесс, была написана в среде программирования Borland C++ 3.1.

В ходе моделирования получены результаты, представленные на рис. 2, 3, где C — отношение сигнал — шум.

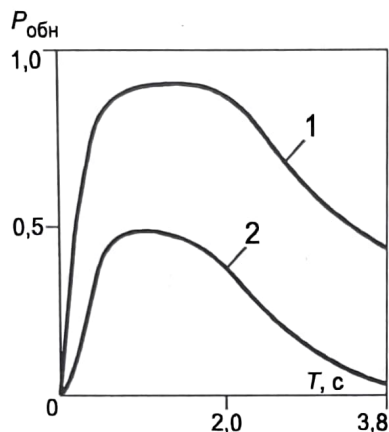


Рис. 3. Зависимость вероятности обнаружения от времени:

1 — $C = 100$, $v = 5$ км/ч; 2 — $C = 100$,
 $v = 10$ км/ч

Как следует из рис. 2, достаточный уровень вероятности обнаружения достигается только при скорости движения детектора до 5—7 км/ч, для обнаружения источников при более высокой скорости на входе обнаружителя отношение сигнал—шум должно превышать 100. Таким образом, практически невозможно обнаружить точечные изотропные источники, расположенные вдоль одной линии, при высоких скоростях движения приемника.

Зависимость вероятности обнаружения от времени экспозиции имеет максимум в районе 1—2 с, поэтому его следует выбирать в этом интервале. Наличие максимума обусловлено тем, что сигнальное излучение подчинено неоднородному закону Пуассона [3]. Отметим, что с увеличением скорости детектора интервал, в котором лежит оптимальное время регистрации, уменьшается.

Исходя из сказанного можно утверждать, что практическое обнаружение точечных изотропных источников, расположенных вдоль одной линии, представляет в общем случае достаточно сложную задачу. Удовлетворительные результаты можно получить только при небольшой скорости движения детектора, при этом необходимо выбрать оптимальное время регистрации.

Таким образом, с помощью компьютерного моделирования получены приближенные результаты, позволяющие проанализировать влияние основных факторов на процесс обнаружения периодических изотропных источников ионизирующего излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ватутин В. А. и др. Вероятностные методы в физических исследованиях. — М.: Наука, 1985.
2. Шереметьев А. Г. Статистическая теория лазерной связи. — М.: Связь, 1971.
3. Кириллов В. М. и др. // Измерительная техника. — 1998. — № 8. — С. 36.
4. Кириллов В. М. и др. // Измерительная техника. — 1999. — № 3. — С. 39.
5. Любарский Г. Я. и др. Математическое моделирование и эксперимент. — Киев: Наукова думка, 1987.
6. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. — М.: Наука, 1973.