

	Ширина интервала	1	
	Число интервалов	8	
0	0,5	Число попаданий в 1 интервал	54
1	1,5	Число попаданий в 2 интервал	44
2	2,5	Число попаданий в 3 интервал	3
3	3,5	Число попаданий в 4 интервал	38
4	4,5	Число попаданий в 5 интервал	1
5	5,5	Число попаданий в 6 интервал	41
6	6,5	Число попаданий в 7 интервал	43
7	7,5	Число попаданий в 8 интервал	43

Расчитанные значения	
Число измерений	267
Среднеарифметическое	3,99
Среднеквадратичное отклонение	2,63
Экстремальная погрешность	3,1644
Коэффициент экстремальной погрешности	1,2052



Библиографические ссылки

1. Яненко В. И. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособие / УрФУ. 2-е изд. Екатеринбург, 2006.
2. Денда В. Шум как источник информации. М. : Изд-во Мир, 1993.

РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ

А. С. Азаров, А. Е. Духан
(Екатеринбург, УрФУ, a.azarov@enforta.com)

Научный руководитель: аспирант кафедры РТС ИРИТ-РТФ УрФУ
Г. Ф. Захаркин

В [1] рассматривался вариант построения перспективного периметрового магнитометрического средства обнаружения (МСО), характеризующегося малой подверженностью мешающему воздействию внешних климатических факторов, таких как снег, ветер, дождь и пр., а также простотой конструкции, технологией изготовления и монтажа, малыми стоимостью и весом. В качестве чувствительного элемента такого МСО выступает винтовой квазиоднолинейный магнитометрический преобразователь (МП).

Для исследования данного типа средства обнаружения (СО) в [2] разработана математическая модель сигналаобразования, позволяю-

щая осуществлять численный расчет полезного сигнала на выходе МП при заданных параметрах его конструкции, типа объекта обнаружения (ОО), скорости и траектории движения объекта. С использованием математической модели была сформирована представительная база данных (БД), содержащая более 100 тыс. реализаций полезного сигнала (ПС) на выходе МП как функций времени для различных ориентаций вектора магнитного момента с единичным модулем, траекторий движения ОО с минимально допустимой скоростью [3]. На основе анализа БД предполагается формировать рекомендации по построению МСО и оценивать его потенциальные характеристики обнаружения.

Для проведения анализа БД был разработан программно-аппаратный комплекс, структурная схема которого представлена на рис. 1.

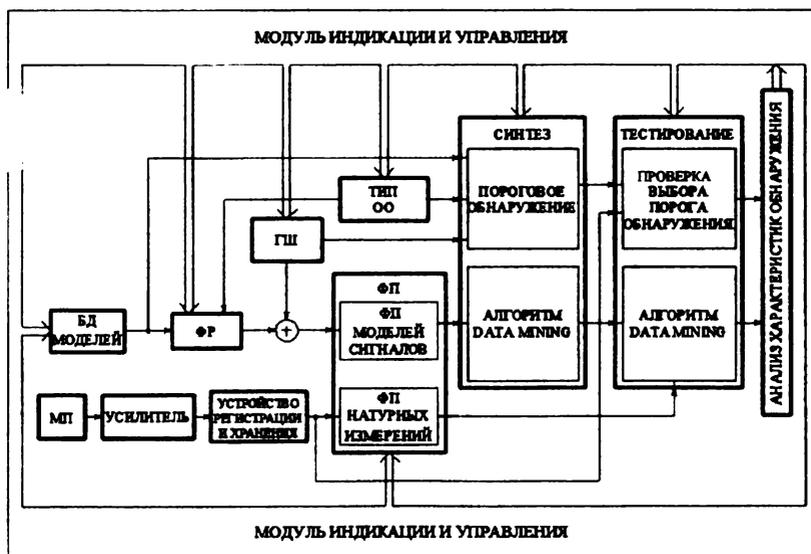


Рис. 1

Комплекс содержит программные блоки: БД; формирователь реализаций (ФР); генератор шума (ГШ); формирователь признаков (ФП); тип ОО, синтез – формирование заданного алгоритма обнаружения; тестирование – проверка разработанного алгоритма на эксперимен-

тальных данных; анализ характеристик обнаружения; модуль индикации и управления. Аппаратную часть комплекса составляют макет МП, усилитель и устройство регистрации и хранения.

Одной из задач исследования МСО является анализ потенциальных характеристик МСО с пороговым обнаружением. Известно [4], что оптимальный порог выбирается в соответствии с принятым критерием на основе плотностей распределения шума и аддитивной смеси полезного сигнала с шумовым воздействием.

В силу центральной предельной теоремы можно считать, что шум имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием. Для определения потенциальных характеристик МСО с пороговым обнаружением достаточно рассчитать дисперсию шума, учитывая его возможные источники: тепловой шум МП; помехи, вызванные работой усилительного тракта СО; флуктуации магнитного поля Земли.

Для некоторых типов объектов обнаружения экспериментальным путем были определены гистограммы величины M – плотности распределения величины магнитного момента ω_m . Распределение величины V – скорости движения ω_v ОО было принято равномерным. Для построения гистограммы величины D – плотности распределения амплитуды полезного сигнала от ОО с нормированным магнитным моментом ω_d с помощью разработанного ПО был определен размах каждой из реализаций, составляющих базу данных.

Физический процесс сигналообразования в МП основан на электромагнитной индукции [5], поэтому амплитудные и временные параметры ПС линейно зависят от величины магнитного момента ОО и скорости его движения. Следовательно, размах амплитуды на выходе МП можно считать случайной величиной (СВ), равной произведению трех случайных величин: D , M и V .

Плотность распределения ω_η случайной величины η , равной произведению двух независимых СВ u и v ($\eta = u \cdot v$) при аналитическом задании плотностей ω_u и ω_v , соответственно вычисляется на основе выражения

$$\omega_\eta = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{du}{u} \cdot \omega_u(u) \cdot \omega_v\left(\frac{\eta}{u}\right). \quad (1)$$

В нашем случае произведение значений D и M – это уровень полезного сигнала с учетом распределения модуля магнитного момента. Однако в нашем случае плотности распределения величин D и M заданы гистограммами, поэтому выражение (1) для расчетов использовать не представляется возможным. Требовалось получить новое выражение, на основе которого можно рассчитывать гистограмму плотности распределения вероятности выходной величины.

Для расчета гистограммы распределения уровня полезного сигнала с учетом распределения модуля магнитного момента рассмотрим рисунки с качественными изменениями вида гистограмм распределения при трех различных значениях магнитного момента: $M = M_1$ (см. рис. 2, а), $M = 2 \cdot M_1$ (см. рис. 2, б), $M = 3 \cdot M_1$ (см. рис. 2, в). При увеличении значения модуля магнитного момента исходная гистограмма величины D смещается в сторону большего значения уровня ПС, а также растягивается по оси абсцисс. Гистограмма распределения уровня полезного сигнала с учетом модуля магнитного момента – это сумма представленных гистограмм (см. рис. 2, г).

Путем тщательного анализа рисунков была получена формула для численного расчета гистограммы, соответствующей искомой плотности вероятности уровня полезного сигнала с учетом распределения магнитного момента, которая имеет вид

$$\omega_k = \sum_{i=1}^I \frac{1}{M_i} \cdot \omega_{M_i} \cdot \omega_{D_i}, \quad (2)$$

где I, J – количество разбиений в гистограммах распределения магнитного момента и уровня ПС соответственно; $k = 0 \dots I \cdot J$; M_i – значение магнитного момента в i -м столбце гистограммы;

$$j = \left[\frac{(B_1 + k \cdot \Delta B) - D_1 \cdot M_i}{\Delta D \cdot M_i} + 1 \right]; B_1 = B_{\text{MIN}} + \frac{\Delta B}{2}; \Delta B = \Delta D \cdot \Delta M; \Delta D,$$

ΔM – величина шагов построения гистограмм ω_D и ω_M соответственно; $B_{\text{MIN}} = D_{\text{MIN}} \cdot M_{\text{MIN}}$; $D_{\text{MIN}}, M_{\text{MIN}}$ – минимальные значения величин D и M соответственно при $j < 0$ или $j > J\omega_{D_j} = 0$.

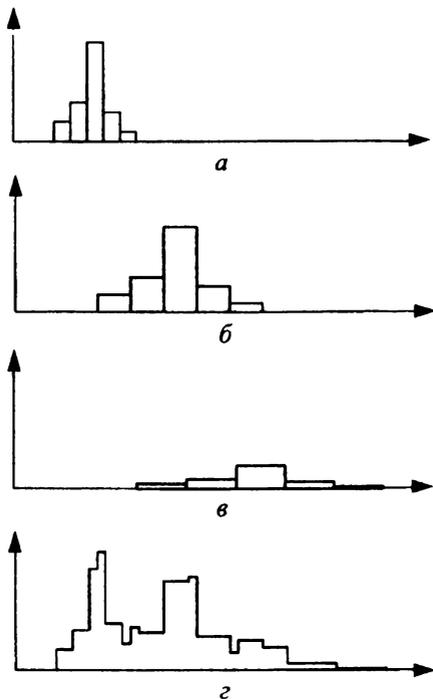


Рис. 2

Аналогичным образом было найдено выражение для вычисления плотности распределения уровня полезного сигнала с учетом распределения скорости нарушителя. При этом распределение скорости ОО считается равномерным в диапазоне от 0,5 до 5 м/с:

$$Q_q = \sum_{k=0}^{J \cdot J} (U_{k_k} \cdot \mu),$$

где $q = 0 \dots I \cdot J \cdot G$, G – количество разбиений в гистограмме скорости;

$$\mu = \begin{cases} 1, & \text{если } k-1 \leq q \leq \delta V \cdot k, \\ 0, & \text{если } k-1 < q \text{ и } q > \delta V \cdot k, \end{cases}$$

$$\delta V = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}.$$

Вид плотностей распределения шумовой последовательности и аддитивной смеси ПС, и помехи от РПК-74, и нарушителя на велосипеде, рассчитанные на основании общего метода вычисления композиции [4], представлен на рис. 3 и 4.

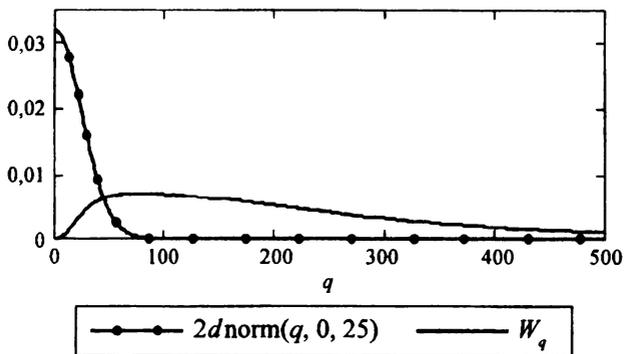


Рис. 3

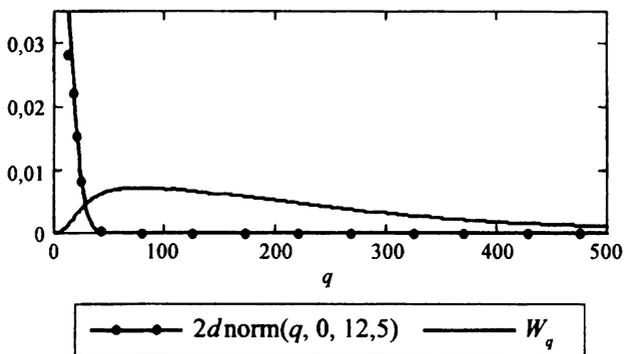


Рис. 4

Построенные плотности распределения позволяют произвести вычисление потенциальных характеристик обнаружения при пороговом методе. В качестве критерия обнаружения был выбран критерий максимального правдоподобия. Использование данного критерия объясняется тем, что пропуск ОО может иметь весьма нежелательные последствия. Исходя из современных требований к разрабатываемым СО, вероятность правильного обнаружения $P_{\text{обн}}$

равна 0,95. При заданном уровне $P_{\text{обн}}$ для ОО типа РПК-74 вероятность ложной тревоги составила 0,08. В случае, когда в качестве цели рассматривался велосипед, вероятность ложной тревоги составила 0,01.

Таким образом, можно сделать вывод, что однолинейный винтообразный магнитометрический преобразователь является эффективным при обнаружении объектов, характеризующихся относительно большим магнитным моментом, таких как мелкий и средний транспорт. Кроме того, представленные результаты классического обнаружения подталкивают исследователей к разработке новых интеллектуальных алгоритмов работы блока принятия решения. Так, представляют интерес методы класса «DataMining» [6], например, нейронные сети, методы опорных векторов, которые, возможно, улучшат характеристики обнаружения МСО.

Библиографические ссылки

1. *Звездинский С. С.* Сигналообразование в однолинейном магнитометрическом средстве обнаружения // Проблемы и перспективы разработки, совершенствования и применения технических средств охраны границы : материалы XVI межвуз. науч.-практ. конф. : науч.-метод. сб. Калининград : КПИ, 2005. № 16. Ч. 3, кн. 1. С. 55–68.

2. *Звездинский С. С., Духан Е. И., Захаркин Г. Ф.* Обобщенная математическая модель однолинейного винтового магнитометрического преобразователя // Радиотехника. 2012. № 1 (Территориально распределенные системы охраны : журн. в журн. 2012). С. 34–38.

3. *Звездинский С. С., Духан Е. И., Захаркин Г. Ф.* К анализу спектра сигналов однолинейного винтового магнитометрического преобразователя // Территориально-распределенные системы охраны : тез. докл. Калининград : КПИ, 2012. № 1. С. 77–80.

4. *Тихонов В. И.* Статистическая радиотехника. М. : Радио и связь, 1982. 624 с.

5. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм : учеб. руководство / пер. с англ.; под ред. А. И. Шальникова и А. О. Вайсберга. 3-е изд., испр. М. : Наука, 1983. 416 с.

6. *Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И.* Технология анализа данных: DataMining, VisualMining, TextMining, OLAP. 2-е изд., перераб и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2007.