

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОПЛЕРОВСКОГО РАДИОСИГНАЛА

Заботин Д.Ю.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. Краснов Л.М.

Академия военно-морских сил им. П.С. Нахимова, Украина

E-mail: zabotin.91@mail.ru

**Аннотация** — Разработана математическая модель доплеровского сигнала в задаче измерения скорости артиллерийского снаряда.

## 1. Введение

Построение моделей радиолокационных сигналов, учитывающих влияние физических процессов на дульную скорость снаряда в момент выстрела, представляет большой интерес в экспериментальной баллистике.

В настоящее время вопросы моделирования таких сигналов освещены не достаточно полно.

Цель сообщения — разработка математической модели доплеровского сигнала, отраженного от артиллерийского снаряда при его движении в стволе.

## 2. Основная часть

Доплеровская информация может быть выделена с помощью фазового детектора [1], схема которого показана на рис. 1. На первый вход фазового детектора (ФД) подается информационный сигнал

$$u_{\text{вх}}(t) = U_1 \cos[\omega_0 t - \varphi(t)],$$

а на второй вход — опорное напряжение

$$u_{\text{оп}}(t) = \sin(\omega_0 t). \text{ Здесь, } \varphi(t) = \frac{4\pi}{\lambda} l, \text{ } l \text{ — дистанция}$$

до объекта. В результате перемножения этих напряжений, на выходе ФД получают сигнал вида

$$u_{\text{фд}}(t) = \frac{1}{2} U_1 U_2 \sin[2\omega_0 t + \varphi(t)] + \frac{1}{2} U_1 U_2 \sin[\varphi(t)].$$

На выходе фильтра нижних частот (ФНЧ) имеем сигнал вида

$$u_{\text{фнч}}(t) = \frac{1}{2} U_1 U_2 \sin[\varphi(t)].$$

При перемещении наблюдаемого объекта дистанция изменяется по закону:  $l = l_0 + x(t)$ , где  $x(t)$  — закон движения объекта. На выходе ФНЧ получаем сигнал, описываемый выражением

$$u(t) = U_0 \sin\left[\frac{4\pi}{\lambda} x(t)\right].$$

Этот сигнал можно рассматривать как фазомодулированный. По определению фаза и частота связаны следующим соотношением

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} \varphi(t) = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{d}{dt} x(t) = \frac{4\pi}{\lambda} v(t). \quad (1)$$

Следовательно, частота радиолокационного сигнала линейно зависит от скорости движения объекта. Таким образом, для определения скорости движения цели из (1) необходимо осуществить измерение мгновенной частоты радиолокационного сигнала.

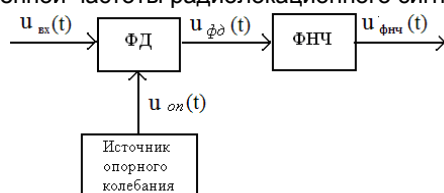


Рис. 1

Далее продемонстрирован алгоритм создания математической модели доплеровского сигнала в

задаче измерения параметров движения снаряда в стволе артиллерийской системы во время выстрела. Зависимости перемещения и скорости снаряда от времени изучены в [2] и представлены на рис. 2, 3. В среде Mathcad по данным этих графиков получен доплеровский сигнал во временной области (рис. 4) и его спектр (рис. 5).

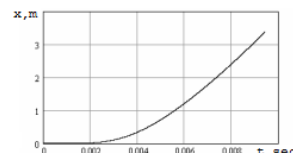


Рис. 2

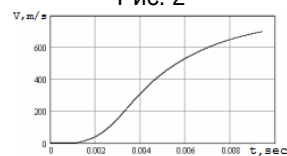


Рис. 3

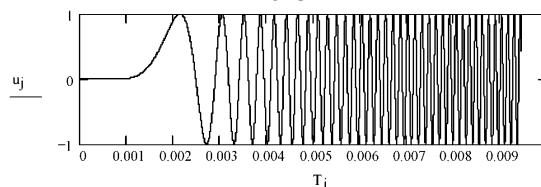


Рис. 4

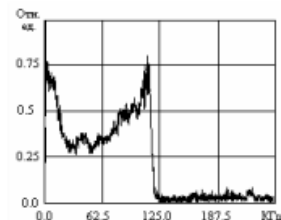


Рис. 5

## 3. Заключение

Таким образом, в работе получена зависимость мгновенной частоты доплеровского сигнала от времени (рис.4) и его спектр (рис.5). Ширина спектра доплеровского сигнала составляет величину порядка 124 кГц.

## 4. Список литературы

- [1] Финкельштейн М.И. Основы радиолокации / М.И. Финкельштейн. — М.: Радио и связь, 1983. — 536 с.
- [2] Зельдович Я.Б. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. — М.: Наука, 1980. — 286 с.

## MATHEMATICAL MODEL OF THE DOPPLER RADIOSIGNAL

Zabotin D.Y.

Scientific adviser: Krasnov L.M.

Naval Academy named after P.S. Nakhimov, Ukraine

**Abstract** — The mathematical model of Doppler signal is developed in the task of measuring of the artillery shell speed.