

# АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ НЕРАЗДЕЛЯЮЩИХСЯ СНАРЯДОВ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ВЫСТРЕЛА

С.В. Поршнева

Нижнетагильский государственный педагогический институт, ул. Красногвардейская, 57,  
Нижний Тагил-622031, Россия, тел. (3435) 253-644, e-mail: ntr20@ntgpi.e-burg.ru

**Аннотация** - Описан алгоритм обработки радиолокационных сигналов, получаемых при измерении параметров движения снарядов с неразделяющимися частями (осколочно-фугасные и кумулятивные снаряды) на начальном этапе выстрела радиолокаторами непрерывного излучения СВЧ диапазона.

## I. Введение

В практике полигонных испытаний для измерения параметров движения снаряда (ПДС) на начальном этапе выстрела применяют радиолокаторы непрерывного излучения СВЧ-диапазона (частота излучаемой электромагнитной 10,5 ГГц) [1]. (Здесь под начальным этапом выстрела мы понимаем движение снаряда в стволе и на первых 30-70 м внешнебаллистической траектории). Частота радиолокационного сигнала (далее РС), регистрируемого с выхода высокочастотного блока радиолокатора, в соответствие с эффектом Доплера, пропорциональна скорости движения снаряда. Так как скорость движения снаряда с неразделяющимися частями на этапе движения снаряда в стволе меняется от 0 м/с до 800-960 м/с (длительность этапа  $\approx 10$  мс), а после выхода из ствола монотонно уменьшается, РС является ЧМ сигналом со сложным законом изменения частоты. Отметим, что рассматриваемый нами РС и задача оценки его параметров, является не типичной для «классической» радиолокации. Так как требуется оценка параметров сигнала, частота которого меняется во время выстрела по нелинейному закону в широком частотном диапазоне, по одной его реализации. Указанные обстоятельства ставят под сомнение применимость в данной задаче известных статистических алгоритмов обработки сигналов и определяют необходимость разработки новых алгоритмов обработки РС, не использующих статистические методы.

## II. Частотно-временные характеристики радиолокационных сигналов.

В соответствии с физическими особенностями движения снаряда во время выстрела закон изменения частоты сигнала может быть разделен на три последовательных интервала. Первый интервал – от начала движения снаряда в стволе до момента выхода из канала ствола. Второй интервал – от момента выхода снаряда из канала ствола до момента достижения снарядом максимальной скорости. Третий интервал – от момента достижения снарядом максимальной скорости до момента прохождения снаряда отражающего щита, расположенного на расстоянии  $\approx 50-70$  м от дульного среза. Построенная модель РС, получаемого на внутрибаллистическом этапе выстрела [2], и результаты экспериментального исследования особенностей движения снаряда на начальном этапе выстрела [3] позволили получить оценку частотно-временных характеристик РС на указанных временных интервалах. Типичный РС, получаемый при измерении параметров движения сна-

ряда классической схемы выстрела (осколочно-фугасный, кумулятивный) имеет следующие частотно-временные характеристики: на первом временном интервале  $[0; 8,43]$  мс частота сигнала меняется в диапазоне  $[0; 48,0]$  КГц по монотонно возрастающему закону; на втором временном интервале  $[8,3; 9,37]$  мс – частота сигнала меняется по монотонно возрастающему закону в диапазоне  $[48,0; 48,9]$  КГц; на третьем временном интервале  $[9,37; 103,9]$  мс частота сигнала меняется в диапазоне  $[48,0; 47,9]$  КГц по монотонно убывающему закону.

Анализ шумов, присутствующих в реальных РС, показал, что на внутрибаллистическом этапе выстрела при отсутствии прорыва пороховых газов в предснарядное пространство в сигнале присутствует аддитивный шум, мощность которого обеспечивает отношение сигнал/шум по амплитуде  $\approx 10-15$  дБ. После выхода снаряда из канала ствола из-за взаимодействия зондирующей ЭВ и облака дульного выхлопа, являющегося низкотемпературной плазмой, возникают амплитудные и фазовые искажения РС. При этом отношение сигнал/шум варьируется в широком диапазоне  $0,5-5,0$  дБ на различных системах и для различных типов снарядов. Затем, по мере изменения физических характеристик газов, образующих облако дульного выхлопа, (уменьшения плотности электронов и частоты столкновений вследствие остывания газов и уменьшения их плотности) искажения РС относительно невелики (отношение сигнал/шум по амплитуде  $\approx 7,0-15,0$  дБ).

## III. Алгоритм обработки

Анализ известных алгоритмов обработки сигналов, получаемых при измерении ПДС в стволе (метод временных интервалов [3], алгоритм, основанный на понятии «мгновенная частота аналитического сигнала» [4]), показывает, что из-за наличия значительных искажений РС в момент выхода снаряда из канала ствола они не обеспечивают требуемой точности измерений (0,5% по скорости). В этих условиях наиболее приемлемым, как самый устойчивый к шумам, оказывается алгоритм, основанный на свойстве мгновенного спектра РС [5]. Поэтому данный алгоритм был положен в основу алгоритма обработки РС, получаемых в задаче измерения ПДС на начальном этапе выстрела, реализуемого следующей последовательностью действий:

1. По зарегистрированному РС  $u=u(t)$  находят N сигналов  $u_i(t)$ , где

$$u_i(t) = u(t) \cdot \left( \text{rect}\left(t - t_{0i+1}\right) - \text{rect}\left(t - t_{0i}\right) \right)$$
$$t_{0i} = \Delta T \cdot i, i = 0, \dots, N, \Delta T = \frac{T_1}{N},$$

$T_1$  - время нахождения снаряда в стволе

2. Для каждой функции  $u_i(t)$  находят спектр  $S_i(\omega)$ .

3. Для каждого спектра  $S_i(\omega)$  в полосе частот  $\omega > 0$  определяют частоту  $\omega_{\max i}$ , соответствующую его максимальному значению.

4. По массиву частот  $\omega_{\max i}$  определяют массив скоростей  $v_i$  ( $\lambda$  – частота электромагнитной волны радиолокатора)

$$v_i = \frac{\omega_{\max i} \cdot \lambda}{4 \cdot \pi}$$

5. Используя сплайн-интерполяцию, уточняют зависимость  $v(t)$  на начальном участке внутрибаллистического этапа выстрела.

6. Получают зависимость  $v(t)$  линейной интерполяцией массива скоростей  $v_i$ .

7. Сглаживают зависимость  $v(t)$  методом скользящей медианы.

8. Последующим интегрированием и дифференцированием массива  $v(t)$  определяют перемещение и ускорение снаряда.

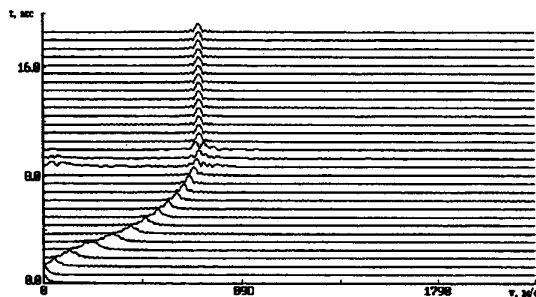


Рис. 1. Эволюция мгновенных спектров модели РС, получаемого в задаче измерения ПДС классической схемы выстрела.

Для представления результатов обработки РС используется представление эволюции мгновенных спектров РС в плоскости время–скорость (рис. 1) и графическое представление функций  $x=x(t)$ ,  $v=v(t)$ .

#### IV. Заключение

Оценка точности данного алгоритма обработки показала, что погрешность в определении перемещения составляет 1,5% (в диапазоне скоростей 0÷30 м/с), 0,1% (30÷50 м/с), 0,05% (50÷150 м/с), 0,01% (150÷720 м/с), 0,02 (720÷700 м/с); скорости – 2,5% (0÷30 м/с), 1,2% (30÷50 м/с), 0,35% (50÷150 м/с), 0,1% (150÷720 м/с), 0,12% (720÷700 м/с).

#### V. Список литературы

- [1] Ковзель А.В., Поршнев С.В., Шакиров М.Р. Радиолокационный способ измерения параметров движения снаряда на начальном этапе выстрела. Боеприпасы. 1996. № 5-6.
- [2] Поршнев С.В. Моделирование радиоинтерферометрического сигнала в задачах измерения параметров поступательного движения снаряда в стволе во время выстрела. Боеприпасы. 1996. № 5-6.
- [3] Квасов В.Е. Определение параметров движения снаряда в канале ствола в процессе выстрела методом микроволновой интерферометрии. Дис...канд. техн. наук. –Нижний Тагил, 1986.
- [4] Бужинский О.А., Поршнев С.В. Применение преобразования Гильберта для обработки радиоинтерферометрических сигналов. Боеприпасы. –1992. –№ 8.
- [5] Поршнев С.В. Частотно-временные характеристики радиолокационных сигналов, получаемых в задачах измерения параметров движения снаряда в стволе во время выстрела. Вопросы оборонной техники. В печати.

## ALGORITHM FOR PROCESSING OF RADAR SIGNALS WHEN MEASURING UNDIVIDING PROJECTILE MOVEMENT PARAMETERS ON THE INITIAL STAGE OF A SHOT

Porshnev S.V.

Nizhny Tagil Teachers' Training Institute,  
57 Krasnogvardeyskaya str., Nizhny Tagil-622031,  
Russia, E-mail: ntr20@ntgpi.e-burg.ru

**Abstract** – The algorithm for processing of radar's signals obtained when measuring undividing projectiles (demolition and cumulative projectiles) movement parameters on the initial stage of a shot is described.

#### I. Introduction

When measuring projectiles movement parameters on the initial stage of a shot one uses microwave CW radar's of a continuous radiation (frequency emitted electromagnetic 10,5 GHz) [1]. (Here we understand the initial stage of a shot driving a projectile in a trunk and on first 30-70 m of an exterior ballistic trajectory). The frequency of a radar signal (further RS) that was registered from a radar high-frequency block exit, in the correspondence with Doppler effect, is proportional to a projectile velocity. As the undividing projectile movement velocity in a trunk varies from 0 m/s up to 800-960 m/s (duration of a stage ≈ 10 ms), and after an exit from a trunk monotonically decreases, RS is a FM signal with the complicated law of frequency modification. Let's mark, that considered by us RS and the task of an evaluation of its parameters is not typical for "classical" radar-locations. As the evaluation of parameters of a signal whose frequency varies during a shot under the nonlinear law in a wide frequency range, is required.

#### II. Frequency-temporal performances of radar signals.

Typical RS obtained when measuring undividing projectile movement parameters has the following frequency-temporal performances: on the first time interval [0;8.43] ms the frequency of a signal varies in a range [0;48.0] kHz under the monotonically growing law; on the second time interval [8.3;9.37] ms – the frequency of a signal varies under the monotonically growing law in a range [48.0;48.9] kHz; on the third time interval [9.37;103.9] ms the frequency of a signal varies in a range [48.0;47.9] kHz under the monotonically decreasing law [2,3].

#### III. Processing algorithm

The analysis of the well known algorithms for processing of signals obtained when measuring projectile movement parameters in a trunk (a method of time intervals [3], algorithm based on "concept" instant frequency of an analytical signal" [4]), shows, that because of presence of significant distortions RS at the moment of an exit of a projectile from the channel of a trunk they do not ensure a required exactitude of measurements (0,5 % on a velocity). Because of this, most acceptable appears the algorithm based on property of an instant spectrum PC [5]: the instant spectrum calculated on an interval by duration  $\Delta T$  ( $\Delta T \ll T$ ,  $T$  - duration of a signal) has a maximum on frequency appropriate average velocity of driving on the given measuring interval.

#### IV. Conclusion

The evaluation of an exactitude of the given processing algorithm has shown, that the error in the definition of transition is 1.5 % (in a range of velocities 0÷30 м/с), 0,1 % (30÷50 м/с), 0,05 % (50÷150 м/с), 0,01 % (150÷720 м/с), 0,02 (720÷700 м/с); velocities - 2,5 % (0÷30 м/с), 1,2 % (30÷50 м/с), 0,35 % (50÷150 м/с), 0,1 % (150÷720 м/с), 0,12 % (720÷700 м/с).