

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ОБНАРУЖИТЕЛЯ ЛЧМ-СИГНАЛОВ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Ковалевич В. В.

Научно-исследовательская лаборатория авиационного факультета Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: vlad.kovalevich@gmail.com,

*Получено универсальное эмпирическое выражение, описывающее потери выигрыша в отношении сигнал шум (ОСШ) при обработке линейно-частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала с неизвестными параметрами на основе использования дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Разработана методика обоснования структуры и параметров обнаружителя ЛЧМ-сигналов, обеспечивающего обнаружение сигналов источников радиоизлучения (ИРИ) с потерями выигрыша в ОСШ, не превышающими заданную величину. Произведена оценка эффективности разработанной методики на примере обнаружения ИРИ, используемого ЛЧМ-сигнал. Показано улучшение точности (уменьшение среднеквадратического отклонения (СКО)) пеленгования ИРИ.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современные вооруженные конфликты характеризуются интенсивным применением противоборствующими сторонами радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения. Обнаружение излучений РЭС на большем удалении, позволяет принять своевременные меры по их огневому поражению и радиоэлектронному подавлению. При этом особую актуальность имеет задача пеленгования и определения местоположения РЭС применяющие ЛЧМ-сигналы.

В настоящее время разработано достаточно большое количество методов обнаружения и оценки параметров ЛЧМ – сигналов с неизвестными параметрами [1, 3]. Всем разработанным методам в большей или меньшей степени свойственно, для обнаружения и оценки параметров ЛЧМ-сигнала построение трехмерной зависимости и поиск ее максимума [1]. Применение ДПФ, как одного из возможных способов обработки ЛЧМ-сигнала, позволяет это выполнять [2].

Способ обработки ЛЧМ-сигнала основан на его особенностях и обеспечении взаимосвязи параметров устройства обработки со значением крутизны закона ЛЧМ, что обуславливает его универсальность для различных сочетаний частотно-временных параметров, характеризующихся одним и тем же значением скорости изменения частоты сигнала [2]. Согласование параметров обнаружителя со скоростью изменения частоты ЛЧМ-сигнала обеспечивает «квазиоптимальное» обнаружение сигналов ИРИ. Под термином «квазиоптимальное» обнаружение ИРИ будем понимать обнаружение сигналов с наилучшим выигрышем ( $W$ ) в ОСШ на выходе устройства обработки ( $q_{out}^2$ ) в условиях априорной неопределенности относительно вида и параметров закона модуляции сигналов ИРИ. «Квазиоптимальное» обнаружение ИРИ, обеспечивается за счет сужения эквивалентной шумовой полосы пропускания фильтров ДПФ до значения, определяе-

мого скоростью изменения частоты (крутизной) ЛЧМ-сигнала. Использование «квазиоптимального» устройства обнаружения позволяет получить выигрыш в ОСШ, равный корню квадратному из базы ЛЧМ-сигнала [2]

$$q_{out}^2 = \frac{E_c}{N_0} = \frac{P_c \tau}{P_n / \Delta F_M} = q_{in}^2 \sqrt{B}. \quad (1)$$

где  $q_{in}^2, q_{out}^2$  – отношение сигнал-шум по мощности на входе и выходе «квазиоптимального» устройства обнаружения;  $E_c$  – энергия принятого сигнала;  $N_0$  – спектральная плотность мощности входного шума;  $P_c, P_n$  – импульсная мощность полезного сигнала и средняя мощность шума на входе «квазиоптимального» устройства обнаружения;  $\tau, \Delta F_M, B$  – длительность импульса, девиация и база ЛЧМ-сигнала.

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть известны диапазоны возможных значений девиации, длительности импульса и несущей частоты ЛЧМ – сигнала ИРИ.

Требуется обосновать методику расчета структуры и параметров обнаружителя, обеспечивающего «квазиоптимальное» обнаружение ЛЧМ – сигнала ИРИ. Расчет структуры и параметров обнаружителя является двухкритериальной оптимизационной задачей определения минимально необходимого количества каналов обнаружения при максимальном значении выигрыша в отношении сигнал/шум (минимальных потерях выигрыша) в заданном диапазоне изменения значений девиации, длительности импульса и несущей частоты ЛЧМ – сигнала.

## II. РЕШЕНИЕ

Для разработки методики расчета параметров «квазиоптимального» обнаружителя ЛЧМ-сигналов с применением ДПФ требуется аналитическое выражение, описывающее снижение выигрыша в ОСШ. На основе результатов ИММ [4] были получено эмпирическое выражение, описы-

вающие потери выигрыша в ОСШ.

$$L = \frac{2\gamma}{\gamma_c} \left( 0.5 + \frac{\gamma}{\gamma_c} \right)^{-2}. \quad (2)$$

где  $\gamma_c \in (\gamma_{cmin} \dots \gamma_{cmax})$  – диапазон изменения значений крутизны ЛЧМ-сигнала;  $\gamma = \Delta f_{DFT}^2$ .

Методика расчета структуры и параметров «квазиоптимального» обнаружителя ЛЧМ-сигналов должна обеспечивать расчет количества каналов ДПФ, для перекрытия возможного диапазона крутизны ЛЧМ-сигнала с потерями выигрыша в ОСШ не более заданных, а также получение количества отсчетов для выполнения ДПФ.

Методика расчета структуры и параметров «квазиоптимального» обнаружителя ЛЧМ-сигналов, заключается в определении минимально достаточного количества каналов ДПФ и номинальных значений их полос пропускания (длительности выборки или количества отсчетов ДПФ) для обеспечения обработки ЛЧМ-сигнала с потерями, не более заданных ( $L_{max}$ ), при произвольном значении крутизны ЛЧМ-сигнала.

Методика обоснования структуры и параметров «квазиоптимального» обнаружителя ЛЧМ-сигналов описывается следующей последовательностью операций:

1. Ввод возможных параметров ЛЧМ-сигнала и уровень допустимых потерь ( $L_{max}$ ).
2. Оценка требуемого количество каналов ДПФ для перекрытия диапазона возможной крутизны ЛЧМ-сигнала

$$N_{DPF} = \frac{\lg(\Delta F_{Mmax}\tau_{max}/\Delta F_{Mmin}\tau_{min})}{\lg\left(4\left(\frac{1}{L_{max}} + \sqrt{\frac{1}{L_{max}^2} + \frac{1}{L_{max}}} - \frac{1}{2}\right)^2\right)}. \quad (3)$$

3. Определение значений «квазиоптимальной» крутизны, по формуле

$$\gamma_k = \frac{1}{2}\gamma_{min} 10^{\frac{2k-1}{2N_{DPF}} \lg \frac{\Delta F_{Mmax}\tau_{max}}{\Delta F_{Mmin}\tau_{min}}}, \quad (4)$$

где  $k = 1, 2, \dots, N_{DPF}$ .

4. Расчет требуемого количества отсчетов при выполнении ДПФ с учетом частоты поступления отсчетов ЛЧМ-сигнала на вход «квазиоптимального» обнаружителя

$$N_{points} = \frac{F_s}{\sqrt{\gamma_k}}. \quad (5)$$

Рассмотрим результаты применения предложенной методики для обоснования структуры и параметров «квазиоптимального» обнаружителя ЛЧМ-сигналов зенитного ракетного комплекса (ЗРК) типа «PATRIOT», с девиацией и длительностью импульсов примерно равными  $\Delta F_M = 1 \dots 10$  МГц и  $\tau = 10 \dots 100$  мкс. При этом максимально допустимые потери выигрыша в ОСШ задано 1 дБ ( $L_{max} = 1$ ), а частота дискретизации ( $F_s = 100$  МГц). Зависимости потерь выигрыша в ОСШ на выходе канала ДПФ с полученными значениями

пороговой и оптимальной крутизны представлены на рисунке 1.

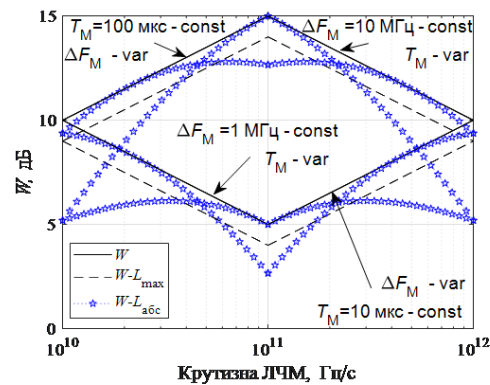


Рис. 1 – Графики зависимости выигрыша в отношении сигнал/шум от крутизны ЛЧМ сигнала при заданных максимально допустимых потерях

Как видно из рисунка 1 в результате обоснования структуры обнаружителя получено симметричное расположение каналов ДПФ, а их необходимое количество ровно укладывается в заданный диапазон возможной крутизны ЛЧМ – сигнала. Зависимость потерь в каналах не превышают заданных и даже не доходят до них.

Выигрыш в ОСШ полученный за счет применения «квазиоптимального» обнаружения позволяет увеличить дальность обнаружения и точность пеленгования (уменьшить СКО) в корень квадратный из выигрыша в раз, для рассмотренного примера составит 1,78 – 5,62 раза.

Таким образом, выполнено аналитическое обоснование структуры и параметров «квазиоптимального» обнаружителя зондирующих ЛЧМ-сигналов, обеспечивающей обнаружение сигналов с потерями выигрыша в отношении сигнал-шум, не превышающих заданные.

Полученные количественные характеристики выигрыша в энергетике ЛЧМ-сигнала позволяют говорить о возможности существенного расширения зон действия аппаратуры РТР и повышения точности пеленгования ИРИ при сохранении и уменьшении массогабаритных характеристик аппаратуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канатчиков А.А. Сравнительный анализ методов обнаружения и определения параметров зондирующих сигналов РСА космического базирования. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №7.
2. Гатальский А. М. / Обоснование способа цифровой обработки ЛЧМ-сигнала на основе применения дискретного преобразования Фурье / А. М. Гатальский, А. Г. Боровой вестник ВА №2 2021
3. Методы и средства радиоэлектронной защиты : учеб. пособие / С. В. Козлов. – Минск : БГУИР, 2019. – 188 с. : ил. ISBN 978-985-543-501-4
4. Моделирование системы обнаружения широкополосных сигналов радиовысотометров и радиолокационных взрывателей (шифр «Ртуть»): отчет о НИР (заключ.) / Воен. Акад. Респ. Беларусь; рук. А. М. Гатальский ; исполн.: В. В. Ковалевич [и др.]. – Минск, 2021. – 92 с.