

УДК 621.396.96

Н.П. Кандырин<sup>1</sup>, А.В. Костянец<sup>2</sup><sup>1</sup>Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСИОННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ

*В статье рассматривается методика экспериментального определения частотно-временных параметров дисперсионных ультразвуковых линий задержки с помощью табличных синтезаторов сигналов с управлением от ЭМВ. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

*дисперсионные ультразвуковые линии задержки*

### Введение

**Постановка проблемы.** Общей тенденцией современной радиолокации является создание скрытных РЛС, использующих пассивное обнаружение аэродинамических целей. Эффективность работы таких РЛС зависит от быстродействия системы обработки поступающей информации. В качестве спецвычислителей широко используют дисперсионные ультразвуковые линии задержки (ДУЛЗ), позволяющие обрабатывать информацию о цели практически в реальном масштабе времени.

Однако, в дисперсионной ультразвуковой линии задержки за счет генерации объемных волн и реактивного накопления их энергии в окрестности неоднородностей, отражений от краев пьезоэлектрической пластины и концов штырей, а также технологических ошибок изготовления встречно-штыревых преобразователей возникают внутриимпульсные отклонения частоты от линейного закона  $\Delta f(t)$  отклика ДУЛЗ [1 – 3]. Эти искажения при фильтровом методе обработки ЛЧМ сигналов приводят к увеличению уровня боковых лепестков (УБЛ) сжатого сигнала. Так зачастую, на практике, при весовой обработке по Хэммингу УБЛ составляет не менее  $(-20 \dots -24)$  дБ, что значительно хуже теоретически достижимого в  $-32,8$  дБ для таких же линий. Поэтому точность измерения параметров цели напрямую зависит от погрешностей изготовления ДУЛЗ и устройств формирования зондирующих сигналов.

**Анализ литературы.** В [4] были рассмотрены различные методы уменьшения УБЛ сжатого сигнала. Однако, часто на практике эффективность этих методов оказывается гораздо ниже. В [3, 5] для уменьшения УБЛ при сжатии ЛЧМ сигналов на ДУЛЗ было предложено использовать вместо пассивных формирователей цифровые синтезаторы сигналов (ЦСС). Однако, прежде чем разработать ЦСС под определенную ДУЛЗ необходимо знать ее параметры с учетом погрешностей, полученных в процессе изготовления, которые необходимо заранее измерить.

До настоящего времени методик автоматического определения частотно-временных параметров дисперсионных ультразвуковых линий задержки не существовало. Поэтому разработка методики измерения параметров ДУЛЗ (используя критерий минимума УБЛ сжатого импульса) является актуальной задачей, и вызывает определенные трудности.

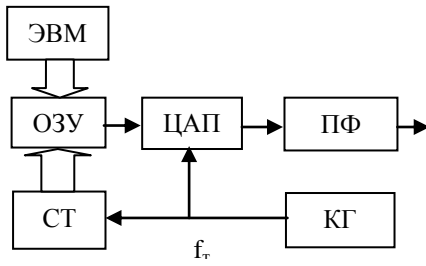
**Целью статьи** является разработка методики измерения частотно-временных параметров ДУЛЗ экспериментальным методом.

### Основной раздел

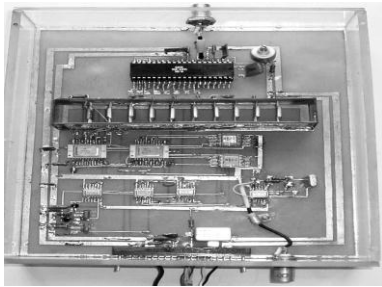
Для диагностики и измерения частотно-временных параметров ДУЛЗ необходим прецизионный формирователь ЛЧМ сигнала. В качестве таковых на данный момент времени могут выступать ЦСС, которые делятся по принципу формирования на три типа: вычислительные, табличные и таблично-вычислительные. Возможности, достоинства и недостатки цифровых методов и устройств формирования сложных сигналов освещены во многих работах [6 – 8]. В нашем случае, в связи с необходимостью часто менять частотно-временные параметры формируемого сигнала, мы остановим свой выбор на ЦСС табличного типа как наиболее простого и легко сопрягаемого с ЭВМ [3, 9].

Структурная схема табличного ЦСС сопряженного с ЭВМ приведена на рис. 1,а, а на рис. 1,б показан его внешний вид.

В общем случае такой синтезатор содержит адресный счетчик (СТ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), полосовой фильтр (ПФ) и кварцевый генератор (КВ). Подробное описание работы такого синтезатора приведено в [9]. Отличие его от ЦСС, описанного в [9], состоит в том, что здесь для хранения амплитудных выборок сигнала вместо ПЗУ применен блок ОЗУ, состоящий из восьми интегральных схем, емкостью  $1 \times 256$  бит каждая. Это было сделано для оперативной смены параметров формируемого сигнала в процессе подбора их под характеристики ДУЛЗ.



а



б

Рис. 1. Структурная схема табличного ЦСС, сопряженного с ЭВМ (а) и его внешний вид (б)

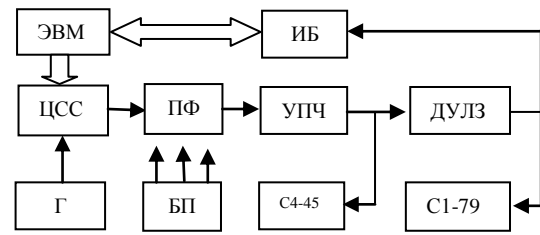
Коды амплитудных выборок  $K_u(r)$  сигнала перед записью в ОЗУ вычисляем на ЭВМ каждый раз после смены одного из параметров формируемого сигнала из выражений, полученных для однополярных ЦАП с учетом операции усреднения:

$$K_u(r) = \text{ent} \{ [1 + \cos(2\pi f_n T r + \pi \beta T^2 r^2 + \varphi_0)] \times (2^{n-1} - 0,5) + 0,5 \}; \quad (1a)$$

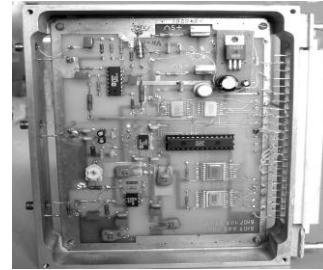
$$K_u(r) = \text{ent} \{ [1 + \sin(2\pi f_n T r + \pi \beta T^2 r^2 + \varphi_0)] \times (2^{n-1} - 0,5) + 0,5 \}; \quad (16)$$

где  $f_n$ ,  $\varphi_0$ ,  $\beta$  – соответственно начальная частота, начальная фаза и скорость ЧМ формируемого ЛЧМ сигнала;  $r$  – номер такта работы ЦСС или адрес ОЗУ;  $T$  – период дискретизации;  $\text{ent}(\cdot)$  – оператор выделения целой части числа.

Для экспериментального исследования характеристик ДУЛЗ был разработан измерительный стенд, структурная схема которого приведена на рис. 2, а. Он состоит из ЭВМ, табличного ЦСС, полосового фильтра (ПФ), усилителя промежуточной частоты (УПЧ), ДУЛЗ и измерительного блока (ИБ), а также комплекта контрольно-измерительной аппаратуры, состоящего из осциллографа (С1-79), анализатора спектров (С4-45), генератора синусоидального колебания (Г4-102) и источников питания. Измерительные приборы используются здесь для визуального контроля за формируемым и сжатым сигналом. Лабораторный стенд позволяет проверить с высокой точностью (по критерию минимума УБЛ сжатого импульса) частотно-временные параметры ДУЛЗ. Измерение этих параметров производится автоматически с помощью измерительного блока, внешний вид которого показан на рис. 2,б.



а



б

Рис. 2. Структурная схема стенда измерения параметров ДУЛЗ (а) и внешний вид измерительного блока (б)

Алгоритм экспериментального определения характеристик ДУЛЗ с помощью табличного ЦСС управляемого от ЭВМ и измерительного блока представлен на рис. 3 и осуществляется по следующей методике:

1. В начале проверки характеристик ДУЛЗ выбираются приблизительные начальные параметры  $\beta = \Delta F / \tau_n$ ,  $f_n$ ,  $f_r$ ,  $\varphi_0$  ЛЧМ сигнала длительностью  $\tau_n$  и девиацией  $\Delta F$ , для которого с помощью ЭВМ согласно (1) рассчитываются цифровые коды отсчетов сигнала с тактовой частотой  $f_r = 1/T$ .

2. Рассчитанные цифровые коды амплитудных выборок ЛЧМ сигнала записываются в ОЗУ ЦСС, после чего по команде с ЭВМ они циклически считываются и поступают на ЦАП.

3. Аналоговый сигнал с выхода ЦАП, прошедший ПФ, УПЧ, ДУЛЗ отображается на осциллографе в виде сжатого сигнала. Одновременно он поступает на измерительный блок, где оцифровывается и далее в виде массива передается на ЭВМ для обработки, после чего на экране монитора отображаются уже измеренные параметры.

4. С помощью анализатора спектра и осциллографа проводится контроль параметров и степень соответствия закона модуляции рассчитанного, а затем и сформированного ЛЧМ сигнала характеристике заданной ДУЛЗ.

5. Проверяются уровни  $U_{бл1}$  и  $U_{бл2}$  боковых лепестков сжатого выходного сигнала  $U_{вых}(t)$  ДУЛЗ. Если оба первые боковые лепестки выходного сигнала ДУЛЗ не равны (рис. 4, а, б), то вновь корректируются начальные параметры сигнала до тех пор, пока они будут равны, т.е. не станут симметричными (рис. 4, в).

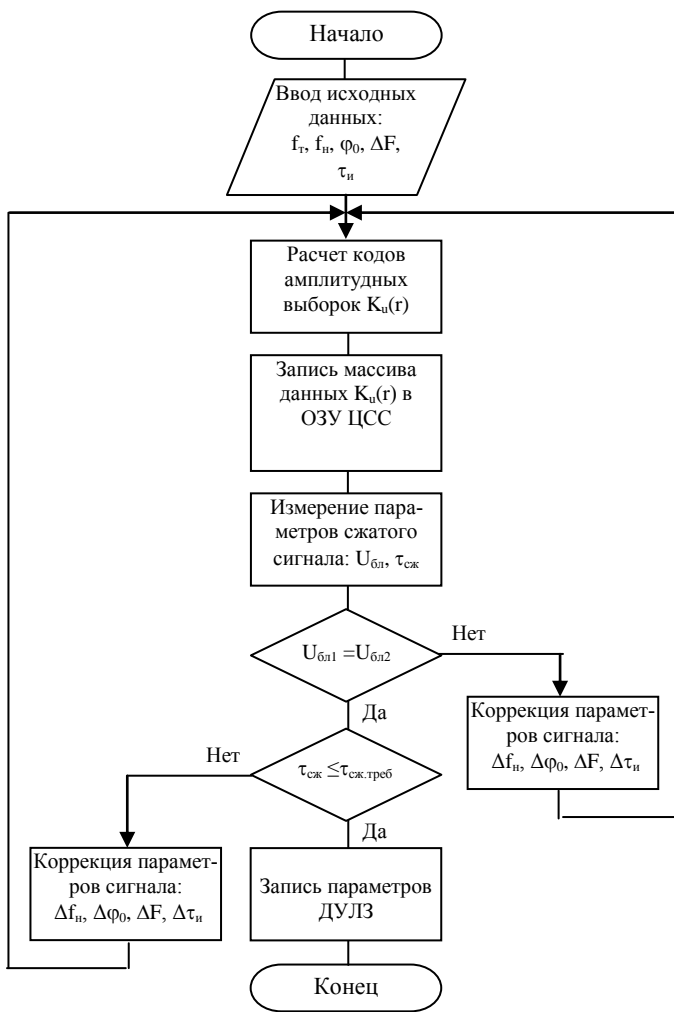


Рис. 3. Блок-схема алгоритма определения параметров ДУЛЗ

6. Проверяется длительность сжатого сигнала  $U_{\text{вых}}(t)$  по уровню  $U_d = U_{\text{м.г}} / \sqrt{2}$ , где  $U_{\text{м.г}}$  - максимум главного лепестка сжатого импульса. Если длительность сжатого импульса больше допустимого, немного изменяют параметры сигнала, достигая при этом минимума его длительности и сохраняя симметричность боковых лепестков (при весовой обработке минимум УБЛ).

7. При получении результатов измерений, удовлетворяющих требованиям к сжатому сигналу, в качестве искомых частотно-временных характеристик ДУЛЗ используют коды параметров сигнала

записанных в данный момент при выполнении п.п. 5 и 6.

В противном случае, п.п. 5, 6 повторяются до тех пор, пока не будут максимально выполнены требования к сжатому сигналу.

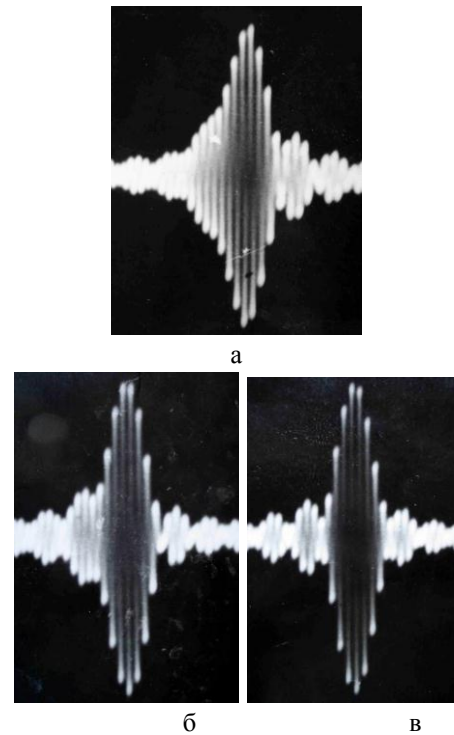


Рис. 4. Сжатый по времени ЛЧМ импульс на выходе ДУЛЗ без весовой обработки

Результаты определения параметров ДУЛЗ по вышеприведенному алгоритму для наглядности приведены в табл.1.

Анализ полученных результатов показывает, что при определении параметров ДУЛЗ с весовой обработкой по Хэммингу мы в качестве критерия использовали получение минимума УБЛ. Минимальный УБЛ получается при значениях параметров приведенных в столбце №2 и составляет -31,5 дБ, а длительность сжатого импульса при этом 1,2 мкс.

Таким образом, параметры ДУЛЗ оказываются равными: средняя частота сигнала (средняя частота спектра ДУЛЗ) равна 25 МГц; длительность импульса – 32 мкс; девиация частоты – 1,0756 МГц.

Таблица 1

Результаты измерения параметров ДУЛЗ используемой в РЛС с фильтровой обработкой

Серийный номер ДУЛЗ	Уровень боковых лепестков, дБ / длительность максимального сжатого сигнала, мкс		
	1	2	3
	$f_0 = 25 \text{ МГц}$ $\tau_{\text{и}} = 29 \text{ мкс};$ $\Delta F = 0,975 \text{ МГц};$ $\beta = 3,362 \cdot 10^{10} \text{ Гц}^2$	$f_0 = 25 \text{ МГц}$ $\tau_{\text{и}} = 32 \text{ мкс};$ $\Delta F = 1,0756 \text{ МГц};$ $\beta = 3,361 \cdot 10^{10} \text{ Гц}^2$	$f_0 = 25 \text{ МГц}$ $\tau_{\text{и}} = 32 \text{ мкс};$ $\Delta F = 1,088 \text{ МГц};$ $\beta = 3,4 \cdot 10^{10} \text{ Гц}^2$
4246	-29/1,25	-31,5/1,2	-30,5/1,3-

## Выводы

1. Предложенную экспериментальную методику измерения параметров ДУЛЗ рекомендуется использовать при разработке РЛС с фильтровым или корреляционно-фильтровым методами обработки. Это позволяет заранее скорректировать начальные параметры сигнала под измеренную ДУЛЗ и тем самым учесть погрешности, полученные в процессе изготовления линий при разработке устройств формирования зондирующих сигналов. Как показывает практика, это позволяет (на 3...7 дБ) снизить УБЛ сжатых сигналов по сравнению с исходными показателями.

2. Разработанный лабораторный стенд целесообразно использовать для автоматического исследования характеристик ДУЛЗ при их тестировании, а табличные ЦСС в качестве формирователей сложных сигналов, особенно с нелинейной частотной модуляцией (НЧМ), при разработке перспективных и модернизации существующих РЛС.

## Список литературы

1. Каринский С.С. Устройство обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. – М.: Сов. радио, 1975. – 176 с.
2. Фильтры на поверхностных акустических волнах. Расчет, технология и применение: Пер. с англ. / Под ред. Г. Мэттьюза. – М.: Радио и связь, 1981. – 472 с.
3. Кандырин Н.П., Дзигора А.М. Методика программирования табличных цифровых синтезаторов сигналов под дисперсионные характеристики ультразвуковых

вых линий задержки // *Моделирование та інформаційні технології*. – К.: НАНУ, ІПМЕ ім. Г.Е.Пухова, 2005. – Вип. 33. – С. 63-68.

4. Кандырин Н.П., Дзигора А.М. Выбор структуры малобазовых частотно-модулированных сигналов для обзорных РЛС // *Системи обробки інформації*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2003. – Вип.3. – С.98 -107.

5. Батурич Н.Г., Кандырин Н.П., Дзигора А.М. К вопросу о повышении дальности обнаружения целей при модернизации РЛС с фильтровым методом обработки ЛЧМ сигналов («Экран-85») // *Збірник наукових праць*. – Х.: ХВУ, 2002. – Вип. 1 (39). – С. 63-65.

6. А.С. 1552345 (СССР). Цифровой синтезатор частотно-модулированных сигналов / В.И. Гомозов, Н.П. Кандырин, Ю.М. Романов, Н.А. Михайлов. – Оpubл. Б.И. – 1990. – № 11.

7. Качемасов В.Н., Белов Л.А., Оконешиников В.С. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. – М.: Радио и связь, 1983. – 192 с.

8. Кандырин Н.П., Дзигора А.М. К вопросу о расширении частотного диапазона формируемых сигналов в цифровых синтезаторах // *Системи обробки інформациі*. – Х.: ХВУ, НАНУ, ПАНМ, 2002. – Вип. 5 (21). – С. 88-92.

9. Кандырин Н.П., Дзигора А.М. Методика проектирования и особенности управления параметрами частотно-модулированных сигналов в табличных цифровых синтезаторах // *Системи обробки інформації*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2002. – Вип. 3 (19). – С. 124-128.

Поступила в редколлегию 14.09.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.В. Полярус, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.