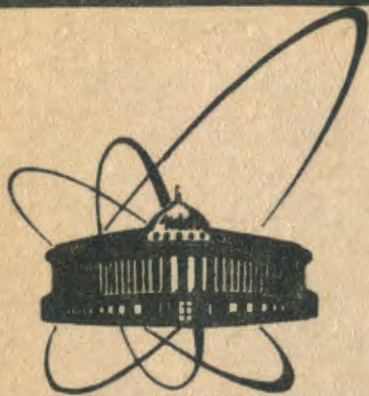


89 - 67



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P11-89-67

**В.А.Калинников**

**АЛГОРИТМЫ  
ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ  
В ДИНАМИЧЕСКОМ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ**

**1989**

## ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие быстро развивающиеся цифровые методы обработки сигналов были внедрены во многие разделы науки и техники и стали для них прочной теоретической базой. Наиболее интересными аспектами развития данных методов являются цифровая фильтрация и спектральная обработка сигналов. Цифровой динамический спектральный анализ является самостоятельным направлением в области спектральной обработки и имеет хорошо развитый математический аппарат, существенно отличающийся от распространенных быстрых алгоритмов дискретного преобразования Фурье<sup>1-3/</sup>. Из широкого круга задач, решаемых динамическим спектральным анализом, в первую очередь, можно выделить типовые задачи: измерение амплитудных и фазовых спектров; весовая обработка сигналов; вычисление формантных частот в синтезе речевого сигнала; вычисление параметров математической статистики и другие. Программная обработка, используемая для этих целей, характеризуется низким быстродействием и значительными затратами на создание и отладку программного обеспечения, но в то же время отличается максимальной гибкостью. Аппаратурные средства развертывают вычисления главным образом в пространстве, в связи с чем достигается высокое быстродействие, позволяющее организовать режим обработки сигналов в реальном времени измерения.

Основные требования, предъявляемые к алгоритмам, ориентированным на аппаратурную реализацию: во-первых, состав операций алгоритмов должен ограничиваться алгебраическим сложением, сдвигом и выборкой из таблиц, записанных в постоянно-запоминающих устройствах (ПЗУ); во-вторых, для возможности эффективной обработки многоразрядных операндов зависимость суммарного количества операций от разрядности должна вырастать не быстрее, чем линейная функция; в-третьих, алгоритмы выполнения каждой операции должны иметь однородную структуру, обеспечивающую высокую регулярность и универсальность реализации<sup>4/</sup>.

## ВЫЧИСЛЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ УЧАСТКОВ ДИНАМИЧЕСКИХ РАЗВЕРТОК МОДУЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФУРЬЕ

В ряде задач для систем оперативного контроля и управления объектами ядерной энергетики возникает необходимость вычисления участков амплитудно-временной стационарности. В настоящее время эти задачи решаются, в основном, с использованием микропроцессорной системы общего назначения. Однако с ростом требований по обеспечению режима реального времени такие системы не в состоянии обеспечить необходимую вычислительную мощность. Увеличение мощности путем дополнительного распараллеливания процессоров общего назначения требует значительных экономических затрат, не удовлетворяет по параметрам объема и веса аппаратуры, приводит к снижению надежности вычислительного комплекса. В этой связи построение специализированных аппаратурных средств для вычисления участков стационарности по временным разверткам цифровых сигналов является актуальной задачей.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма вычисления стационарных участков динамических разверток модулей коэффициентов Фурье, на рис. 2 изображена функциональная схема устройства, реализующего данный алгоритм, а на рис. 3 приведен поясняющий рисунок работы устройства при анализе цифровых последовательностей. Устройство содержит 7 схем сравнения ( $СП_1 - СП_7$ ), 4 регистра ( $RG_1 - RG_4$ ), многофункциональное арифметико-логическое устройство (ALU), сумматор-вычитатель ( $S_M$ ) и логику управления. До начала работы в регистр  $RG_4$  заносятся параметры оценки стационарности:  $\Delta F_j, R_j, K, L$ , где  $j = 1, 2, 3$ . Величины  $\Delta F_j$  определяют три базовых значения ширины зоны стационарности по уровню, а  $K$  и  $L$  определяют пределы значений  $X_i$ , в которых действуют соответствующие  $\Delta F_j$ . Выбор  $\Delta F_j$  происходит в схемах сравнения  $СП_1$  и  $СП_2$  на основе соотношений

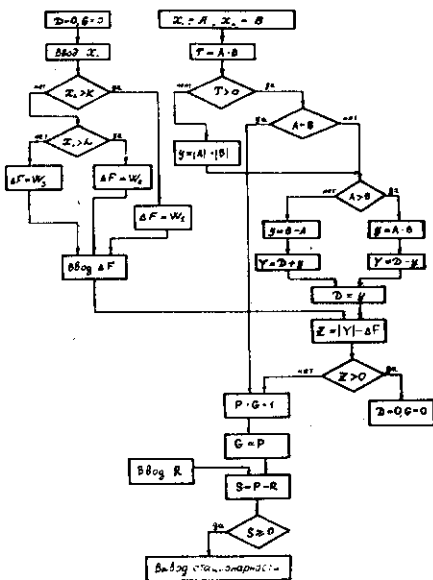


Рис. 1. Блок-схема алгоритма вычисления стационарных участков временных последовательностей.

$$\Delta F_i = \begin{cases} \Delta F_1, & \text{если } x_i \leq K \\ \Delta F_2, & \text{если } K < x_i \leq L \\ \Delta F_3, & \text{если } x_i > L \end{cases}$$

Величина  $K_d$  определяет уровни временной стационарности по длительности.

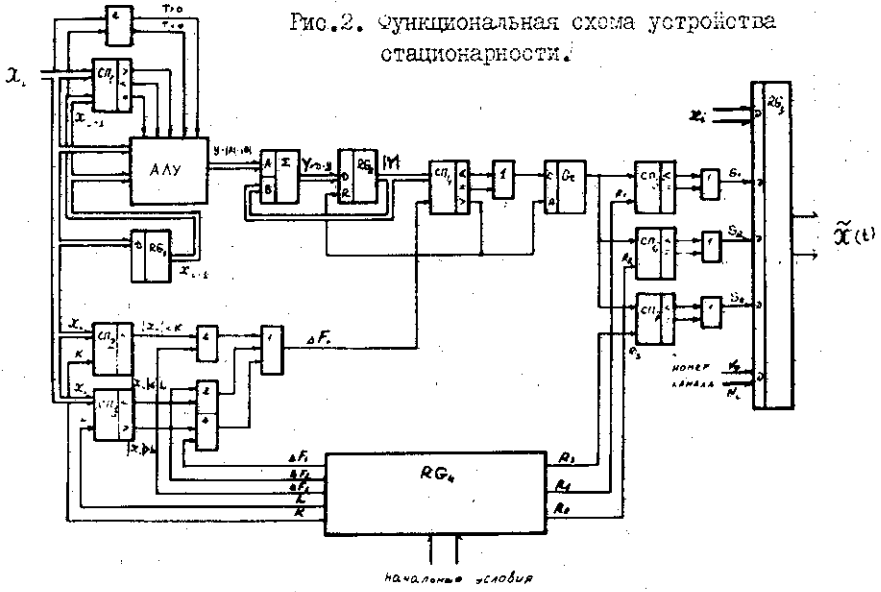


Рис.2. Функциональная схема устройства стационарности.

Цифровая последовательность  $x_i$  в момент времени  $i$  на схеме СП<sub>3</sub> сравнивается с предыдущим значением выборки  $x_{i-1}$ , записанной в регистре  $RG_1$ . В результате сравнения формируются признаки:  $x_{i-1} > x_i$ ,  $x_{i-1} = x_i$ ,  $x_{i-1} < x_i$ , управляющие работой АЛУ. В АЛУ вычисляется величина  $y = \text{mod} \{ x_i - x_{i-1} \}$ , которая затем суммируется либо вычитается из числа  $D$ , т.е.

$$Y = \begin{cases} D + y, & \text{если } x_i > x_{i-1}, \\ D - y, & \text{если } x_i < x_{i-1}, \end{cases}$$

где  $D$  - накапливаемое приращение. Величина  $|Y|$  записывается в регистр  $RG_2$  и принимает значение нового числа  $D$ . В блоке СП<sub>3</sub> на основе сравнения  $D$  и  $\Delta F_i$  вырабатывается признак амплитудной стационарности  $Z$ . Если  $Z < 0$ , т.е. когда текущее значение приращения признака  $D$  не вышло за пределы стационарности  $\Delta F_i$  по уровню сигнала, содержимое схемы временного накопления результата в СЧ<sub>2</sub> увеличивается на единицу. Если текущее приращение вышло за пределы стационарности  $\Delta F_i$ , то вырабатывается сигнал сброса

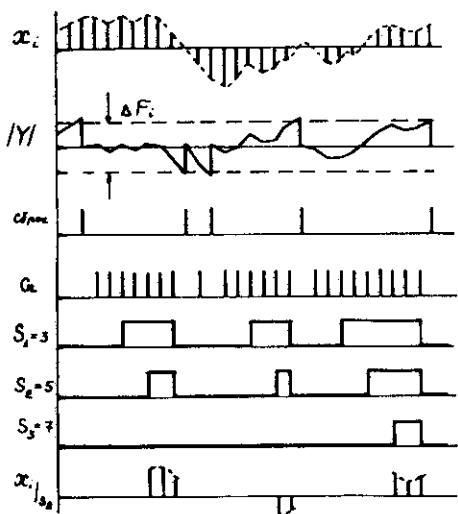


Рис.3. Временная диаграмма работы устройства стационарности.

работывается на третью последовательную единицу счетчика  $C_z$ , а при  $R_j \geq 5$  - на пятую (рис.3). В выходной регистр  $RG_3$  кроме признаков амплитудно-временной стационарности  $S_j$  записывается и текущее значение выборки сигнала  $x_i$ . Внешний процессор, анализируя наличие признаков стационарности  $S_j$ , может считать стационарные участки исследуемой временной последовательности.

Предлагаемый алгоритм можно использовать не только в системах цифрового динамического спектрального анализа, но и применительно к вычислению признаков амплитудно-временной стационарности для любых последовательностей чисел, если требования к общему алгоритмическому обеспечению в них удовлетворяется функциональными возможностями данного устройства. Значения параметров  $\Delta F_j$ ,  $R_j$ ,  $k$ ,  $l$  при использовании устройства в различных системах могут иметь произвольные комбинации и отношения соответственно решаемым прикладным задачам.

#### АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СКОльзяЩЕГО СРЕДНЕГО ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

При практической реализации задач, таких, как слежение и шифрация в системах оперативного контроля, медицинская диагностика, дефектоскопия и др., возникает необходимость получения сглаженных или усредненных скользящих спектральных оценок. Для решения этого класса задач предлагается алгоритм вычисления скользящего среднего.

(рис.3), который обнуляет содержимое регистра  $RG_2$  и схемы  $C_z$ . Накапливаемый на  $C_z$  результат подается на входы схем сравнений  $СП_5$  -  $СП_7$ , на вторые входы которых поступают параметры оценки временной стационарности  $R_j$ . Если число текущих стационарных по уровню выборок сигнала  $x_i$  превышает заданное пороговое значение  $R_j$ , на соответствующей схеме сравнения вырабатывается признак амплитудно-временной стационарности  $S_j$ , который заносится в выходной регистр  $RG_3$ . Так, например, при  $R_j \geq 3$  признак  $S_j$  вы-

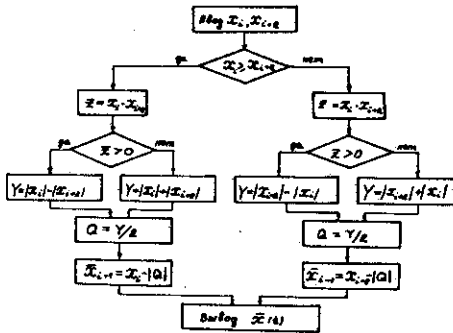


Рис. 4. Блок-схема алгоритма скользящего усреднения спектральных оценок.

В основу алгоритма положен метод трехточечного усреднения, при котором усредненная спектральная оценка находится как среднее арифметическое двух смежных к ней спектральных оценок. На рис. 4. представлена блок-схема алгоритма скользящего усреднения, на рис. 5 изображена функциональная схема устройства, реализующего этот алгоритм, а на рис. 6 показана поясняющая временная диаграмма.

Устройство состоит из двух регистров  $RG_1$  и  $RG_2$ , двух АЛУ, схемы сравнения и логики управления. Под воздействием управляющих син-

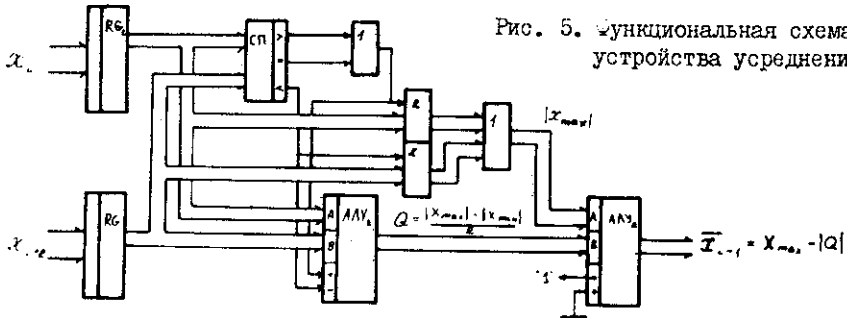


Рис. 5. Функциональная схема устройства усреднения.

хросигналов  $СХИ_2$  и  $СХИ_3$  (рис. 6) в регистры  $RG_1$  и  $RG_2$  заносятся нечетные предыдущие и последующие значения выборок спектральных оценок  $x_i$  и  $x_{i+2}$ . На схеме СП производится сравнение этих выборок по амплитуде и вырабатываются управляющие сигналы для двух АЛУ. В схеме АЛУ<sub>1</sub> вычисляется разность абсолютных значений выборок, записанных в регистрах  $RG_1$  и  $RG_2$ , в виде

$$Q_1 = \frac{|x_{max}| - |x_{min}|}{2},$$

которая затем в АЛУ<sub>2</sub> вычитается из максимального значения, т.е.

$$\bar{x}_{i+1} = x_{max} - |Q_1|.$$

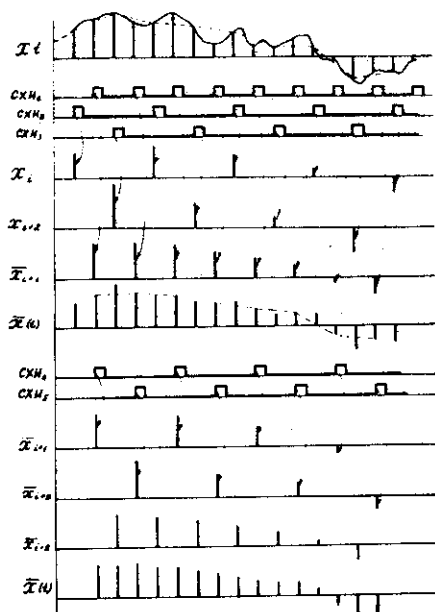


Рис. 6. Временная диаграмма работы устройства усреднения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предлагаются новые алгоритмы обработки информации в цифровом динамическом спектральном анализе сигналов. Рассматривается схемно-техническая реализация предложенных алгоритмов в аспекте многовариантного конструирования аппаратуры в зависимости от поставленной цели. Использование этих алгоритмов в системах обработки позволит повысить вычислительную мощность системы, сократить объем оборудования, энергопотребления и стоимость.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978.
2. Калинин В.А. Динамический спектральный анализ в алгебре конечных полей. Препринт ОИИИ, Р-11-88-320, Дубна, 1988.
3. Калинин В.А. Цифровой динамический амплитудно-частотный анализатор спектра. Препринт ОИИИ, Р-10-88-275, Дубна, 1988.
4. Байков В.Д., Смолков В.Б. Специализированные процессоры: итерационные алгоритмы и структуры. М.: Радио и связь, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 февраля 1989 года.