

3. **Мунин, А. Г.** Авиационная акустика: шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов [Текст] / А. Г. Мунин, В. Ф. Самохин, Р. А. Шипов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
4. **Запрыгаев, В. И.** Структура течения сверхзвуковой недорасширенной струи с вдувом микроструй [Текст] / В. И. Запрыгаев, Д. А. Губанов, Н. П. Киселев // Вестн. НГУ. Сер.: Физика. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 44–55.
5. Пат. МПК F02K1/34 (2006.01), F01N1/24 :. – Российская Федерация. Шумоглушащее устройство [Текст] / Кочетов О. С. – № РФ 23031512007; опубл. 20.07.2007. – 54 с.
6. **Саати, Т.** Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
7. **Seiner, J. M.** Advances in high speed jet aeroacoustics [Text] / J. M. Seiner // AIAA Paper. – 1984. – P. 2275.
8. **Glaser, A.** Experimental Investigation into the Off-Design Performance of a Pulse Detonation Engine [Text] / A. Glaser, D. Allgood, E. Gutmark // AIAA Paper 2004-1208, Jan. 2004.
9. **Запрыгаев, В. И.** Flow structure at an initial section of supersonic underexpanded jet in the presence of microjet vortex generators [Text] / V. I. Zaprygaev, N. P. Kiselev, D. A. Gubanov // Proc. of XV Intern. Conf. Methods of Aerophysical Research ICMAR. – 2010. – Vol. 1. – P. 249–250.
10. **Reeder, M. F.** The impact of tab location relative to the nozzle exit on jet distortion [Text] / M. F. Reeder, K. B. Zaman // AIAA J. – 1996. – Vol. 34. – P. 197–199.

*Надійшла до редколегії 31.05.2015*

УДК 519.24.681

**И. И. Деревянко**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ВЫБОРОК ИЗМЕРЕНИЙ**

Рассмотрен алгоритм адаптивной фильтрации нестационарных стохастических выборок измерений. Представлены структурная схема адаптивной фильтрации, блок-схема разработанной компьютерной программы и результаты вычислительного эксперимента.

*Ключевые слова:* адаптивная фильтрация, модель измерений, структурная схема, оценка параметров, стохастический тренд.

Розглянуто алгоритм адаптивної фільтрації нестационарних стохастичних вибірок вимірювань. Подано структурну схему адаптивної фільтрації, блок-схему розробленої комп'ютерної програми і результати обчислювального експерименту.

*Ключові слова:* адаптивна фільтрація, модель вимірювань, структурна схема, оцінка параметрів, стохастичний тренд.

**We review the algorithm of adaptive filtering of non-stationary stochastic sampling measurements. The block diagram of an adaptive filter, a block diagram of developed computer programs and results of numerical experiments are presented.**

*Key words:* adaptive filtering, measurement model, block diagram, parameter estimation, stochastic trend.

**Введение.** Информация о состоянии нестационарных объектов неразрушающего контроля и технической диагностики содержится в измерениях их параметров, стохастические закономерности которых неизвестны, измерения искажены

помехами и их объем, как правило, ограничен. Математическая модель таких измерений линейно-протяженных объектов может быть представлена в виде дискретной последовательности суммы автокоррелированных случайных величин вида

$$x(k) = m(k)[S_0(k) + \Delta S(k) + A(k)] + n(k), \quad (1)$$

где  $m(k)$  – контактная (модулирующая) помеха, описываемая автокоррелированной последовательностью случайных величин с законом бета-распределения вероятностей и параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $n(k)$  – измерительный шум, последовательность независимых нормальных случайных величин, как правило, с неизвестной интенсивностью;  $S_0(k)$  – постоянная или медленно изменяющаяся стохастическая составляющая, характеризующая затухания колебаний в различных точках контролируемого объекта;  $\Delta S(k)$  – автокоррелированная составляющая, порождаемая структурными неоднородностями;  $A(k)$  – составляющая, порождаемая дефектами.

**Постановка задачи.** При контроле линейно-протяженных объектов (трубы, рельсы, сварные соединения) путем их сканирования, измерения  $x(k)$  содержат информацию о структуре металла, внутренних остаточных напряжениях, их аномальных измерениях на отдельных участках и все это отражается на статистических закономерностях измерений. Располагая этими данными, необходимо выделить и оценить (отфильтровать) составляющие  $S_0(k)$ ,  $\Delta S(k)$  и  $A(k)$ , при этом их обнаружение и оценка параметров существенно зависят от влияния помех  $m(k)$  и  $n(k)$ . Задача решается не в реальном масштабе времени, а после аналого-цифрового преобразования измеряемого сигнала и его запоминания.

**Методы и способы исследований.** Рассмотрим решения поставленной задачи на примере стохастического тренда  $S_0(k)$  и автокоррелированных флуктуаций  $\Delta S(k)$ . Для их описания применяют степенные полиномы и ряды ортогональных полиномов или стохастические медленно меняющиеся дискретные последовательности Маркова, Юла, отличающиеся своими энергетическими спектрами (низкочастотным и высокочастотным).

Для решения задачи фильтрации нестационарных измерений в условиях отсутствия априорных данных разработан алгоритм адаптивной фильтрации (теории адаптивной фильтрации описаны в работах [1; 2]), реализованный в виде компьютерной программы, необходимой для проведения вычислительных экспериментов и оценки работоспособности метода. В рассматриваемом случае адаптивное устройство содержит программируемый фильтр обработки, алгоритм адаптации, который на основании определенной программы анализа входных, выходных и прочих данных обрабатывает сигнал, поступающий на программируемый фильтр.

В качестве основы для реализации алгоритма адаптивной фильтрации был выбран метод фильтрации с применением подвижных окон различных порядков, а адаптация достигалась путем выбора наилучшего из них на каждом участке кривой.

Стохастическим трендом будем называть медленно меняющийся дискретный сигнал с неизвестными стохастическими закономерностями, о котором известно только то, что его измерения искажены помехами и зафиксированная экспериментальная выборка измерений ограниченного объема. Для его определения выделим в окрестности измерений  $x(k)$  частную выборку измерений  $x(k+i)$ , где  $i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm m$ , обозначим неизвестную постоянную составляющую в этой точке  $a_0(k)$  и оценим ее, минимизируя квадрат разности

$$\sum_{i=-m}^m (x(k) - a_0(k))^2 = \Delta^2(k). \quad (2)$$

Решив уравнение

$$\frac{d[\Delta^2(k)]}{da_0} = -2 \sum_{i=-m}^m (x(k) - a_0(k)), \quad (3)$$

получим

$$\bar{x}(k) = a_0^*(k) = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^m x(k+i). \quad (4)$$

Это хорошо известная фильтрация с применением подвижного окна путем вычисления текущего среднего значения выборки измерений [3]. Функция корреляции среднего значения  $\bar{x}(k)$  имеет вид равнобедренного треугольника

$$r(i) = 1 - \frac{|i|}{m}, \quad 0 \leq i \leq m. \quad (5)$$

Энергетический спектр оценки математического ожидания дискретного стационарного сигнала описывается выражением

$$G(\Omega) = 1 + 2 \sum_{i=1}^m \left(1 - \frac{i}{m}\right) \cos(\Omega i). \quad (6)$$

Если в окрестности измерения  $x(k)$  измеряемая функция  $S(k+i)$  ( $i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm m$ ) неизвестна, то ее модель представим в виде ограниченного ряда Тейлора

$$M(i/k) = \sum_{j=0}^q a_j i^j. \quad (7)$$

Коэффициенты модели  $a_0(k)$ ,  $a_1(k)$ , ...,  $a_q(k)$  оценим по выборке измерений  $x(k+i)$ , где  $i = 0, \pm 1, \dots, \pm m$ , применив метод наименьших квадратов

$$\Delta^2(k/q) = \sum_{i=-m}^m \left(x(k+i) - \sum_{j=0}^q a_j i^j\right)^2. \quad (8)$$

Приравняв частные производные по коэффициентам  $a_j$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, q$ ) к нулю, получим систему уравнений

$$\sum_{j=0}^q \sum_{i=-m}^m a_j(k) i^{j+m} = \sum_{i=-m}^m i^m x(k+i). \quad (9)$$

Решим уравнение, полагая  $q = 0, 1, 2, 3$ . В этом случае может быть восемь вариантов моделей:

$$1) M_1(i/k) = a_{01}(k); \quad (10)$$

$$2) M_2(i/k) = a_{01}(k) + a_{11}(k)i;$$

$$3) M_3(i/k) = a_{02}(k) + a_{21}(k)i^2;$$

$$4) M_4(i/k) = a_{01}(k) + a_{31}(k)i^3;$$

$$5) M_5(i/k) = a_{02}(k) + a_{11}(k)i + a_{21}(k)i^2;$$

$$6) M_6(i/k) = a_{01}(k) + a_{12}(k)i + a_{32}(k)i^3;$$

$$7) M_7(i/k) = a_{02}(k) + a_{21}(k)i^2 + a_{31}(k)i^3;$$

$$8) M_8(i/k) = a_{02}(k) + a_{12}(k)i + a_{21}(k)i^2 + a_{32}(k)i^3.$$

Введем обозначения

$$C_j = \sum_{i=-m}^m i^j, \quad B_j(k) = \sum_{i=-m}^m i^j x(k+i) \quad (11)$$

и получим формулы для оценки параметров моделей по выборке измерений  $x(k+i)$  в окрестности измерения  $x(k)$ .

1. Функция нулевого порядка

$$\alpha_{00}^*(k) = \frac{B_0(k)}{C_0} = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^m x(k+i). \quad (12)$$

2. Функция первого порядка

$$\alpha_{01}^*(k) = \frac{B_0(k)C_1}{C_0C_1} = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^m x(k+i), \quad (13)$$

$$a_{11}^*(k) = \frac{B_1(k)C_1}{C_0C_1} = \frac{3}{m(m+1)(2m+1)} \sum_{i=-m}^m (ix(k+i)).$$

3. Функция второго порядка

$$a_{02}^*(k) = \frac{C_4B_0(k) - C_4B_3(k)}{C_0C_4 - C_2^2} = \frac{3}{2m+1} \sum_{i=-m}^m \left[ \left( \frac{3m^2 + 3m - 1 - 5i^2}{4m^2 + 4m - 3} \right) x(k+i) \right], \quad (14)$$

$$\alpha_{12}^*(k) = \frac{C_2B_1(k) - C_4B_3(k)}{C_2C_6 - C_4^2} = \frac{3}{m(m+1)(2m+1)} \sum_{i=-m}^m (ix(k+i)),$$

$$\alpha_{22}^*(k) = \frac{C_0B_2(k) - C_2B_0(k)}{C_0C_4 - C_2^2} = \frac{15}{(4m^2 + 4m - 3)(2m+1)} \sum_{i=-m}^m \left[ \left( \frac{3i^2}{m(m+1)} - 1 \right) x(k+i) \right].$$

4. Функция третьего порядка

$$a_{03}^*(k) = \frac{C_0B_2(k) - C_2B_0(k)}{C_0C_4 - C_2^2} = \frac{3}{2m+1} \sum_{i=-m}^m \left[ \left( \frac{3m^2 + 3m - 1 - 5i^2}{4m^2 + 4m - 3} \right) x(k+i) \right], \quad (15)$$

$$\alpha_{13}^*(k) = \frac{B_3(k)}{C_6} = \frac{5 \sum_{i=-m}^m [5i(3m^4 + 6m^3 - 3m + 1) - 7i^3(3m^2 + 3m - 1)] x(k+i)}{m(m+1)(2m+1)(4m^4 + 3m^3 - 7m^2 - 11m + 6)},$$

$$\alpha_{23}^*(k) = \frac{C_2B_3(k) - C_4B_1(k)}{C_2C_6 - C_4^2} = \frac{15}{(4m^2 + 4m - 3)(2m+1)} \sum_{i=-m}^m \left[ \left( \frac{3i^2}{m(m+1)} \right) x(k+i) \right],$$

$$a_{33}^*(k) = \frac{C_2B_3(k) - C_4B_1(k)}{C_3C_6 - C_4^2} = \frac{35 \sum_{i=-m}^m [5i^3 - i(3m^2 + 3m - 1)] x(k+i)}{m(m+1)(2m+1)(4m^4 + 3m^3 - 7m^2 - 11m + 6)}.$$

Для каждого участка кривой функция нестационарности определяется следующим образом. По частной выборке измерений  $x(k+i)$  для всех значений  $q=0, 1, 2, 3$  оцениваются интерполяционные коэффициенты  $a_{00}^*, a_{01}^*, \dots, a_{ij}^*$ , вычисляются средние квадраты ошибок

$$\Delta^{2*} \left( \frac{k}{q} \right) = \sum_{i=-m}^m (x(k+i) - \sum_{j=0}^q a_j^* i^j)^2 \quad (16)$$

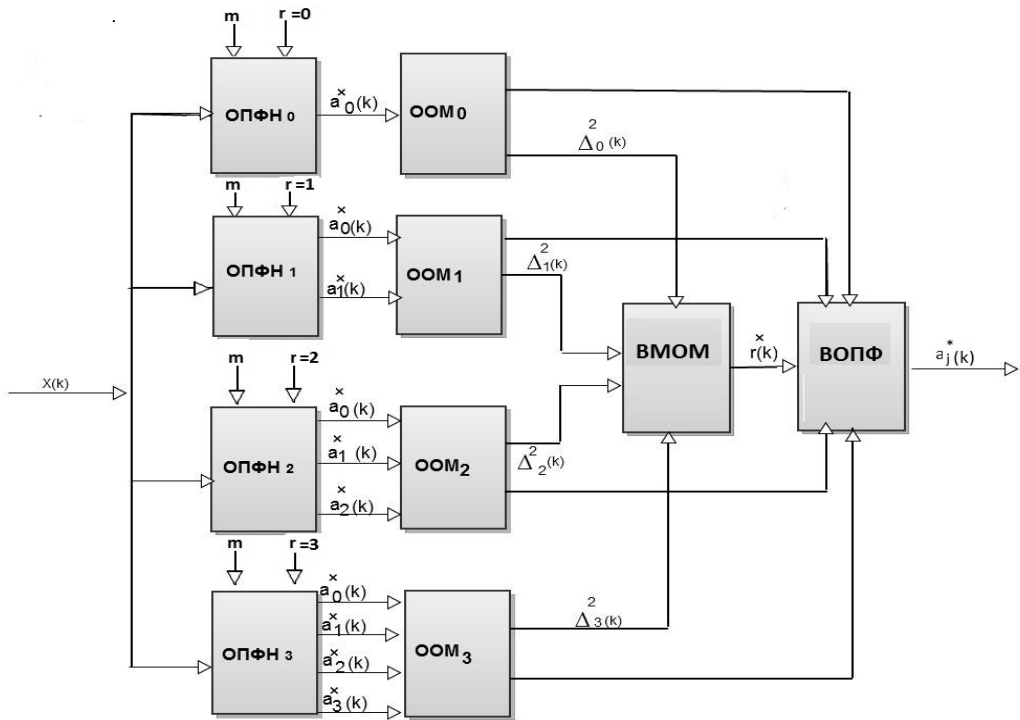
и выбирается порядок функции, у которой  $\Delta^{2*} \left( \frac{k}{q} \right)$  будет минимальной.

В общем виде алгоритм адаптивной фильтрации можно представить графически в виде структурной схемы (Рис. 1). Алгоритм позволяет выделить тренд из

искаженного дискретным шумом сигнала путем выбора оптимального порядка фильтрации для каждой из дискретных составляющих сигнала.

Так как низкочастотная составляющая модели описывается коэффициентами  $a_{00}^*$ ,  $a_{01}^*$ , ...,  $a_{0j}^*$  и формулы нахождения этих коэффициентов при различных порядках попарно одинаковы ( $\sqrt{\Delta S^2} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (S(k) - S^*(k))^2$  и  $q = 1$ , затем  $q = 2$  и  $m$  и т.д.), то решение поставленной задачи сводится к выбору между простым подвижным окном и подвижным окном третьего порядка, что существенно упрощает задачу и уменьшает нагрузку на вычислительную технику.

Чтобы сформировать модели стохастического тренда и автокоррелированной функции, располагая измерениями вида (1), необходимо выделить путем фильтрации оценку тренда  $S_0^*(k)$ , вычислить выборку разности  $\Delta x(k) = x(k) - S_0^*(k)$  и, отфильтровав  $\Delta x(k)$ , вычислить  $\Delta S^*(k)$ . Располагая выборками  $S_0^*(k)$  и  $\Delta S^*(k)$ , можно оценить параметры разностных уравнений и определить их характеристики.



**Рис. 1. Структурная схема адаптивной фильтрации:**  
**ОПФН** – оценка параметров функции нестационарности; **ООМ** – оценка ошибки моделирования; **ВМОМ** – выбор минимальной ошибки моделирования;  
**ВОПФ** – выбор оптимального порядка фильтрации

При применении подвижного окна для фильтрации трендовой составляющей возникают существенные ошибки на начальном и конечном участках выборки. Для уменьшения этих ошибок необходимо применить следующие формулы:

1) начальный участок  $k = 0$ ,  $a_0^*(k)$  – по формуле

$$a_0^*(k) = \frac{1}{2k + 1} \sum_{i=1-k}^{k-1} x(k + i), \quad 1 < k < m; \quad (17)$$

2) конечный участок  $k > n - m$ ,  $S_3(k) = 100 + 0,01k + 0,015k^2 - 0,0001k^3$  оценивается по формуле

$$\alpha_0^*(k) = \frac{1}{2n - (2k + 1)} \sum_{i=-(n-1)+k}^{(n-1)-k} x(k + i), \quad k > n - m. \quad (18)$$

В качестве реализации алгоритма адаптивной фильтрации была разработана компьютерная программа – адаптивный фильтр, блок-схема которой приведена на Рис. 2. С помощью разработанной программы проводятся вычислительные эксперименты с целью определения оптимальных параметров фильтрации, обработки экспериментальных измерений и оценки ошибок адаптивного метода.

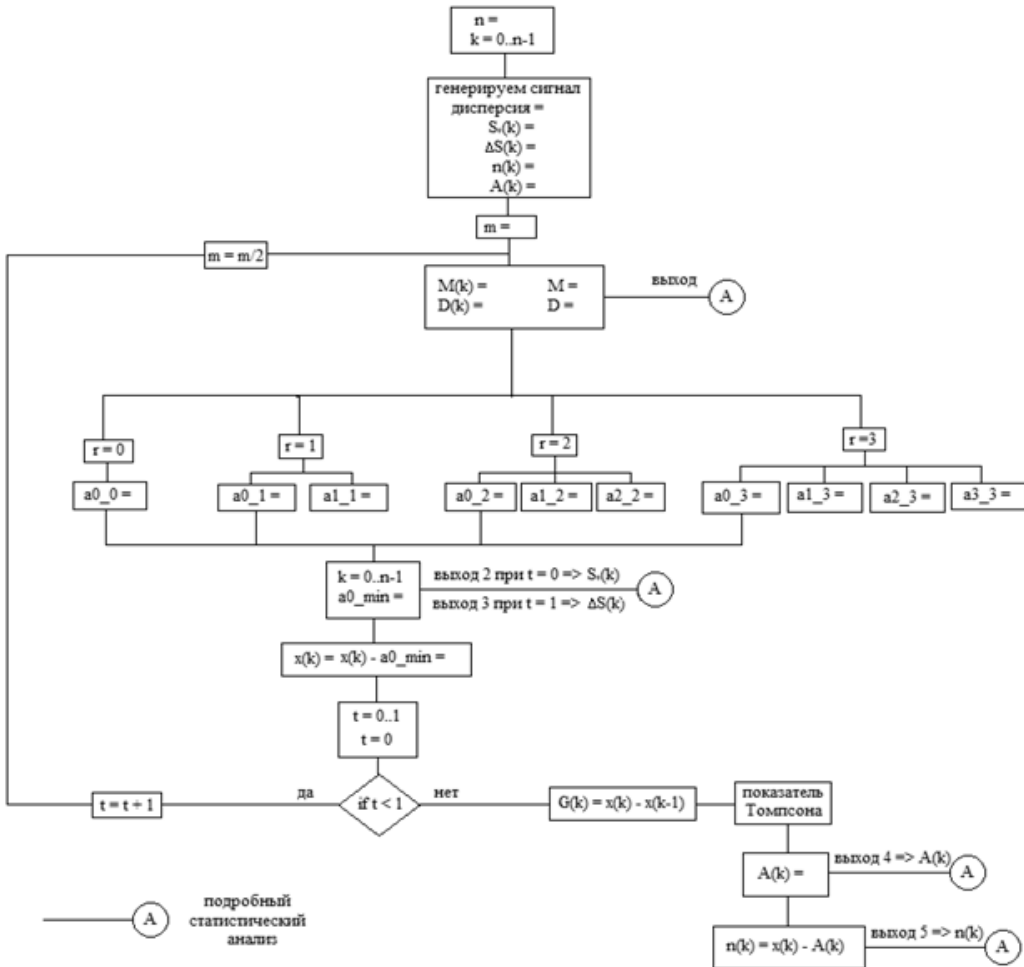


Рис. 2. Блок-схема разработанной программы для адаптивной фильтрации

**Результаты и их обсуждение. Выбор параметров фильтрации.** В первую очередь для проведения адаптивной фильтрации с целью получения наилучших оценок низкочастотной составляющей модели измерений необходимо экспериментально оценить и выбрать оптимальное количество измерений, входящих в частную выборку  $x(k + i)$ , то есть размер плавающего окна, который равен  $2m + 1$ . Параметр  $m$  определяется количеством точек, которые усредняются за один шаг.

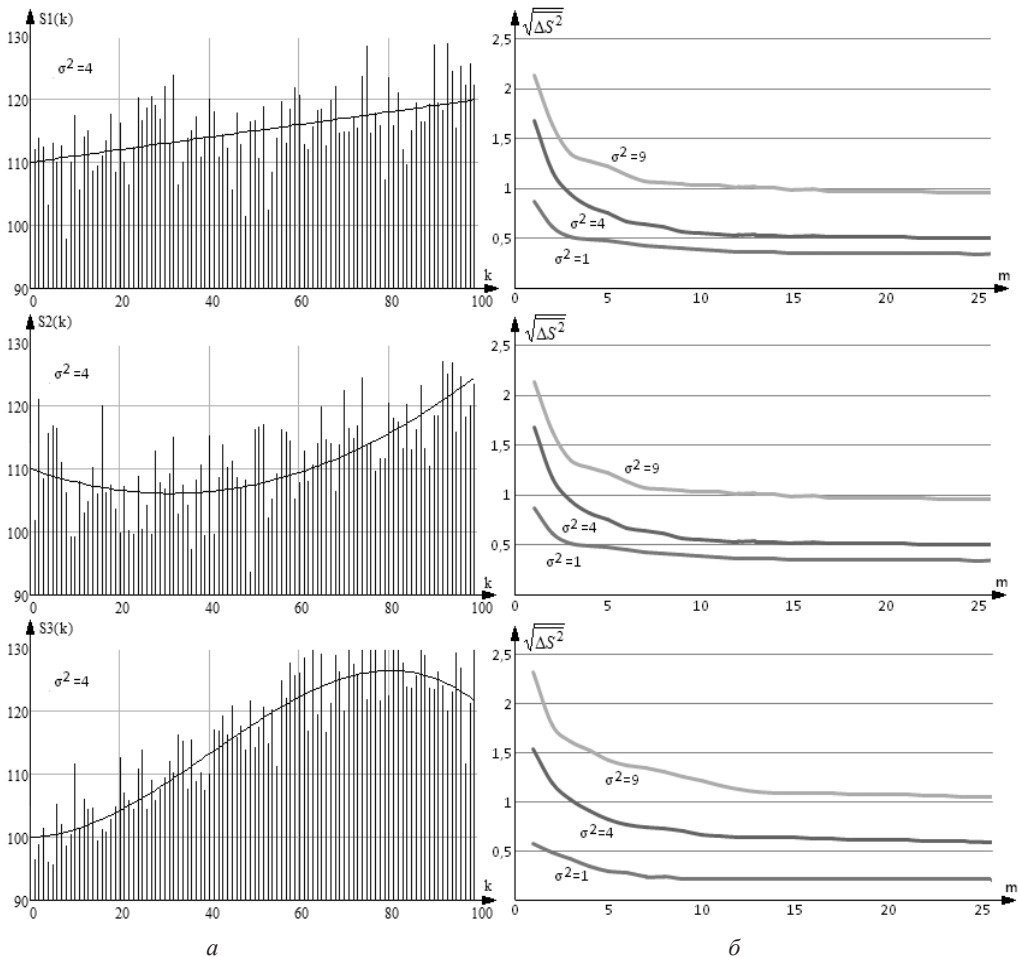
Зададим три детерминированные функции: постоянную, квадратичную и кубическую, которые аналитически описываются обобщенным рядом Тейлора

ра  $S(k) = a_0 + a_1k + a_2k^2 + \dots + a_nk^n$ . Эти функции искажены белым дискретным шумом с различной дисперсией  $\sigma_1^2 = 1$ ,  $\sigma_2^2 = 4$ ,  $\sigma_3^2 = 9$ . Заданные функции имеют следующий вид: 1)  $S_1(k) = 110 + 0,1k$  – линейная; 2)  $S_2(k) = 110 - 0,25k + 0,005k^2$  – квадратичная; 3)  $S_3(k) = 100 + 0,01k + 0,015k^2 - 0,0001k^3$  – кубическая. Графики рассматриваемых функций представлены на Рис. 3,а.

В ходе проведения вычислительного эксперимента будем изменять размер плавающего окна  $m$  и при его разных значениях оценим средний квадрат ошибки, значения которого получим с помощью формулы

$$\sqrt{\Delta S^2} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (S(k) - S^*(k))^2. \quad (19)$$

Оптимальной оценкой размера окна будет та, при которой значение среднего квадрата ошибки будет минимальным. Ниже приведены зависимости оценок значения среднего квадрата ошибок при различных значениях размера подвижного окна (Рис. 3,б).

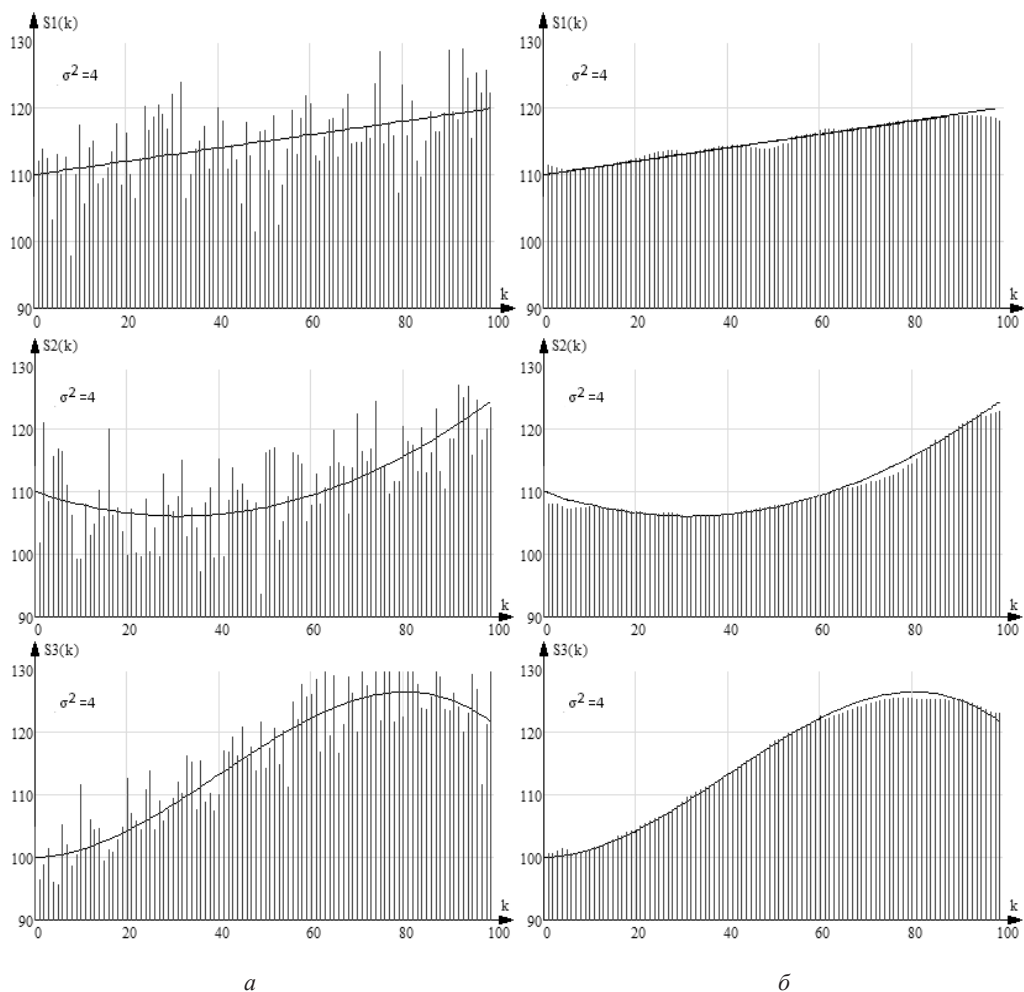


**Рис. 3. Детерминированные функции и ошибки их фильтрации:**  
а – функция, искаженная шумом; б – зависимости средней ошибки от ширины окна

По результатам анализа полученных графиков можно сделать вывод, что наиболее точной оценкой параметра  $m$  для линейной функции будет значение  $m = 6..8$ , для квадратичной и кубической –  $m = 9..11$ , так как при этих величинах средний квадрат ошибки уже имеет практически минимальное значение.

Дальнейшее увеличение размера окна нецелесообразно, потому что уменьшение ошибки будет несущественным, а затраты времени на расчет и нагрузка на ПК увеличатся. Для упрощения задачи моделирования выберем параметр  $m$  в интервале  $m = 9..11$  как для постоянных функций, так и для квадратичных и кубических.

*Результаты адаптивной фильтрации детерминированных функций.* Проведем исследование, результатом которого будет фильтрация детерминированных функций  $S_1(k)$ ,  $S_2(k)$ ,  $S_3(k)$  с применением адаптивного метода и их визуализацией в удобном для наблюдения и сравнения виде. Результаты представлены на Рис. 4: на Рис. 4,а отображены линейная, квадратичная и кубическая функции, искаженные шумом с параметром  $\sigma^2 = 4$ , на Рис. 4,б – те же функции, но отфильтрованные адаптивным методом.



**Рис. 4. Детерминированные функции:**  
а – искаженные шумом; б – отфильтрованные адаптивным методом

Из рисунков видно, что разработанный метод позволяет проводить фильтрацию сигналов в условиях отсутствия априорных данных с минимальными искажениями полученной функции относительно заданной, что дает возможность проводить визуально-аналитический анализ измерений и принимать решения о состоянии объекта контроля.



Оценим значения среднего квадрата ошибки по формуле (19). Результаты занесем в табл. 1.

Таблица 1

### Оценки ошибок фильтрации детерминированных функции

$\sqrt{\Delta S^2}$	Линейная функция	Квадратичная функция	Кубическая функция
Адаптивная фильтрация	0,511	0,695	0,759

*Оценка ошибок, проверка работоспособности метода.* С целью проведения сравнительного анализа результатов, полученных различными методами необходимо численно оценить ошибки адаптивного метода и проверить работоспособность разработанного алгоритма.

Одной из проблем описания нестационарных функций является возникновение существенной ошибки метода, что приводит к резкому снижению эффективности фильтрации методом подвижного окна. Вычислительные эксперименты показали стремительный рост ошибки метода при увеличении ширины подвижного окна. Применение метода адаптивной фильтрации позволяет минимизировать эти ошибки, а при отсутствии шумовых помех – свести их к нулю.

Для наглядности ниже представим данные, полученные при фильтрации детерминированных нестационарных функций для условия, что  $m = 10$  и  $\sigma_1^2 = 1$  (табл. 2).

Таблица 2

### Ошибки метода фильтрации подвижными окнами

$\sqrt{\Delta S^2}$	Постоянная	Линейная	Квадратичная	Кубическая
Окно 0-го порядка	0	0	0,035	0,040
Окно 3-го порядка	0,085	0,095	0	0
Адаптивная фильтрация	0	0	0	0

Результаты, полученные в ходе эксперимента, свидетельствует о том, что метод адаптивной фильтрации позволяет полностью устранить ошибки метода, которые возникали при описании постоянных и линейных функций подвижным окном 3-го порядка, а также квадратичных и кубических функций подвижным окном 0-го порядка. Применение адаптивной фильтрации позволяет путем перебора минимизировать ошибки метода и определять наиболее оптимальный порядок подвижного окна для заданной функции, что необходимо при условии, что эти функции неизвестны.

Приведем результаты эксперимента по оценке эффективности метода адаптивной фильтрации при выделении тренда в условиях его искажения белым дискретным шумом сравнительно с существующим, широко используемым, методом подвижного окна. Данные представим в виде зависимостей ошибок фильтрации от ширины окна (Рис. 5).

Численно оценим значения ошибок адаптивной фильтрации и метода подвижного окна при оптимальном значении  $m = 10$  для каждого метода (табл. 3).

Проанализировав зависимости (Рис. 5) и полученные результаты (табл. 3), можно сделать вывод, что наивысшей эффективностью обладает метод адаптивной фильтрации, причем он эффективен для описания всех видов рассмотренных функций, чего нельзя сказать про другие рассматриваемые методы. Например,

метод простого подвижного окна ефективен при фільтрації лінійних кривих, в той же час він малоєфективен при фільтрації квадратичних і кубічних функцій. Метод подвижного окна третього порядку ефективен при фільтрації кубічних і квадратичних кривих, але неефективен при роботі з лінійними функціями.

Таблиця 3

## Оценки ошибок фильтрации детерминированных функций

$\sqrt{\Delta S^2}$	Линейная функция	Квадратичная функция	Кубическая функция
Окно 0-го порядка	0,330	0,598	0,614
Окно 3-го порядка	0,584	0,445	0,423
Адаптивная фильтрация	0,230	0,315	0,345

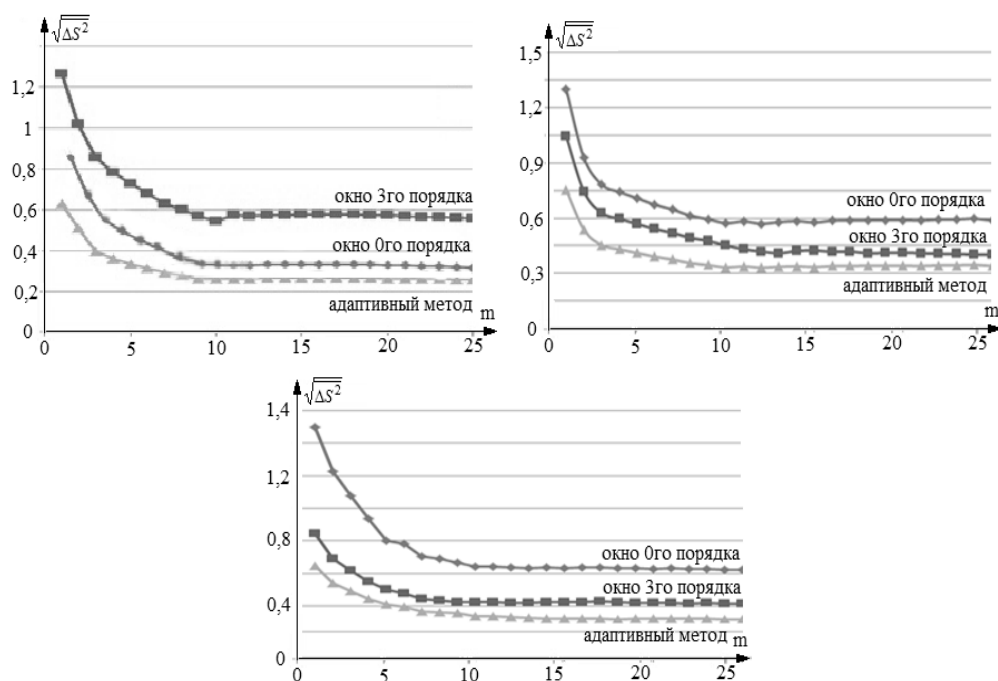


Рис. 5. Сравнение ошибок фильтрации:

*a* – линейная функция; *b* – квадратичная функция; *c* – кубическая функция

Очевидно, что применение метода адаптивной фильтрации позволяет выделять искомую функцию из всех составляющих модели со значительно меньшими значениями ошибок, чем при применении метода простого подвижного окна или же подвижного окна третьего порядка.

**Выводы и предложения.** В работе рассмотрены основы теории адаптивной фильтрации нестационарных стохастических выборок измерений. Представлены алгоритм метода, структурная схема адаптивной фильтрации, блок-схема разработанной компьютерной программы и результаты вычислительного эксперимента.

По результатам визуально-аналитического анализа рисунков и таблиц, полученных в процессе проведения вычислительных компьютерных экспериментов, можно сделать следующие выводы: применение метода адаптивной фильтрации успешно позволяет решать поставленную задачу

фльтрації сигналів в умовах відсутності априорних даних. Причому помилки фільтрації в даному випадку мінімальні для всіх видів детермінованих функцій, що дозволяє застосовувати його для описання більш складних з точки зору статистики закономірностей стохастических функцій.

### Библиографические ссылки

1. Грант, П. М. Адаптивные фильтры [Текст]: пер. с англ. / П. М. Грант [и др.]; под ред. К.Ф.Н. Коузана и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
2. Деревянко, И. И. Идентификация и классификация сварных соединений по результатам магнитометрических измерений. Применение адаптивной фильтрации [Текст] / И. И. Деревянко // Тез. докл. Междунар. форума студентов, аспирантов и молодых ученых / редкол.: Е. М. Сулима: – Д.: ДНУ, 2013. – С. 319–320.
3. Малайчук, В. П. Математическая дефектоскопия [Текст]: монография / В.П. Малайчук, А.В. Мозговой. – Д.: Систем. технологии, 2005. – 180 с.

*Надійшла до редколегії 29.05.2015*

УДК 534.321.9+534.512.1

**А. С. Жильцова, О. В. Саевич, Ф. А. Чмиленко**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

### **ВОЗДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА ПОВЕДЕНИЕ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СИСТЕМЫ АЛЬБУМИН–КРАСИТЕЛЬ**

Рассмотрено влияние ультразвукового поля на конформационные изменения молекул сывороточного альбумина в водных растворах. Показано, что ультразвуковая обработка растворов альбумина позволяет повысить степень связывания альбумина с бромкрезоловым зеленым в водных растворах.

*Ключевые слова:* кровь, ультразвук, альбумин, бромкрезоловый зеленый.

Розглянуто вплив ультразвукового поля на конфірмаційні зміни молекул сироваткового альбуміну у водних розчинах. Показано, що ультразвукова обробка розчинів альбуміну дозволяє підвищити ступінь зв'язування альбуміну з барвником (бромкрезоловим зеленим) у водних розчинах.

*Ключові слова:* ультразвук, альбумін, бромкрезоловий зелений.

The effect of ultrasonic field on the conformational serum albumin molecules changes in aqueous solutions was studied. It was shown that ultrasonic treatment of albumin solutions let increase the binding degree between albumin and the dye in aqueous solutions.

*Key words:* ultrasound, albumin, bromocresol green.

**Введение.** Общеизвестно, что ежегодно возрастает воздействие физических полей различной природы на организм человека, при этом наблюдаются патологические изменения в его системах. Одной из критических систем организма, наиболее определяющих эффект такого воздействия, является кровь, особенно ее основная транспортная составляющая – альбумин. Способность молекулы альбумина изменять конформацию под действием физических полей, в частности ультразвукового, позволила предположить, что определенная модификация его молекулы может повысить степень связывания системы белок–краситель. В химическом и клинико-биохимическом анализах широко применяется спектрофотометрическая методика, основанная на связывании альбумина с бромкрезоловым