

**Клевцов Сергей Иванович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: sergkmps@mail.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; кафедра микропроцессорных систем; к.т.н.; доцент.

**Klevtsov Sergey Ivanovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81, Petrovsky, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; the department of microprocessor systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 681.142

**Т.А. Пьявченко, А.В. Ярцев**

### **ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

*Перед запуском информационно-управляющей системы возникает необходимость в анализе работоспособности алгоритмов первичной обработки таких, как проверка на достоверность, сглаживание помех той же частоты, что и полезный сигнал. При этом следует выбрать алгоритмы и параметры сглаживания, обеспечивающие заданное ослабление шумов в случае, когда технологическая переменная изменяется во времени с заданной скоростью. Для анализа указанных алгоритмов в пакете MATLAB разработана программа с имитацией сигналов датчика и канала измерения, в которой случайным образом сформированы сигналы импульсной помехи, обрыва и короткого замыкания. Работа программного модуля «Проверка на достоверность» позволяет обнаружить указанные нарушения, сформировать достоверный сигнал и запустить модули сглаживания. Анализ представленных для исследования алгоритмов позволил установить связь между величинами временных интервалов: интервалом опроса датчиков, интервалом проверки на достоверность и временем сглаживания. Результатом исследований явились рекомендации по выбору алгоритма сглаживания в соответствии с требуемыми быстродействием и качеством сглаживания.*

*Первичная обработка аналоговых сигналов; имитационное моделирование; времена опроса; проверка на достоверность; сглаживание.*

**T.A. Pyavchenko, A.V. Yartsev**

### **PRE-PROCESSING OF LINEARLY VARYING TECHNOLOGICAL VARIABLE IN NOISY ENVIRONMENTS**

*Before start of information-control system is necessity of the analysis of working capacity of the primary processing algorithms such as checking of reliability and smoothing hindrances of the same frequency, as a useful signal. In this case, it is necessary to choose algorithms and smoothing parameters, which provide the required noise attenuation, when the process variable changes over time at a given speed. The program is developed for the analysis of the specified algorithms in package MATLAB with imitation of signals of the measuring instrument and the measurement channel, in which signals in the form of a impulse hindrance, breakage and short circuit are generated in a random way. Work of the program module «Check of reliability» allows to find out the specified infringement, to generate an authentic signal and to start smoothing modules. The analysis of algorithms for research has allowed us to establish relations between time intervals: result of researches was the choice of algorithm of smoothing on speed and quality of smoothing. Result of researches were recommendations for the chosen algorithm of smoothing according to demanded speed and quality of smoothing.*

*The primary processing of analog signals; imitating modeling; interrogation times; check on reliability; smooth.*

В процессе подготовки к работе реальной информационно-управляющей системы необходимо отработать алгоритмы первичной обработки информации (ПОИ), к которым относятся «Проверка на достоверность», «Скользящее среднее» и «Экспоненциальное сглаживание» [1]. Целью настоящей работы является исследование путем моделирования указанных алгоритмов с имитацией сигналов датчика и канала измерения. В отличие от работы [1], в которой рассматриваются сигналы с постоянным математическим ожиданием, в данной работе объектом изучения стали сигналы с линейным изменением математического ожидания технологической переменной. При этом предусматривается вывод на экран графиков сигналов с проверкой значения коэффициента ослабления  $\eta$ , выбором шага опроса  $T_{\text{опр}}$  и интервала проверки на достоверность  $T_{\text{дост}}$ , времени сглаживания и оценки  $\tau$  – временного запаздывания реализации указанных алгоритмов по отношению к реальному времени следования сигнала. Результатом работы указанных программных модулей должны быть рекомендации по параметрам сглаживания и соотношению перечисленных выше временных интервалов. В качестве исходных данных предлагается имитация сигналов канала измерения и датчика с погрешностью измерений, максимальная величина которой  $\pm \Delta x_{\text{max}}$  задается его паспортными данными.

Алгоритм решения поставленной задачи может быть представлен в виде блок-схемы (рис. 1). Если технологическая переменная по ходу процесса управления изменяется и известна допустимая скорость этого изменения  $V_D$ , то проверку на достоверность осуществляют по условию

$$\frac{|x(t_k) - x(t_k - T_v)|}{T_v} \leq V_D, \quad (1)$$

где  $k$  – номер отсчета;  $T_v$  – временной интервал проверки на достоверность по скорости изменения, кратный времени опроса датчика  $T_{\text{опр}}$ , например,

$$T_v = jT_{\text{опр}}, j \geq 3. \quad (2)$$

В случае нарушения условия (1) программой формируется достоверный сигнал (3) для использования его в дальнейших расчетах:

$$x(t_k)_{\text{дост}} = x(t_k \pm T_{\text{опр}} V_D). \quad (3)$$

В выражении (3) “+” – соответствует возрастающей технологической переменной, “–” – убывающей. Далее программа «Проверка на достоверность» переходит на более мелкий шаг опроса датчика

$$T_{\text{min}} \leq 0,1T_{\text{опр}}, \quad (4)$$

с повторной проверкой условия (1) в соответствии с выражением

$$\left. \begin{aligned} \frac{|x(t_k + T_{\text{min}}) - x(t_k - T_v)|}{T_v} \leq V_D \\ \frac{|x(t_k + 2T_{\text{min}}) - x(t_k - T_v)|}{T_v} \leq V_D \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

При этом заключение по проверке сигнала на достоверность может быть следующим:

- 1) возникла случайная импульсная помеха, если условие (1) не выполнено, а условия (5) выполнены;
- 2) если не выполнены условия (1) и (5), то определяется знак разности

$$\text{sign}(x(t_k + T_{\text{min}}) - x(t_k - T_v)) = ? \quad (6)$$

и программа делает вывод:

- 1) произошёл обрыв в канале измерения, если знак разности  $x(t_k + T_{\min}) - x(t_k - T_v)$  отрицательный;
- 2) произошло короткое замыкание при положительной разности  $x(t_k + T_{\min}) - x(t_k - T_v)$ .

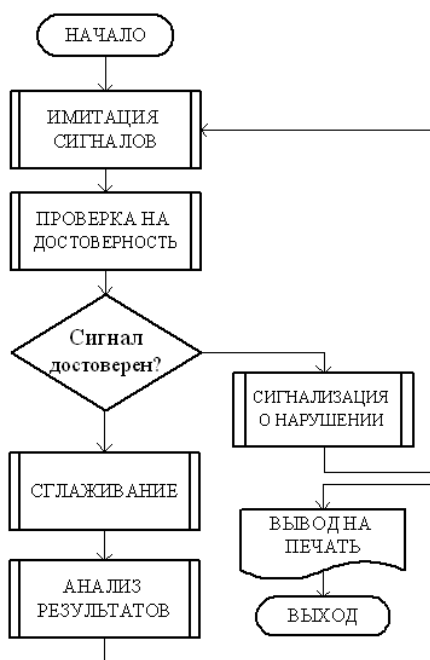


Рис. 1. Алгоритм исследования ПОИ

Принцип работы программы «Проверка на достоверность» становится понятным из временной диаграммы, показанной на рис. 2. Пояснения ко всем обозначениям на рис. 2 ясны из текста работы. Стрелками, обозначенными латинскими буквами, указаны описанные выше шаги. В частности, при определении короткого замыкания программа последовательно делает следующие шаги: *a* – определение нарушения условия (1), *b* – вычисление по (3) со знаком "±" достоверного значения вместо импульсного сигнала, превышающего допустимый уровень (на рисунке использован знак "+"), *c* и *d* – проверка условий (5) и регистрация параметров нарушения. При определении обрыва последовательность тех же шагов обозначена *e*, *f*, *i*, *j*. Результатом моделирования программы «Проверка на достоверность» является достоверный массив  $x(t_k)_{\text{дост}}$  с шагом  $T_{\text{опр}}$  линейно изменяющейся технологической переменной с дисперсией, определяемой погрешностью датчика.

В соответствии с рис. 1 следующим шагом моделирования и исследования алгоритмов первичной обработки является сглаживание, которое позволяет улучшить точность измерения. В работе [1] достаточно подробно описаны алгоритмы скользящего среднего и экспоненциального сглаживания. Поэтому обратим внимание на временную задержку, обусловленную конечным временем работы указанных алгоритмов с целью обеспечения требуемой точности измерения или, что – то же самое, требуемым  $\eta$  – коэффициентом ослабления шумов, присутствующих в измеряемом сигнале. Известно, что высокочастотные шумы обычно устраняются

благодаря присутствию в модуле ввода аналоговых сигналов фильтров низкой частоты. Алгоритмы сглаживания позволяют программным путем ослабить шумы измерения той же частоты, что и полезный сигнал. Для получения сглаженного сигнала необходимо время, которое, как показано в [1], зависит от величины коэффициента ослабления  $\eta$ . Для алгоритма скользящего среднего время задержки определяется количеством отсчетов, по которым вычисляется сглаженное значение, т.е. шириной скользящего окна  $M$ . После проверки на достоверность, получив  $k$ -й достоверный отсчет сигнала датчика можно продолжить обработку с шагом  $T_{\min}$  и, получив  $M$  отсчетов, вычислить сглаженное значение до появления следующего  $(k+1)$ -го отсчета с шагом  $T_{\text{опр}}$ . Следовательно, для скользящего среднего время вычисления сглаженного значения

$$\tau_M = \eta \cdot T_{\min} \tag{7}$$

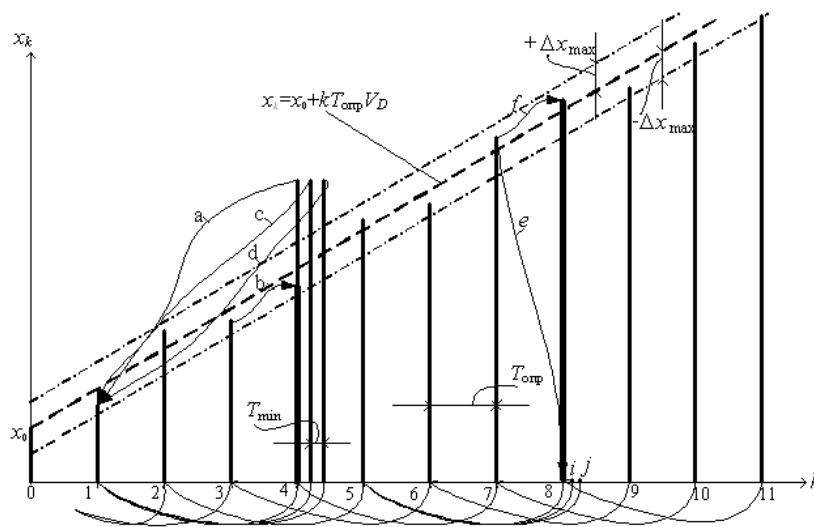


Рис. 2. Временная диаграмма работы алгоритма «Проверка на достоверность»

Для экспоненциального сглаживания, в котором величина параметра сглаживания  $\alpha$  определяет длительность переходных процессов и качество сглаживания. Согласно [1] связь между этим параметром и коэффициентом ослабления помехи выглядит как  $\alpha = \frac{2}{\eta + 1}$ , а первое сглаженное значение будет получено с заданной точностью спустя время

$$\tau_\alpha = \nu \cdot T_{\min} = 0,5 \frac{\ln \delta}{\ln(1 - \alpha)} T_{\min} \tag{8}$$

где  $\delta$  – задаваемая степень приближения вычисленного значения к заданному ослаблению. С увеличением точности вычислений  $\delta$  время  $\tau_\alpha$  будет возрастать, например, для  $\eta = 7$  и  $\delta = 10^{-3}$  время выдачи 1-го сглаженного значения составит:  $\tau_\alpha = 12 \cdot T_{\min}$ . В то время как при скользящем среднем  $\tau_M = 7 \cdot T_{\min}$ . Поэтому при повышенных требованиях к быстродействию алгоритмов ПОИ рекомендуем выбирать алгоритм скользящего окна.

Из сказанного выше можно записать следующее соотношение между интервалами времени:

$$T_{\min} \ll T_{\text{опр}} < T_{\nu}. \quad (9)$$

При этом если выбрать  $T_{\min} = 0,05T_{\text{опр}}$ , то к следующему опросу может быть выполнена проверка на достоверность с вычислениями (1), (5), (6), записью результатов и переключению, при необходимости, на резервный канал, и скользящее сглаживание с  $\eta \leq 7$ . Естественно, что в этом случае быстродействие используемых для ПОИ технических средств должно соответствовать условиям (9).

Представленные на рис. 3 результаты моделирования алгоритмов ПОИ в программе, созданной в пакете MATLAB, подтвердили высказанные выше теоретические предположения. Верхний график этого рисунка имитирует сигнал датчика, получаемый с шагом  $T_{\min}$  и с помехами в канале измерения в виде импульсной помехи, короткого замыкания и обрыва. Под ним представлен сигнал после работы программы «Проверка на достоверность», благодаря которой перечисленные выше кратковременные помехи были устранены. Шаг расчетов в программе равен  $T_{\text{опр}}$  и, как видим, взят в 20 раз больше  $T_{\min}$ . Оценка качества сглаживания показала, что отличие  $\Delta\eta$  экспериментального коэффициента ослабления  $\eta$  от заданного составляет

$$0,02 \leq \Delta\eta\% \leq 2,5.$$

Величина  $\Delta\eta$  будет тем меньше, чем больший массив отсчетов используется для статистической обработки погрешности измерения.

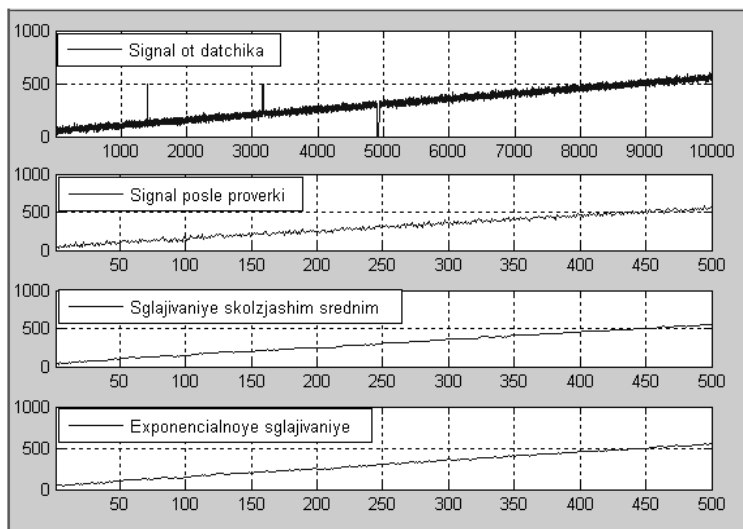


Рис. 3. Графики результатов моделирования алгоритмов ПОИ

С точки зрения требуемого быстродействия, т.е. требуемого количества отсчетов с минимальным шагом опроса  $T_{\min}$  рекомендуем использовать алгоритм скользящего среднего.

В системах управления низкочастотными технологическими объектами имеет смысл выбирать экспоненциальное сглаживание, которое даст лучшую точность при значительном коэффициенте ослаблении помех  $\eta$  за счет большего количества рекуррентных вычислений и малого параметра сглаживания  $\alpha$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко Т.А.* Алгоритмы первичной обработки информации // Известия ТРТУ. – 2005. – № 1(45). – С. 46-53.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

**Пьявченко Тамила Алексеевна** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: pta@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371689; к.т.н.; доцент; профессор кафедры систем автоматического управления.

**Ярцев Артём Викторович** – e-mail: artem91light@mail.ru; 347939, г. Таганрог, ул. Чехова, 322-а, кв.75; тел.: 89518477069; кафедры систем автоматического управления; студент.

**Ryavchenko Tamila Alekseevna** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: pta@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; cand. of eng. sc.; associate professor; professor the department of automatic control systems.

**Yartsev Artyom Viktorovich** – e-mail: artem91light@mail.ru; 322a, Chekhova street, Taganrog, 347939, Russia; phone: +79518477069; the department of automatic control systems; student.

УДК 621.81.25

**Ф.И. Кузнецов**

**ЭКСТРАПОЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В МОДУЛЕ СБОРА И ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ АНАЛОГОВЫХ ДАТЧИКОВ**

*Описывается экстраполяционный метод компенсации динамических погрешностей в модулях сбора и первичной цифровой обработки информации аналоговых датчиков. Предложенный метод позволяет компенсировать динамическую погрешность, связанная с затратами времени на вычисления и динамическую погрешность цифровых полиномиальных фильтров (статья ограничивается рассмотрением только КИХ-фильтров). В качестве экстраполяции применяются формулы, построенные на основе полинома Лагранжа. В завершении статьи приводится неравенство, которое позволяет предъявить требования к цифровому фильтру (значение групповой задержки и коэффициент ослабления шума) при априорно известных параметрах входного сигнала (скорость изменения сигнала и значение шума) и при конкретной степени экстраполяции или же наоборот, определить порядок экстраполяции и шаг дискретизации при использовании определенного цифрового фильтра.*

*Динамическая погрешность; цифровой фильтр; экстраполяция; сбор информации датчика.*

**F.I. Kuznetsov**

**EXTRAPOLATION METHOD OF COMPENSATION OF DYNAMIC ERRORS IN A MODULE COLLECTION AND PRIMARY DIGITAL PROCESSING OF ANALOG SENSORS**

*In this article describes the extrapolation method of compensation of dynamic errors in digital modules of data collection and processing of analog sensors. Compensated errors such as dynamic error associated with the time it takes to computing and dynamic error of polynomial digital filters (article is limited to only FIR filters). As an extrapolation formula used that are based on Lagrange polynomials. The result of this paper is a synthesis inequalities that make a characteristic to design a digital filter, leaned on a priori known parameters of the input signal (the rate of change and the level of noise), with subsequent extrapolation to compensate for the dynamic errors.*

*Dynamic error; the digital filter; the extrapolation; data collection sensor.*