

**Шерстобитов Александр Иванович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: sherstobitov.alexander@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +79882588736; кафедра теоретических основ радиотехники; к.т.н.; доцент.

**Федосов Валентин Петрович** – e-mail: vpfedosov@sfedu.ru; тел.: 88634371632; кафедра теоретических основ радиотехники; д.т.н.; профессор.

**Приходченко Владислав Александрович** – Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственной технической университет»; e-mail: vladincho@gmail.com; 346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147; тел.: +79882588736; кафедра радиоэлектронных систем.

**Тимофеев Дмитрий Витальевич** – e-mail: timofeev.dimitriy@gmail.com; тел.: +79882588736; кафедра радиоэлектронных систем.

**Sherstobitov Alexander Ivanovich** – Federal State Owner Autonomous Educational Establishments of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: sherstobitov.alexander@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79882588736; the department of fundamental of radio engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Fedosov Valentine Petrovich** – e-mail: vpfedosov@sfedu.ru; phone: +78634371632; the department of fundamental of radio engineering; dr. of eng. sc.; professor.

**Prihodchenko Vladislav Alexandrovich** – Institute of Services and Business of Don State Technical University; e-mail: vladincho@gmail.com; 147, Shevchenko street, Shahty, 346500, Russia; phone. +79882588736; the department radio electronic systems.

**Timofeev Dmitry Vitalievich** – e-mail: vladincho@gmail.com; phone. +79882588736; the department radio electronic systems.

УДК 621.3.087

**Ф.И. Кузнецов**

### **МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ**

*При обработке сигналов датчиков неизбежно возникают погрешности, связанные с шумами в аналоговых и цифровых цепях и наложением внешних помех. Для повышения точности измерения вводят первичную цифровую обработку, в общем случае состоящую из подавления импульсных помех (ИП) и цифровой фильтрации.*

*В статье приводятся оценки погрешностей ряда методов подавления ИП в масштабе реального времени, а также предлагается способ вычислений, который позволяет повысить точность модифицированного метода подавления ИП [1]. Показывается, что недостаточно подавленная ИП трансформируется на выход цифрового фильтра. Эта трансформированная ИП в несколько раз больше шумовой помехи.*

*Повышение точности достигается путем замены недостоверного значения экстраполированным значением, рассчитанным по отфильтрованным значениям переменной. В свою очередь, фильтрация оцифрованных значений приводит к групповой задержке, и как следствие, необходимо экстраполировать переменную на большое число шагов, что снижает точность экстраполяции. С другой стороны, чем сильнее подавляются помехи цифровой фильтрацией, тем выше точность экстраполяции.*

*Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования экстраполяции отфильтрованной переменной для подавления ИП в реальном масштабе времени в модулях сбора и обработки информации сигналов аналоговых датчиков.*

*Подавление импульсных помех; экстраполяция; первичная цифровая обработка.*

F.I. Kuznetsov

### THE MODIFIED METHOD OF SUPPRESSION OF PULSE NOISE WITH THE EXTENDED PRECISION IN REAL TIME

*At processing of signals of sensors inevitably there are the errors reason with noise in analog and digital chains and overlaying of external noise. For increase of accuracy of measurement enter primary digital processing, generally consisting of suppression of pulse noise (PN) and a digital filtration.*

*In article estimations of errors of some methods of suppression PN on the scale of real time are resulted. The way of calculations which allows to extended precision of the modified method of suppression PN [1] is offered. It is shown that insufficiently suppressed PN it is transformed on an exit of the digital filter. This transformed PN several times more than a noise.*

*Accuracy increase is reached by replacement of invalidation value on the extrapolated value calculated on filtered values. In turn, the filtration of the digitized values leads to a group delay, and as consequence, it is necessary to extrapolate a variable on more number of steps that reduces accuracy of extrapolation. On the other hand, the we suppression noise a digital filtration then extrapolation more accuracy.*

*The received results to allow a conclusion on possibility of use extrapolation of the filtered variable for suppression PN in real time in modules of collection and digital processing of the information of signals of analog sensors.*

*Suppression of pulse noise; extrapolation; primary digital processing.*

Цифровые модули ввода информации аналоговых датчиков являются неотъемлемой частью систем мониторинга и управления. Данные модули выполняют преобразование аналоговых сигналов тока и напряжения от датчиков в цифровой код (аналого-цифровое преобразование), производят первичную цифровую обработку оцифрованных данных (подавление импульсных помех, цифровая фильтрация и др.) и передают результаты обработки в сеть [2, 3]. Реальный выходной сигнал с датчика содержит собственные шумы отдельных элементов подсистемы датчика [4], внешние электромагнитные наводки от силовых элементов, таких как мощные реле, электродвигатели и др., внешние физические факторы (например, вибрация двигателя). Все эти факторы приводят к зашумлению полезного сигнала с датчика и, как следствие, влекут за собой неточности в мониторинге и/или управлении. В этой связи в первичную цифровую обработку вводят такие задачи, как подавление импульсных помех и частотная фильтрация.

Цель статьи привести оценку погрешностей методов подавления импульсных помех, относительно реального масштаба времени, а также описание способа вычислений, который позволяет повысить точность модифицированного метода подавления ИП [1].

Модифицированный метод основан на экстраполяции по достоверным оцифрованным значениям переменной. Повышение точности достигается путем замены недостоверного значения экстраполированным значением, рассчитанным по отфильтрованным значениям.

Блочная схема процесса первичной цифровой обработки, ориентированная на подавление импульсных помех и цифровую фильтрацию, представлена на рис. 1 и состоит из обнаружения импульсной помехи, подавления импульсной помехи, в случае обнаружения импульса и цифровой фильтрации.

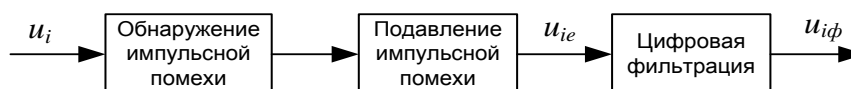


Рис. 1. Блочная схема процесса подавления импульсных помех и цифровой фильтрации

Самым распространённым и простым в реализации является метод, основанный на замене недостоверного значения на предыдущее достоверное. Если изменение текущего значения  $u_i$  по сравнению с предыдущим значением  $u_{i-1}$  превышает порог  $\nabla u$ :

$$|u_i - u_{i-1}| > \nabla u, \quad (1)$$

то текущему значению присваивается предыдущее достоверное значение

$$u_i := u_{i-1}. \quad (2)$$

Методическая погрешность данного метода определяется приращением оцифрованной переменной на шаге дискретизации

$$\varepsilon_o = \Delta T u'(\xi), \quad \xi \in [t_{i-1}; t_i].$$

Если переменная высокодинамична, то данный метод дает высокую погрешность. Для повышения точности подавления импульсных помех в работе [2] предложен модифицированный метод. В основе этого метода лежит принцип замены недостоверного текущего значения  $u_i$  на экстраполированное значение  $u_i := u_i^*$ .

Для экстраполяции переменной используются формулы многошаговой экстраполяции [5], построенные на основе полинома Лагранжа. Общая формула экстраполяции первого типа на  $k$  шагов имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_{1ri}^* &= \sum_{j=0}^r C_j \bar{u}_{(i+(j-r-1)k)} \\ C_j &= \frac{(r+1)!(-1)^{r-j}}{j!(r+1-j)!} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где  $r$  – порядок формулы экстраполяции.

Например, линейное ( $r = 1$ ) экстраполирование цифровых значений сигналов датчика на  $k = 1$  шаг вычисляется как

$$\bar{u}_{1ri}^* = 2\bar{u}_{i-1} - \bar{u}_{i-2}.$$

Суммарная погрешность экстраполяции на  $k$  шагов, с учетом шумов, эффекта квантования и методической погрешности, определяется следующим выражением [6]:

$$\varepsilon^* = \sum_{j=0}^r |C_j| \left( \varepsilon_{noise} + \frac{1}{2^{N_{АЦП}} - 1} \right) + (k\Delta T)^{r+1} u^{[r+1]}(\xi), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{noise}$  – максимальное значение шума,  $N_{АЦП}$  – разрядность аналого-цифрового преобразователя,  $\Delta T = t_i - t_{i-1}$  – шаг дискретизации.

Оценим погрешности изложенного модифицированного метода по результатам компьютерного моделирования. В качестве входного сигнала возьмем функцию вида

$$u(t) = 2^{N_{АЦП}-1} \sin(2\pi f t - \pi/2) + 2^{N_{АЦП}-1}, \quad (5)$$

где  $N_{АЦП} = 16$ ,  $f = 5$  Гц – частота сигнала,  $t$  – время.

Сигнал (5) с наложенными импульсными помехами представлен на рис. 2,а. На этот сигнал накладываются белый шум (рис. 2,б) со среднеквадратическим отклонением  $\sigma_{noise} = 0,1$  % и максимальным отклонением  $\varepsilon_{noise} = 0,3$  %, а также импульсные помехи. Частота дискретизации составляла  $f_d = 2$  кГц.

Накладываемые ИП имеют положительные и отрицательные значения. Погрешности модифицированного метода при экстраполяции линейной и квадратичной формулами ( $r = 1$  и  $2$  соответственно) представлены на рис. 3.

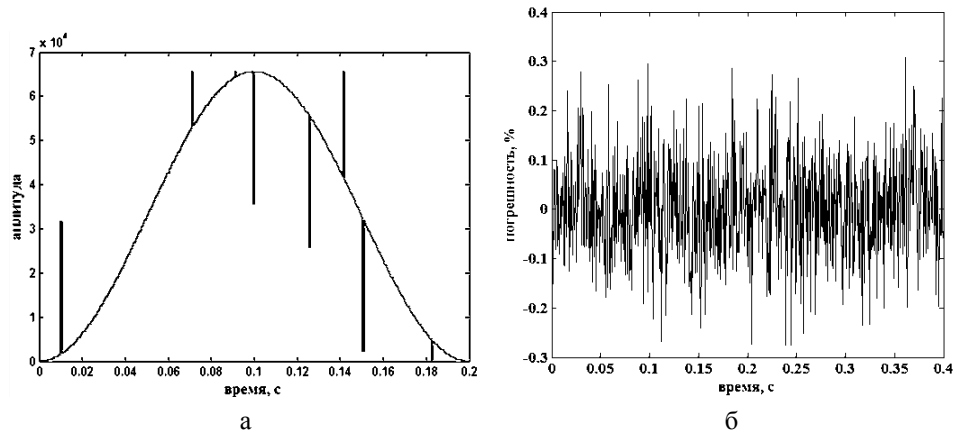


Рис. 2. Входная функция: а – с импульсными помехами; б – накладываемый шум

Анализируя графики погрешностей можно сделать вывод, что погрешность подавления импульсных помех в несколько раз выше шумовой составляющей. Это связано с тем, что шумы в оцифрованных данных приводят к повышению погрешности экстраполяции (4) и, следовательно, к увеличению погрешности подавления импульсной помехи модифицированным методом.

После подавления ИМ производится операция частотной фильтрации. Обобщенная формула КИХ-фильтра определяется выражением

$$u_j^{-\phi} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} b_n u_{i-n}^{-}$$

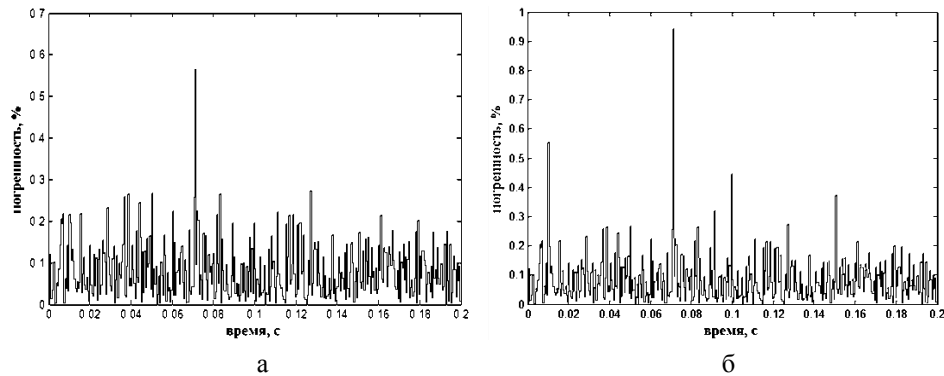


Рис. 3. Погрешности подавления импульсных помех экстраполяцией (3) на фоне шума: а – при  $r=1$ ; б – при  $r=2$

В качестве фильтра применялся КИХ-фильтр с коэффициентами  $b = [0,025769; 0,069330; 0,127620; 0,178277; 0,198435; 0,178277; 0,127620; 0,069330; 0,025769]$ . После цифровой фильтрации, шумовая составляющая (рис. 2,б) и ИП уменьшаются, но подавленные импульсные помехи «растягиваются» во времени (рис. 4).

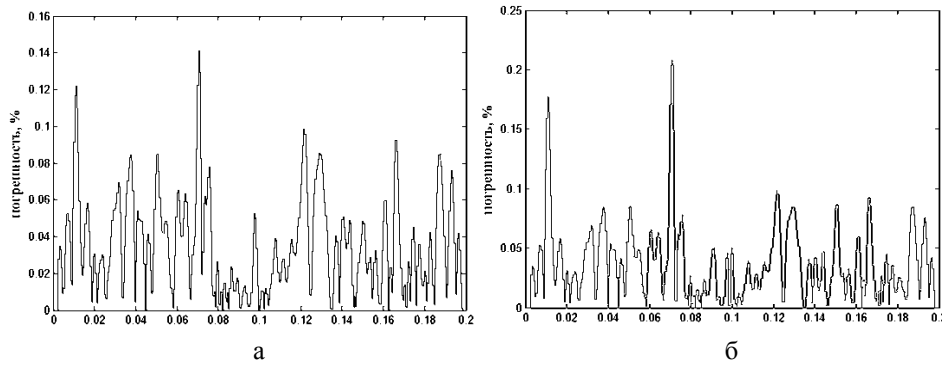


Рис. 4. Погрешности после цифровой фильтрации: а – при  $r=1$ ; б – при  $r=2$

Для увеличения точности модифицированного метода предлагается использовать для экстраполяции отфильтрованные переменные:

$$\bar{u}_{1ri}^{\phi*} = \sum_{j=0}^r C_j \bar{u}_{(i+(j-r-1)k)}^{\phi} \quad (6)$$

В случае обнаружения импульсной помехи, недостоверное входное значение заменяется на экстраполированное, рассчитанное по предыдущим отфильтрованным значениям. Процессная модель реализации данного метода представлена на рис. 5.

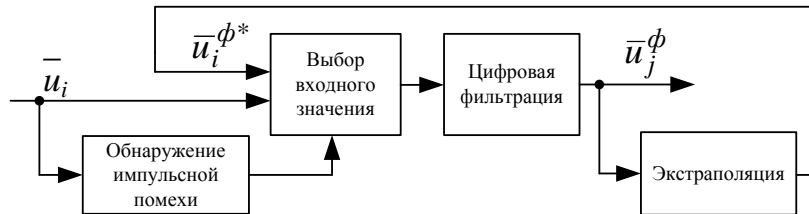


Рис. 5. Процессная модель модифицированного метода подавления импульсных помех с повышенной точностью

Отметим, что цифровые фильтры задерживают переменную, поступающую на вход фильтра, на время, равное групповой задержке фильтра  $\tau(\omega)$  [7]. Например, групповая задержка фильтра, скользящего среднего с окном в  $N$  дискретных отчетов, равна

$$\tau(\omega) = \Delta T \frac{(N-1)}{2}.$$

Таким образом, при подавлении импульсной помехи по отфильтрованным значениям необходимо учитывать это запаздывание переменной.

Так как для экстраполяции применяются формулы (3), то необходимо экстраполировать переменную на целое число шагов

$$k = \left[ \frac{\tau(\omega)}{\Delta T} \right]^{1/2} + 1, \quad (7)$$

где  $[\bullet]^{1/2}$  – операция округления по 1/2.

Суммарная погрешность экстраполяции по отфильтрованным значениям равна

$$\varepsilon_{\phi}^* = \sum_{j=0}^r |C_j| \cdot \left( \frac{\varepsilon_{noise}}{R} + \frac{1}{2^{N_{АПЧ}} - 1} \right) + (k\Delta T)^{r+1} u^{[r+1]}(\xi). \quad (8)$$

В формуле (8)  $R$  обозначает коэффициент ослабления шума цифровым фильтром. Отметим, с одной стороны, фильтрация уменьшает шумовую составляющую  $\varepsilon_{noise}$  в  $R$  раз, что приводит к снижению погрешности экстраполяции. С другой стороны, фильтрация порождает групповую задержку  $\tau(\omega)$  и, следовательно, на большее число шагов  $k$  необходимо экстраполировать переменную, что влечет за собой увеличение погрешности экстраполяции.

Для компьютерного моделирования реализации предложенного метода использовались параметры из предыдущего моделирования. Рассматриваемый фильтр имеет задержку в 4 отсчета, значит согласно (7), переменную необходимо экстраполировать на  $k = 5$  шагов. Результат моделирования представлен на рис. 6.

Анализ результатов моделирования показывает, что погрешность экстраполяции по фильтрованным значениям (см. рис. 6) дает меньшую погрешность ( $\varepsilon_{1\phi}^* = 0,125\%$  и  $\varepsilon_{2\phi}^* = 0,115\%$ ) в сравнении с модифицированным методом подавления импульсной помехи (рис. 4), максимальные погрешности которых составляют  $\varepsilon_{1\phi} = 0,14\%$  и  $\varepsilon_{2\phi} = 0,21\%$ .

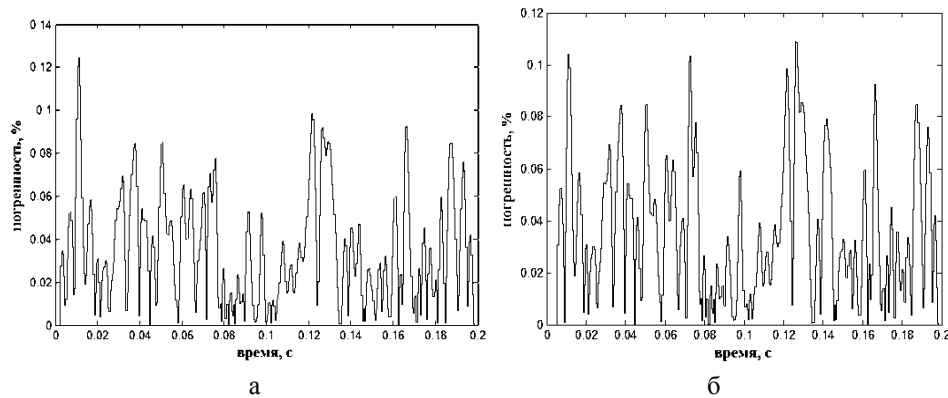


Рис. 6. Погрешности модифицированного метода с повышенной точностью:  
а – при  $r=1$ ; б – при  $r=2$

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования экстраполяции отфильтрованной переменной при подавлении импульсной помехи в модулях сбора и обработки информации сигналов аналоговых датчиков когда.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьявченко О.Н. Задачи первичной и вторичной обработки сигналов в локальных микрокомпьютерных системах. – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2008. – 85 с.
2. Пьявченко О.Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.
3. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.

4. Ачильдиев В.М., Басараб М.А., Бедро Н.А. и др. Методы первичной цифровой обработки сигналов микромеханического волнового твердотельного гироскопа // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2011. – Т. 9, № 2. – С. 39-55.
5. Пьявченко О.Н. Многошаговая экстраполяция значений переменных на основе полинома Лагранжа // Известия ТРТУ. – 2005. – № 9 (53). – С. 31-35.
6. Кузнецов Ф.И. Адаптивный метод экстраполяции оцифрованных значений датчиков физических величин с ограниченным форматом данных // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 142-145.
7. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

**Кузнецов Филипп Игоревич** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kfi@yandex.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; кафедра микропроцессорных систем; аспирант.

**Kuznetsov Filipp Igorevich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kfi@yandex.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; the department of microprocessor systems; postgraduate student.

УДК 519.23/25

**М.К. Кузнецов**

## **МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОСИГНАЛОВ**

*Рассмотрены основные методы цифровой обработки видеосигналов, которые применяются при работе с потоками видеоинформации. Рассмотрены подходы к обработке видеосигналов. Также приведены примеры использования различных методов цифровой обработки видеосигналов, перечислены основные принципы и условия использования тех или иных методов обработки видеосигналов. Рассмотрены основные задачи видеоаналитики.*

*Статья изложена с целью быстрой информативной адаптации читателя для понимания изложенного в ней материала. В начале статьи даются определения простейших понятий, используемых при работе, связанной с цифровой обработкой данных. Далее осуществлен переход к описанию конкретных методов обработки потока видеоданных, принципа работы, положительных и отрицательных моментов каждого метода. Осуществлен анализ каждого метода в отдельности. Подведены краткие итоги рассмотрения методов цифровой обработки видеосигналов.*

*Видеосигнал; методы; цифровая обработка видеосигналов.*

**М.К. Kuznetsov**

## **METHODS OF DIGITAL VIDEO SIGNAL PROCESSING**

*This article describes the main methods of digital video processing, which are used when working with streams of video. Researched the approaches to the processing of video signals. It also shows examples of using different methods of digital video processing, it shows the basic principles and nuances of using certain methods of processing video signals. The main way highlights the major challenges of video analytics.*

*The article outlined the quick adaptation informative reader to understand the material contained in it. In the beginning of this article, we define the simplest of terms used in work related to the processing of digital data. Next step relates with the transition to a description of the specific methods of processing of the video stream, the operating principle, the positive and negative aspects of each method. Also this article gives the analysis of each method separately. At the finishing, were briefly reviewed the results of digital video processing.*

*Video signal; methods; digital video processing.*