

Таким образом, представленное решение задачи оптимального комплектования батарей химических элементов, производимое методом селективной сборки на основе смешанного алгоритма, обеспечивает удовлетворение требованиям высокого качества изделия, в то же время сокращая затраты на производство путем уменьшения незаконченного производства и неиспользованных деталей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаев А.С., Горский В.Б. Система оптимизации на генетических алгоритмах // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2007. – № 3. – С. 49-58.
2. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач: Учебное пособие / Под ред. Я.Е. Львовича. – Воронеж, 1995. – 348 с.
3. Тенев, В.А. Применение генетических алгоритмов с вещественным кроссовером для минимизации функций большой размерности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2006. – № 1 (7). – С. 93-107.

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

**Бородулина Екатерина Николаевна** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kaf\_sau@mail.ru; 344090 г. Ростов-на-Дону, Мильчакова, 10, каб. 505; тел.: 88632696991; кафедра «Системный анализ и управление»; аспирантка; преподаватель.

**Корохов Владимир Васильевич** – кафедра «Системный анализ и управление»; к.т.н.; доцент.

**Шабаршина Ирина Сергеевна** – кафедра «Системный анализ и управление»; к.м.н.; доцент.

**Borodulina Ekaterina Nikolaevna** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kaf\_sau@mail.ru; 10, Milchakova street, of. 505, Rostov-on-Don, 344090 Russia; phone: +78632696991; the department «Systems analysis and control»; postgraduate student and instructor.

**Korokhov Vladimir Vasilievich** – the department «Systems analysis and control»; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Shabarshina Irina Sergeevna** – the department «Systems analysis and control»; cand. of math. sc.; associate professor.

УДК 681.3.01

**С.И. Клевцов**

#### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА**

*Разработана модель прогнозирования изменений физической величины в реальном времени, базирующаяся на использовании линейного адаптивного фильтра. В основе фильтра лежит модель авторегрессии. Предложена схема выполнения прогнозирования, которая заключается в реализации процедуры, состоящей из трех этапов. На первом этапе осуществляется выбор начальной точки на поверхности минимизации квадрата погрешности прогноза. Второй этап посвящен определению направления движения по поверхности с целью минимума ошибки. На заключительном этапе выполняется определение на каждом шаге движения новых откорректированных весов вектора, который минимизирует погрешность прогноза. Проведены исследования возможности использования адаптивного временного ряда для прогнозирования изменения быстропеременной физической*

величины на основе данных об изменении ускорения, снимаемых с 3-осевого акселерометра, установленного на автомобиле. Разработанная модель и методика прогнозирования могут быть использованы при осуществлении предварительной оценки состояния параметра технического объекта.

*Прогнозирование; модель; реальное время; технический объект.*

**S.I. Klevtsov**

**FORECASTING OF CHANGES OF SIZE PHYSICAL IN REAL TIME  
WITH USE OF THE LINEAR ADAPTIVE FILTER**

*The model is developed for forecasting of changes of size physical in the real time, based on use of the linear adaptive filter. At the heart of the filter the autoregress model lies. The scheme of performance of forecasting which consists in realisation of the procedure consisting of three stages is offered. At the first stage the index point choice on a surface for minimisation of a square of an error of the forecast is carried out. The second stage is devoted definition of a direction of movement on a surface for the purpose of an error minimum. At the final stage definition on each step of movement of the new modified scales of a vector which minimises a forecast error is carried out. Researches of possibility of use of an adaptive time number for forecasting of change of physical size on the basis of the data about change of the acceleration, removed with 3 axial акселерометра, established on the car are conducted. The developed model and a forecasting technique can be used at realisation of the tentative estimation defining a condition of parametre of technical object.*

*Forecasting; model; real time; technical object.*

При использовании временных рядов [1] для прогнозирования значений параметров технических объектов и физических переменных в реальном времени необходимо учитывать особенности съема информации для прогнозирования, связанные с цифровой обработкой сигналов. Поскольку шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим, таким, что изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов будет незначительным, при построении модели временного ряда можно применить линейные адаптивные фильтры. Это позволит повысить точность прогнозирования и снизить погрешности. Снижение погрешности может быть обеспечено посредством компенсации влияния внешних факторов на показания датчика с помощью использования специальных алгоритмов обработки данных [2]. Причем данным процессом, в отличие от временных рядов в экономике, можно управлять. В отличие от широко используемого экспоненциального сглаживания [1, 3], горизонт прогнозирования в этом случае обычно составляет шаг съема информации.

Поскольку операция линейной фильтрации, по сути, заключается в вычислении взвешенной суммы предыдущих вычислений, рассмотрим модель вида [1]

$$S = \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i, \quad (1)$$

где  $S$  – взвешенная средняя;  $\omega_i$  – вес, приписываемый  $i$ -му наблюдению;  $x_i$  – значение переменной, которое снято с датчика в момент  $t$ ;  $l$  – количество наблюдений, используемое при расчете суммы  $S$ .

Прогноз следующего члена ряда может быть получен с помощью взвешенной суммы  $l$  прошлых членов ряда:

$$\hat{x}_1(t) = S, \quad (2)$$

где  $S$  – взвешенная средняя согласно (1).

Выражение (2) представляет собой авторегрессию порядка  $l$ .

Погрешность прогноза на 1 шаг интервала дискретизации определяется выражением

$$\varepsilon_{t+1} = x_{t+1} - \hat{x}_1(t) = x_{t+1} - \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i.$$

Будем минимизировать квадрат погрешности прогноза:

$$\varepsilon_{t+1}^2 = x_{t+1}^2 - 2 \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i x_{t+1} + \sum_{i=t-l+1}^t \sum_{j=t-l+1}^t \omega_i \omega_j x_i x_j. \quad (3)$$

При поиске минимума функции (3) воспользуемся методом наискорейшего спуска.

Схема заключается в реализации следующих этапов:

1. Выбор начальной точки на поверхности  $\Omega$ , которая определяется выражением (3).
2. Определение направления движения по поверхности с целью минимума ошибки.
3. Определение на каждом шаге движения новых откорректированных весов вектора  $W$ , который минимизирует выражение (3).

Согласно [1] корректировка весов может осуществляться в соответствии с соотношением

$$W_{t+1} = W_t - k \cdot \nabla(\varepsilon_{t+1}^2), \quad (4)$$

где  $W_t$  – вектор весов на момент времени  $t$ ;  $W_{t+1}$  – новый вектор весов в момент времени  $t+1$ ;  $k$  – коэффициент адаптации ( $k > 0$ );  $\nabla(\varepsilon_{t+1}^2)$  – градиент  $\varepsilon_{t+1}^2$ , вектор.

Градиент с отрицательным знаком указывает на кратчайшее направление к достижению минимума поверхности (3):

$$\nabla(\varepsilon_{t+1}^2) = -2\varepsilon_{t+1} \cdot \vec{X},$$

где  $\vec{X}$  – вектор значений переменной.

Тогда (4) преобразовывается в

$$\vec{W}_{t+1} = \vec{W}_t + 2k\varepsilon_{t+1}\vec{X}.$$

Схема прогноза выглядит следующим образом:

1. На момент  $t$  имеем измеренное значение  $x_t$ . Прогноз  $\hat{x}_1(t)$  определяется по формуле

$$\hat{x}_1(t) = \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i.$$

2. При измерении значения  $x_{t+1}$  определяем ошибку прогноза по формуле

$$\varepsilon_{t+1} = x_{t+1} - \sum_{i=t-l+1}^t \omega_i x_i.$$

3. Определяем новые коэффициенты  $\omega_i^H$ , т.е. получаем вектор

$\vec{W}_{t+1} = \{\omega_1^H, \omega_2^H, \dots, \omega_l^H\}^T$  по формуле

$$\vec{W}_{t+1} = \vec{W}_t + 2k\varepsilon_{t+1} \cdot \vec{X},$$

где  $\vec{W}_t = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_l\}^T$ ,  $\vec{X}$  – вектор  $l$  последних измерений, т.е.

$$\vec{X} = \{x_{t-l+1}, x_{t-l+2}, x_{t-l+3}, \dots, x_t\}.$$

4. Прогнозируемое значение  $\hat{x}_1(t+1)$ , т.е. на момент  $t+2$  определяется по формуле

$$\hat{x}_1(t+1) = \sum_{i=t-l+2}^{t+1} \omega_i x_i.$$

Исследование возможности использования адаптивного временного ряда для прогнозирования изменения быстропеременной физической величины проводилось на основе данных об изменении ускорения, снимаемых с 3-осевого акселерометра, установленного на автомобиле [4, 5, 6]. Зависимость продольной составляющей (в направлении движения) ускорения автомобиля во время движения от времени характеризовал существенный разброс значений. Шаг съема данных составлял  $h = 0,015625$ с. Моделирование проводилось на временном участке от 8 до 9 с. В процессе моделирования параметр адаптации  $k$  изменялся от 0,05 до 2,0. Прогнозирование проводилось на один интервал считывания значений ускорения (шаг прогнозирования  $\tau = h$ ). Исходные данные использовались без предварительной обработки (без усреднения и обработки выбросов). Результаты моделирования приведены на рис. 1–3 для  $k=0,5; 2,0; 0,05$ .

Анализ результатов моделирования показывает, что с увеличением параметра  $k$  прогнозирующая кривая более точно повторяет контур исходной зависимости на участке резкого роста с небольшим сглаживанием на остальных участках (рис. 1, 2). При этом прогноз осуществляется с запаздыванием.

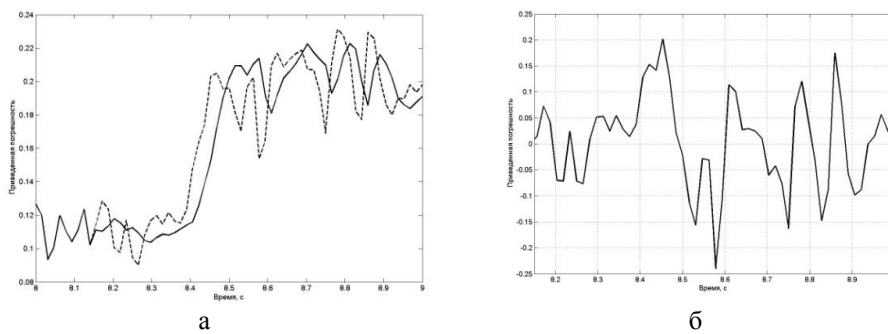


Рис. 1. Графики изменения ускорения (сплошная линия), прогнозного значения ускорения (штрихованная линия) (а) и график приведенной погрешности изменения ускорения (б) при  $k = 0,5$

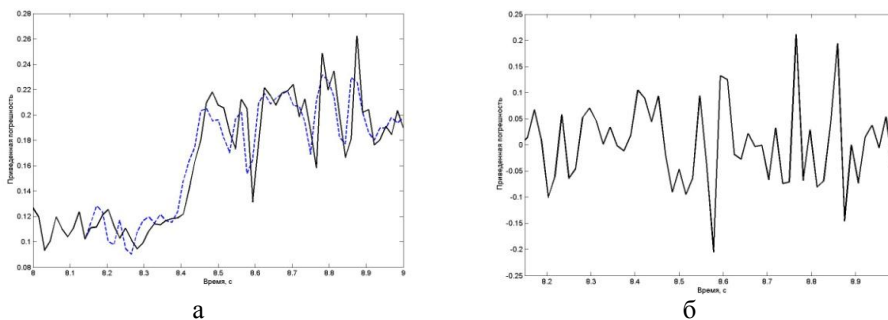


Рис. 2. Графики изменения ускорения (сплошная линия) и прогнозного значения ускорения (штрихованная линия) (а) и график приведенной погрешности изменения ускорения (б) при  $k = 2,0$

При малых значениях параметра  $k$  модель работает как сглаживающий фильтр (рис. 3).

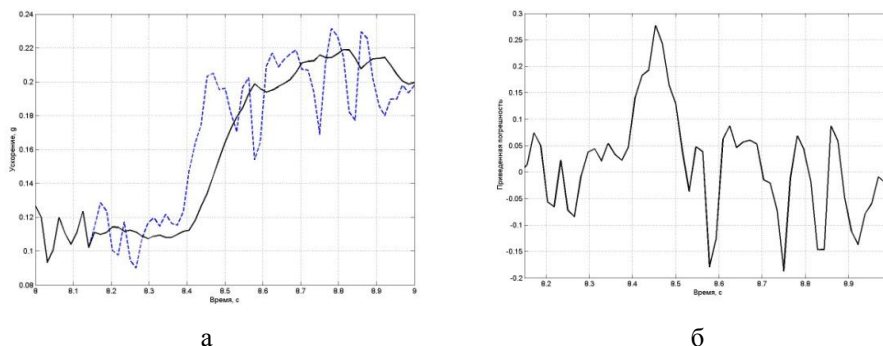


Рис. 3. Графики изменения ускорения (сплошная линия) и прогнозного значения ускорения (штрихованная линия) (а) и график приведенной погрешности изменения ускорения (б) при  $k = 0,05$

При  $k = 0,05$  кривая, получаемая в результате применения модели, повторяя в целом контур исходной зависимости, сглаживает имеющиеся в исходной зависимости резкие всплески сигнала.

Сравнение результатов прогнозирования, проведенных на одной и той же экспериментальной выборке данных на один шаг прогнозирования с помощью данной модели и модели на основе многократного экспоненциального сглаживания [3], показывает, что обе модели в целом эквивалентны с позиции приведенной погрешности. В процессе моделирования приведенная погрешность не превышала значения 0,3 (см. рис. 2), снижаясь до значения 0,2 (см. рис. 3) при использовании параметра  $k$  в диапазоне ориентировочно от 0,5 до 2,0.

Разработанная модель и методика прогнозирования могут быть использованы при осуществлении предварительной оценки состояния параметра технического объекта [7].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
2. Клевцов С.И. Мультиотрезочная пространственная аппроксимация градуировочной характеристики микропроцессорного датчика // Метрология. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2011. – Вып. 7. – С. 26-36.
3. Клевцов С.И. Особенности выбора параметров настройки модели сглаживающего временного ряда для осуществления краткосрочного прогнозирования изменения физической величины // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 133-138.
4. Terry D.Day and Allen R.York. Validation of DyMESH for Vehicle vs Barrier Collisions. – SAE Paper № 2000-01-0844.
5. Terry D.Day. Validation of the SIMON Model for Vehicle Handling and Collision Simulation – Comparison of Results with Experiments and Other Models. – SAE Paper № 2004-01-1207.
6. Никонов В.Н. Проверка метода DyMesh. Центр независимой экспертизы на автомобильном транспорте «ЦНЭАТ». Институт механики Уфимского научного центра РАН. – <http://www.cneat.ru/nikonov-9.htm>.
7. Клевцов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 43-48.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютюков.

**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.*