

**№ 6 (191)**

**Раздел IV. Методы, модели и алгоритмы обработки информации**

УДК 681.3.062

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-149-159

**С.И. Клевцов, Д.А. Иванов**

**КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

*Рассматриваются перспективы использования временных рядов для прогнозирования изменений технического параметра в реальном времени. Задача заключается в оценке динамики тренда параметра. Прогнозная оценка осуществляется с использованием простых адаптивных моделей. Это условие связано с реализацией процедуры прогнозирования в микроконтроллере системы мониторинга объекта, причем процедура должна проводиться в фоновом режиме. В качестве основных моделей выбраны адаптивные полиномиальные модели первого и второго порядка, базирующиеся на методе многократного экспоненциального сглаживания. Модели были модифицированы для адаптации к особенностям процесса вычислений в микроконтроллере. На их основе формируются достаточно простые алгоритмы и программы, которые характеризуются незначительными вычислительными затратами и легко реализуются в микроконтроллере в фоновом режиме. Исходные данные, значения ускорения по трем осям, были получены с использованием трехосевого акселерометра, установленного на автомобиле. Данные перед моделированием не подвергались предварительной обработке. Однако в процессе моделирования процесса прогнозирования в режиме реального времени из набора данных исключались выбросы. Прогноз осуществлялся на один шаг съема информации с датчика. Оценка моделей проводилась на одной и той же экспериментальной выборке. Сравнение результатов прогнозирования показало, что адаптивная полиномиальная модель второго порядка в целом более предпочтительна с точки зрения приведенной погрешности. Обе модели можно использовать для оценки изменения параметра на произвольное число интервалов прогнозирования. Эффективность использования моделей для задачи прогнозирования в значительной степени зависит от определения параметров адаптации, таких как постоянная сглаживания и начальные оценки коэффициентов модели временного ряда. В работе рассмотрены особенности поведения моделей и определены правила подбора параметров адаптации в зависимости от характера изменения технического параметра во времени.*

*Временной ряд; полиномиальная модель; прогнозирование; технический параметр; микропроцессор; реальное время.*

**S.I. Klevtsov, D.A. Ivanov**

**SHORT-TERM FORECASTING OF TECHNICAL PARAMETER BASED ON ADAPTIVE POLYNOMIAL MODELS OF TIME SERIES**

*The prospects of using time series for forecasting changes in a technical parameter in real time are considered. The task is to evaluate the dynamics of the parameter's trend. Forecasting is carried out using simple adaptive models. This condition is associated with the implementation of the prediction procedure in the microcontroller of the object monitoring system, and the procedure should be carried out in the background. As the basic models, adaptive polynomial models of the first and second order are chosen, based on the method of multiple exponential smoothing. Models*

were modified to adapt to the features of the calculation process in the microcontroller. They are based on fairly simple algorithms and programs which are characterized by low computational costs and easily implemented in the microcontroller in the background. The initial data, the acceleration values for the three axes, were obtained using a three-axis accelerometer mounted on the car. The data before the simulation were not pre-processed. However, in the process of modeling the real-time forecasting process, emissions were excluded from the data set. The forecast was carried out by one step of the information retrieval from the sensor. The models were evaluated on the same experimental sample. A comparison of the prediction results showed that the second-order adaptive polynomial model as a whole is more preferable from the point of view of the reduced error. Both models can be used to estimate the variation of a parameter by an arbitrary number of prediction intervals. The efficiency of using models for the prediction task depends to a large extent on the definition of the adaptation parameters, such as the smoothing constant and the initial estimates of the coefficients of the time series model. In this paper the features of model behavior are considered and the rules for selecting the adaptation parameters are determined depending on the nature of the change in the technical parameter over time.

*Time number; polynomial model; forecasting; technical parameter; microprocessor; real time.*

**Введение.** Актуальность задачи оценки технического параметра в реальном времени связана с возможностью раннего обнаружения нештатных ситуаций при работе технического объекта и своевременного реагирования на недопустимые изменения [1–8]. Для прогнозирования значений технического параметра в реальном времени в микроконтроллерной системе с использованием временных рядов необходимо учитывать особенности съема информации, связанные с цифровой обработкой сигналов [9–12]. Шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим [11–12]. Таким образом, изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов будет незначительным [13, 14]. В этом случае можно использовать при построении модели временного ряда полиномиальные модели первого и второго порядка [15–23]. Небольшой шаг дискретизации позволит повысить точность прогнозирования за счет большой плотности исходных данных на ограниченном временном интервале, что важно для реализации адаптационных механизмов моделей [17, 21, 24]. Уменьшение погрешности также связано с повышением точности преобразования сигнала в микропроцессорном датчике [25, 26].

Полиномиальные модели первого и второго порядка формируют простые алгоритмы и характеризуются небольшими вычислительными затратами на реализацию [14, 17, 24]. Поэтому эти модели целесообразно использовать для выполнения прогнозной оценки значений параметров технического объекта с помощью микроконтроллерной системы. В этом случае прогнозная оценка изменения параметра осуществляется в фоновом режиме и не мешает выполнению основных функций микроконтроллерной системы. В связи с этим также целесообразно, чтобы поступающие с датчика данные о значениях параметра не подвергались в микроконтроллере предварительной обработке, за исключением отбраковки выбросов [1, 3, 10, 13, 14]. Более глубокая обработка может потребовать дополнительных временных затрат на реализацию. Полученные в результате выполнения процедуры прогнозные значения параметров могут использоваться для ранней предварительной оценки тенденций изменения состояния технического объекта [1, 3, 7, 13].

В настоящей статье рассмотрены особенности адаптации моделей временных рядов и результаты их использования для определения прогнозируемых значений параметров.

**Постановка задачи.** Пусть значения контролируемого параметра технического объекта  $y(t)$  измеряются в дискретные моменты времени с постоянным шагом  $h$ . В результате получим массив  $Y = \{y_i\}_{i=0}^n$  измеренных значений параметра

$y_i = y(t_i)$  в точках  $t_0, t_1, \dots, t_n$ ;  $t_i = t_{i-1} + h$ . Необходимо определить значение параметра  $y$  в точках  $T + kh$ ,  $k = 1, K$ , где  $T$  – текущее значение времени, относительно которого делается прогноз на  $k$  – шагов или на промежуток времени  $\tau = kh$ , называемый временем упреждения или горизонтом прогнозирования [16, 17], а  $K$  – число, определяющее диапазон прогнозирования.

**Адаптивные полиномиальные модели временных рядов.** Будем рассматривать горизонт прогнозирования для моделей начиная с величины, равной шагу сьема информации  $\tau = h$ .

В качестве моделей на основе сглаживающих временных рядов для аппроксимации изменения параметра  $y$  во времени будем использовать адаптивные полиномиальные модели первого и второго порядка [15, 16].

Полиномиальная модель первого порядка (далее модель 1):

$$y(t) = a_1 + a_2 t. \quad (1)$$

Тогда прогнозное значение  $y$  в точках  $\tau$ :

$$\tilde{y}(T + \tau) = (2 + \frac{\alpha}{\beta} \tau) S_T - (1 + \frac{\alpha}{\beta} \tau) S_T^{[2]},$$

где  $S_T$  и  $S_T^{[2]}$  – экспоненциальные средние, которые определяются на момент  $T$  по формулам:

$$S_T = \alpha y_T + \beta S_{T-1}, \quad S_T^{[2]} = \alpha S_T + \beta S_{T-1}^{[2]},$$

$\alpha$  – постоянная сглаживания, которую необходимо подбирать,  $\beta = 1 - \alpha$ . Для того, чтобы запустить процесс расчета необходимо задать начальные значения  $S_0$  и  $S_0^{[2]}$ :

$$S_0 = \bar{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0}, \quad S_0^{[2]} = \bar{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0}.$$

Здесь  $\bar{a}_{1,0}$  и  $\bar{a}_{2,0}$  – начальные оценки  $a_1$  и  $a_2$  в (1).

Полиномиальная модель второго порядка (далее модель 2):

$$y(t) = a_1 + a_2 t + \frac{1}{2} a_3 t^2. \quad (2)$$

Тогда прогнозное значение  $y$  в точках  $\tau$ :

$$\begin{aligned} \tilde{y}(T + \tau) = & (6\beta^2 + (6 - 5\alpha)\alpha\tau + \alpha^2\tau^2) \frac{S_T}{2\beta^2} - (6\beta^2 + 2(5 - 4\alpha)\alpha\tau + 2\alpha^2\tau^2) \frac{S_T^{[2]}}{2\beta^2} + \\ & + (2\beta^2 + (4 - 3\alpha)\alpha\tau + \alpha^2\tau^2) \frac{S_T^{[3]}}{2\beta^2}, \end{aligned}$$

где  $S_T$ ,  $S_T^{[2]}$  и  $S_T^{[3]}$  – экспоненциальные средние, которые определяются на момент  $T$  по формулам:

$$S_T = \alpha y_T + \beta S_{T-1}, \quad S_T^{[2]} = \alpha S_T + \beta S_{T-1}^{[2]}, \quad S_T^{[3]} = \alpha S_T^2 + \beta S_{T-1}^{[3]},$$

$\alpha$  – постоянная сглаживания, которую необходимо подбирать,  $\beta = 1 - \alpha$ . Для того, чтобы запустить процесс расчета необходимо задать начальные значения  $S_0$ ,  $S_0^{[2]}$ ,  $S_0^{[3]}$ :

$$S_0 = \bar{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0} + \frac{\beta(2-\alpha)}{2\alpha^2} \bar{a}_{3,0},$$

$$S_0^{[2]} = \bar{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0} + \frac{\beta(3-2\alpha)}{\alpha^2} \bar{a}_{3,0},$$

$$S_0^{[3]} = \bar{a}_{1,0} - \frac{3\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0} + \frac{3\beta(4-3\alpha)}{2\alpha^2} \bar{a}_{3,0}.$$

Здесь  $\bar{a}_{1,0}$ ,  $\bar{a}_{2,0}$ ,  $\bar{a}_{3,0}$  – начальные оценки  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  в (2).

**Настройка адаптивных полиномиальных моделей временных рядов.** Для эффективного использования моделей 1 и 2 необходимо определить параметры адаптации, т.е. постоянную сглаживания  $\alpha$  и начальные оценки коэффициентов моделей в выражениях (1) и (2) таким образом, чтобы период адаптации был несущественным для процедуры прогнозирования.

Для определения влияния параметров адаптации на характер периода адаптации в качестве исходных зависимостей рассматривались полиномы первой и второй степени:

$$x1(t) = b_1 + b_2 t; \quad (3)$$

$$x2(t) = b_1 + b_2 t + \frac{1}{2} b_3 t^2. \quad (4)$$

Для линейной зависимости (3) при равенстве коэффициентов  $\bar{a}_{1,0}$ ,  $\bar{a}_{2,0}$  моделей 1 и 2 соответствующим коэффициентам  $b_1$ ,  $b_2$  был зафиксирован значительный по времени период адаптации (рис. 1). Коэффициент  $\bar{a}_{3,0} = 0,05$ ,  $\alpha = 0,1$ . Переходный процесс в случае линейной зависимости у модели 1 больше, чем у модели 2 при малых  $\bar{a}_{3,0}$  (рисунок 1а). Уменьшение коэффициента  $\bar{a}_{3,0}$  не приводит к существенным изменениям. При увеличении коэффициента  $\bar{a}_{3,0}$  ( $\bar{a}_{3,0} = 0,5$ ) модели 2 результат обратный. Существует величина коэффициента  $\bar{a}_{3,0}$  такая, когда модели 1 и 2 практически сливаются. В данном случае  $\bar{a}_{3,0} = 0,2$ .

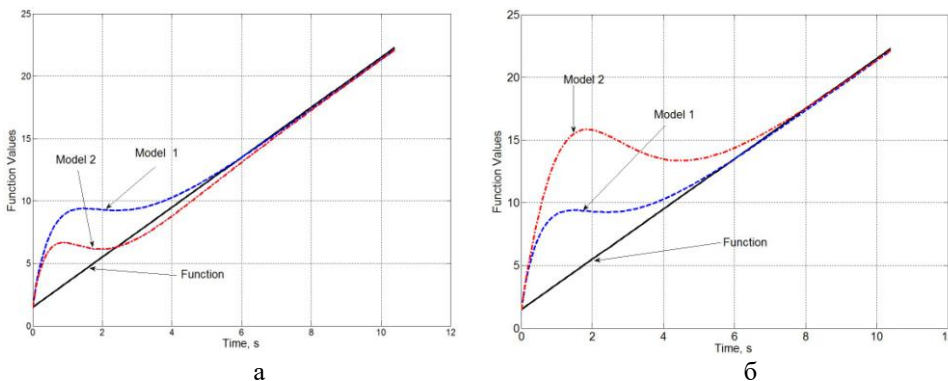


Рис. 1. Графики изменения ускорения и прогнозного значения ускорения для исходной зависимости в виде полинома первого порядка при равенстве коэффициентов зависимостей и моделей

Изменение коэффициента  $\bar{a}_{1,0}$  моделей 1 и 2 существенных изменений в динамике прогнозирующих зависимостей не вносит. Влияние коэффициента  $\bar{a}_{2,0}$  более значительно (рис. 2). При увеличении коэффициента (рис. 2,а) амплитуда модели 1 в рамках переходного периода больше, чем у модели 2. Уменьшение коэффициента приводит к обратному соотношению (рис. 2,б), но амплитуды моделей в этом случае меньше.

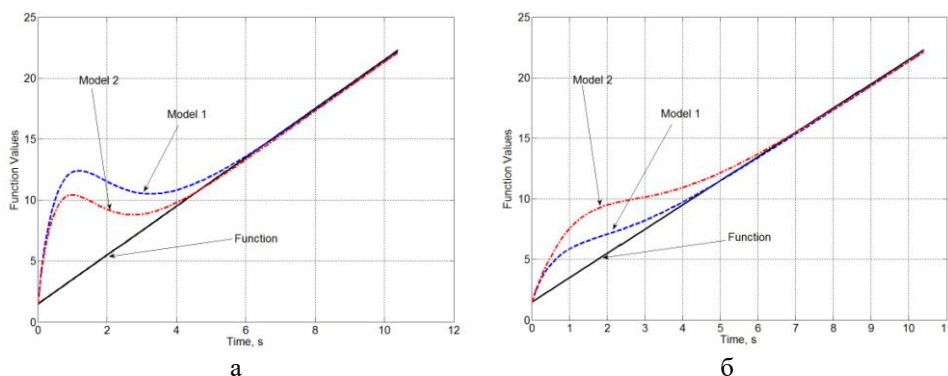


Рис. 2. Графики изменения ускорения и прогнозного значения ускорения для исходной зависимости в виде полинома первого порядка при изменении коэффициента  $\bar{a}_{2,0}$

Для квадратичной зависимости (4) при равенстве коэффициентов  $\bar{a}_{1,0}$ ,  $\bar{a}_{2,0}$  модели 1 и  $\bar{a}_{1,0}$ ,  $\bar{a}_{2,0}$ ,  $\bar{a}_{3,0}$  модели 2 соответствующим коэффициентам  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  был зафиксирован также значительный по времени период адаптации (рис. 3). Коэффициент  $\alpha = 0,1$ . Переходный процесс в случае квадратичной зависимости в отличие от линейной зависимости у модели 2 больше, чем у модели 1 (рис. 3,а). Уменьшение коэффициента  $\bar{a}_{3,0}$  снижает разницу амплитуд, при определенном значении  $\bar{a}_{3,0}$  ( $\bar{a}_{3,0} = 0,2$ ) кривые сливаются, а затем ситуация меняется на обратную (рис. 3,б) не приводит к существенным изменениям. При увеличении коэффициента  $\bar{a}_{3,0}$  ( $\bar{a}_{3,0} = 0,5$ ) модели 2 результат обратный. Существует величина коэффициента  $\bar{a}_{3,0}$  такая, когда модели 1 и 2 практически сливаются. В данном случае  $\bar{a}_{3,0} = 0,2$ .

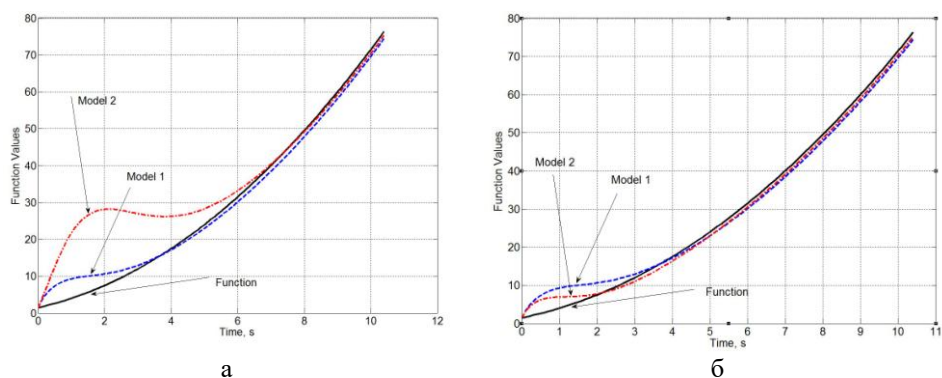


Рис. 3. Графики изменения ускорения и прогнозного значения ускорения для исходной зависимости в виде полинома второго порядка

При уменьшении коэффициент  $\bar{a}_{2,0}$  переходный процесс сокращается (рис. 4,а), обе модели с достаточной точностью выполняют прогнозирование исходной зависимости (рис. 4.б).

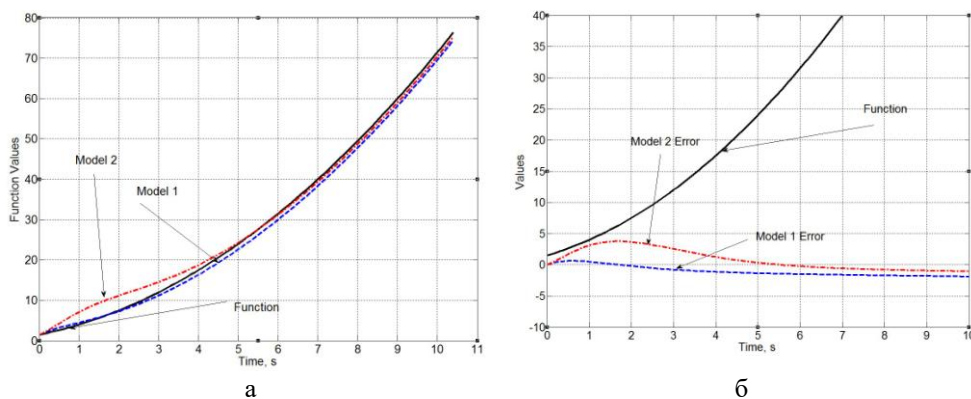


Рис. 4. Графики изменения ускорения и абсолютной погрешности прогнозного значения ускорения для исходной зависимости в виде полинома второго порядка

Точность прогнозирования и период адаптации моделей также существенным образом зависит от параметра сглаживания  $\alpha$  [24].

**Результаты моделирования.** Исследование возможности использования моделей 1 и 2 (1, 2) для прогнозирования изменения параметра объекта проводилось на основе данных об изменении ускорения, снимаемых с 3-х осевого акселерометра, установленного на автомобиле [2, 3]. Исходные данные характеризуются существенным разбросом значений. Шаг съема данных составлял  $h = 0,015625$  сек. Моделирование проводилось на различных временных участках.

При исследовании моделей 1 и 2 для исключения периода адаптации начальные оценки коэффициентов аппроксимации  $\bar{a}_{1,0}$ ,  $\bar{a}_{2,0}$  и  $\bar{a}_{3,0}$  были заданы с учетом определенных выше особенностей настройки. Для минимизации погрешности прогнозирования был выполнен подбор параметра сглаживания  $\alpha$ , поскольку погрешность прогнозирования за пределами участка адаптации в значительной степени определяется выбором постоянной сглаживания  $\alpha$  и согласованностью между реальной зависимостью параметра от времени и выбранной моделью временного ряда [24]. Результаты моделирования представлены на рис. 5–7.

На рис. 5 приведены результаты прогнозирования с помощью адаптивных полиномиальных моделей временного ряда, состоящего из измеренных акселерометром значений ускорения по оси X (рис. 5,а) и погрешности прогнозирования (рис. 5,б). Результаты приведены для участка со скачкообразным изменением временного ряда.

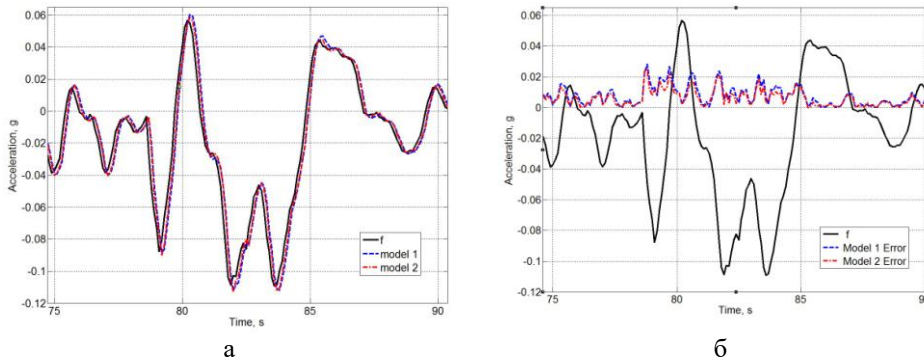


Рис. 5. Графики изменения ускорения и прогнозного значения ускорения (а) и абсолютной погрешности прогнозирования (б) для моделей 1 и 2 для участка со скачкообразным изменением временного ряда

На рис. 6 приведены результаты прогнозирования для участка с незначительными колебаниями временного ряда.

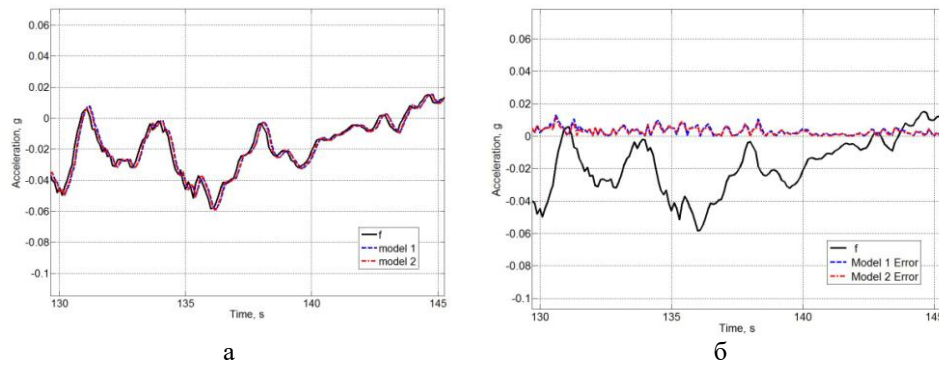


Рис. 6. Графики изменения ускорения и прогнозного значения ускорения (а) и абсолютной погрешности прогнозирования (б) для моделей 1 и 2 для участка с незначительными колебаниями временного ряда

На рис. 7 приведена погрешность прогнозирования временного ряда с использованием моделей 1 и 2 на всем участке моделирования.

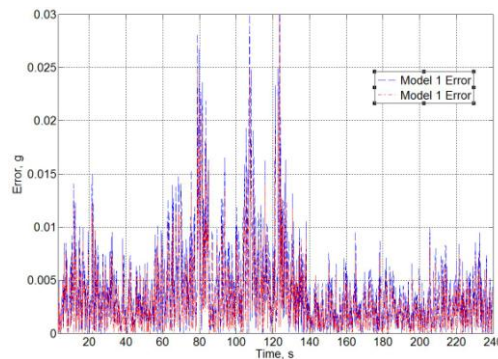


Рис. 7. График изменения абсолютной погрешности прогнозирования временного ряда для моделей 1 и 2

**Выводы.** Анализ графиков показывает, что при увеличении  $\alpha$  прогнозирующая кривая точнее воспроизводит форму экспериментальной зависимости. Однако для каждой зависимости существует определенное значение  $\alpha$ , определяющее границу возможностей модели в части точности прогнозирования.

Согласно результатам моделирования, на участках с резким ростом параметра меньшую погрешность прогнозирования дает модель с высоким значением постоянной сглаживания и, наоборот, в случае небольших колебаний параметра снижение погрешности прогнозирования связано с уменьшением постоянной сглаживания.

Максимальная абсолютная погрешность составила  $\Delta y = 0,03g$  для адаптивной полиномиальной модели первого порядка и  $\Delta y = 0,025g$  для адаптивной полиномиальной модели второго порядка.

Сравнение результатов прогнозирования, проведенных на одной и той же экспериментальной выборке данных на один шаг прогнозирования показывает, что модель второго порядка имеет более высокую точность по сравнению с моделью первого порядка.

**Заключение.** Таким образом, представленные адаптивные полиномиальные модели временных рядов могут быть использованы для прогнозирования изменения параметра в реальном времени. Результаты прогнозирования представляют интерес для осуществления предварительной оценки состояния технического объекта. Обе модели с позиции простоты реализации практически эквивалентны. В случае реализации в микроконтроллере микропроцессорной системы мониторинга процесс прогнозирования может выполняться в фоновом режиме. При этом данные анализируются без предварительной обработки за исключением отбраковки выбросов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клевцова А.Б. Параметрическая зонная оценка состояния технического объекта с использованием режимной карты // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 107-111.
2. Matuszewski J. Application of clustering methods for recognition of technical objects // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2010 International Conference. – 2010. – P. 39-40.
3. Клевцова А.Б., Клевцов Г.С. Модели параметрической экспресс-оценки состояния технического объекта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 11 (88). – С. 15-19.
4. Detlev W. Gross. Partial Discharge Measurement and Monitoring on Rotating Machines // IEEE Int. Sym. On Elect. Insul, Boston MAUSA, April 7-10, 2002. – P. 33-41.
5. Ярошенко И.В. Математическая модель и метод классификации технического состояния высоковольтных мехатронных модулей // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330).
6. Евтихийев Н.Н., Карп В.П., Пудова Н.В. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и оптимизации управления в сложно организованных динамических объектах // Приборы и системы управления. – 1996. – № 3. – С. 35-40.
7. Lihua Sun, Yingjun Guo, Haichao Ran. A New Method of Early Real-Time Fault Diagnosis for Technical Process // Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference, 2010. – Wuhan, China. – P. 4912-4915.
8. Vovk S.P., Ginis L.A. Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. – 2012. – Vol. (20), No. 5-1. – P. 541-545.
9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
10. Клевцов С.И., Клевцова А.Б., Буринов С.В. Модель параметрической качественной иерархической оценки состояния технической системы // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088).



11. Boyle C. Mastering Statistics with your Microcomputer. – Macmillan Master Series. Macmillan Education UK. 1986. – 155 p.
12. Клевцов С.И. Отслеживание изменения состояния динамического объекта в реальном времени с использованием микропроцессорного модуля // Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС)»: Сборник трудов. – 2012. – № 1. – С. 684-687.
13. 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.
14. Клевцов С.И. Моделирование алгоритма краткосрочного прогнозирования изменения быстроменяющейся физической величины в реальном времени // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3 (21). – С. 199-205.
15. Box George E.P., Jenkins Gwilym M., Reinsel Gregory C. Time series analysis: forecasting and control. – 4th ed. – A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2015. – 712 p.
16. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
17. Клевцов С.И. Прогнозирование изменений физической величины в реальном времени с использованием линейного адаптивного фильтра // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 180-185.
18. Peter J. Brockwell, Richard A. Davis. ITSM: An Interactive Time Series Modelling Package for the PC. – Springer New York, 1991. – 105 p.
19. Бриллинджер Д.Р. Временные ряды. Обработка данных и теория: монография / под ред. А.Н. Колмогорова: пер. с английского. – М., 1980. – 536 с.
20. Сидоров С.Г., Никологорская А.В. Анализ временных рядов как метод построения прогноза потребления электроэнергии // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 3. – С. 1-3.
21. Klevtsov S.I. Identification of the State of Technical Objects Based on Analyzing a Limited Set of Parameters // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 - Proceedings. – 2016. – С. 749-752.
22. Darkhovsky B., Piratinska A. Novel Methodology for Segmentation of Time Series Generated by Different Mechanisms // Proceedings of International work-conference on Time Series (ITISE-2014). Iss. 1. Granada: Copicentro Granada S.L., 2014. – P. 273-285.
23. Darkhovsky B., Brodsky B. Asymptotically Optimal Methods of Early Change-point Detection // Sequential Analysis. – 2013. – No. 32. – P. 158-181.
24. 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.
25. Klevtsov S.I., Udod Y.V. The Impact of the Parameters of Constructing a Model for a Microprocessor-Based Sensors Multi-Segment Spatial Conversion Characteristics on the Accuracy of Measuring Physical Quantities // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 29, No. 6. – P. 710-714.
26. Клевцов С.И. Формирование мультисегментной модели градуировочной характеристики интеллектуального датчика // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 11 (88). – С. 8-11.

#### REFERENCES

1. Klevtsova A.B. Parametricheskaya zonnaya otsenka sostoyaniya tekhnicheskogo ob"ekta s ispol'zovaniem rezhimnoy karty [Parametrical band model of the estimation condition for technical object with use of the regime card], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 5 (106), pp. 107-111.
2. Matuszewski J. Application of clustering methods for recognition of technical objects, *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2010 International Conference*, 2010, pp. 39-40.
3. Klevtsova A.B., Klevtsov G.S. Modeli parametricheskoy ekspress-otsenki sostoyaniya tekhnicheskogo ob"ekta [Models parametrical the express train – estimations of a condition the technical object], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 11 (88), pp. 15-19.

4. *Detlev W. Gross*. Partial Discharge Measurement and Monitoring on Rotating Machines, *IEEE Int. Sym. On Elect. Insul, Boston MAUSA, April 7-10, 2002*, pp. 33-41.
5. *Yaroshenko I.V.* Matematicheskaya model' i metod klassifikatsii tekhnicheskogo sostoyaniya vysokovol'tnykh mekhatronnykh moduley [The mathematical model and the classification method of the technical condition of high voltage modules of mechatronic], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2014, No. 2. Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2330).
6. *Evtikhiev N.N., Karp V.P., Pudova N.V.* Intellectual'nye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy i optimizatsii upravleniya v slozhno organizovannykh dinamicheskikh ob"ektakh [Intelligent decision support and control optimization in highly organized dynamic objects], *Pribory i sistemy upravleniya* [Devices and control systems], 1996, No. 3, pp. 35-40.
7. *Lihua Sun, Yingjun Guo, Haichao Ran.* A New Method of Early Real-Time Fault Diagnosis for Technical Process, *Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference, 2010*. Wuhan, China, pp. 4912-4915.
8. *Vovk S.P., Ginis L.A.* Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems, *European Researcher*, 2012, Vol. (20), No. 5-1, pp. 541-545.
9. *Sergienko A.B.* Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing]. Satnt Petersburg: Piter, 2002, 608 p.
10. *Klevtsov S.I., Klevtsova A.B., Burinov S.V.* Model' parametricheskoy kachestvennoy ierarhicheskoy otsenki sostoyaniya tekhnicheskoy sistemy [A parametric hierarchical model for quality assessment technical systems], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2015, No. 3. Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3088).
11. *Boyle C.* Mastering Statistics with your Microcomputer. Macmillan Master Series. Macmillan Education UK.1986, 155 p.
12. *Klevtsov S.I.* Otslezhivanie izmeneniya sostoyaniya dinamicheskogo ob"ekta v real'nom vremeni s ispol'zovaniem mikroprotssornogo modulya [Tracking state changes of the dynamic object in real time using a microprocessor module], *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem (MES)»: Sbornik trudov* [all-Russian scientific-technical conference "problems of development of perspective micro- and nanoelectronic systems (MES)" Collection of writings.], 2012, No. 1, pp. 684-687.
13. *Klevtsov S.I.* Predvaritel'naya otsenka sostoyaniya sovokupnosti parametrov tekhnicheskogo ob"ekta s ispol'zovaniem intellektual'nogo mikroprotssornogo modulya [The simplified estimation of the condition for set of parameters of technical object with use of the intellectual microprocessor module], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskije nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 5 (106), pp. 43-48.
14. *Klevtsov S.I.* Modelirovanie algoritma kratkosrochnogo prognozirovaniya izmeneniya bystromenyayushcheysya fizicheskoy velichiny v real'nom vremeni [Modeling of algorithm of short-term forecasting of the rapidly changing physical quantities in real time], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2012, No. 3 (21), pp. 199-205.
15. *Box George E.P., Jenkins Gwilym M., Reinsel Gregory C.* Time series analysis: forecasting and control. 4th ed. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2015, 712 p.
16. *Lukashin Yu.P.* Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov [Adaptive methods for short time series forecasting]. Moscow: Finansy i statistika, 2003, 416 p.
17. *Klevtsov S.I.* Prognozirovanie izmeneniy fizicheskoy velichiny v real'nom vremeni s ispol'zovaniem lineynogo adaptivnogo fil'tra [Forecasting of changes of size physical in real time with use of the linear adaptive filter], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskije nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 5 (142), p. 180-185.
18. *Peter J. Brockwell, Richard A. Davis.* ITSM: An Interactive Time Series Modelling Package for the PC. Springer New York, 1991, 105 p.
19. *Brillindzher D.R.* Vremennyye ryady. Obrabotka dannykh i teoriya: monografiya [Time series. Data processing and theory: monograph], ed. by A.N. Kolmogorova: per. s angliyskogo. Moscow, 1980, 536 p.
20. *Sidorov S.G., Nikologorskaya A.V.* Analiz vremennykh ryadov kak metod postroeniya prognoza potrebleniya elektroenergii [Time series analysis as a method of building a Pro- expectation of electricity consumption], *Vestnik IGEU* [Vestnik of Ivanovo Power Engineering University], 2010, Issue 3, pp. 1-3.

21. Klevtsov S.I. Identification of the State of Technical Objects Based on Analyzing a Limited Set of Parameters, *2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 – Proceedings*, 2016, pp. 749-752.
22. Darkhovsky B., Piratinska A. Novel Methodology for Segmentation of Time Series Generated by Different Mechanisms, *Proceedings of International work-conference on Time Series (ITISE-2014). Iss. 1. Granada: Copicentro Granada S.L., 2014*, pp. 273-285.
23. Darkhovsky B., Brodsky B. Asymptotically Optimal Methods of Early Change-point Detection, *Sequential Analysis*, 2013, No. 32, pp. 158-181.
24. Klevtsov S.I. Osobennosti vybora parametrov nastroyki modeli sglazhivayushchego vremennogo ryada dlya osushchestvleniya kratkosrochnogo prognozirovaniya izmeneniya fiziche-skoy velichiny [Choice of parameters for adjustment models of a smoothing time number for short-term forecasting of physical size], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 5 (118), pp. 133-138.
25. Klevtsov S.I., Udod Y.V. The Impact of the Parameters of Constructing a Model for a Microprocessor-Based Sensors Multi-Segment Spatial Conversion Characteristics on the Accuracy of Measuring Physical Quantities, *World Applied Sciences Journal*, 2014, Vol. 29, No. 6, pp. 710-714.
26. Klevtsov S.I. Formirovanie mul'tisegmentnoy modeli graduirovочноy kharakteristiki intellektual'nogo datchika [Formation of multisegment model of the transfer characteristic of the intellectual gauge], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 11 (88), pp. 8-11.

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

**Клевцов Сергей Иванович** – Южный федеральный университет; e-mail: sergkmps@mail.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

**Иванов Даниил Александрович** – тел.: 89085036487; студент.

**Klevtsov Sergey Ivanovich** – Southern Federal University; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81, Petrovsky, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634 328025; cand. of eng. sc.

**Ivanov Daniil Alexandrovich** – phone: +79085036487; student.

УДК 621.383

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-159-168

**А.Н. Акользин, Д.Г. Ковтун, А.А. Легин**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ МИШЕНИ**

*Современные тенденции развития приборов учета потребления энергоресурсов привели к появлению цифровых устройств, которые наряду с традиционными приборами учета предоставляют ряд дополнительных возможностей. К таким возможностям можно отнести коррекцию показаний потребления энергоресурсов, журналирование, взаимодействие с приборами учета с целью контроля показаний через различные интерфейсы (проводные или беспроводные). Подобного рода приборы являются автономными устройствами, которые работают от батарейного питания емкостью 2–3,5 А·ч, которое может заменяться во время поверки прибора. Время работы между этапами замены источников автономного питания, как правило, находится в пределах от 5–10 лет. Основными потребителями являются микропроцессор, измерительные цепи и устройство отображения информации. Энергопотребление микропроцессора и устройства отображения известны из технической документации и могут быть минимизированы путем выбора оптимального режима работы. В этой работе рассматриваются способы уменьшения энергопотребления системы измерения, состоящей из оптической пары излучателя (инфракрасный светодиод) и приемника (фототранзистор). Приведены характеристики энергопотребления системы при различных параметрах сканирующих импульсов, оптических схем и применяемых компонентов, используемых в качестве измерительных схем в приборах учета*