

**Matyunin Andrew Yurievich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: stalker\_dron\_@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +79185885779.

УДК 621.23.05

**Ф.И. Кузнецов**

**АДАПТИВНЫЙ МЕТОД ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ОЦИФРОВАННЫХ  
ЗНАЧЕНИЙ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН С ОГРАНИЧЕННЫМ  
ФОРМАТОМ ДАННЫХ**

*Представлен адаптивный метод экстраполяции переменной с ограниченным форматом данных и равноудаленными узлами. Адаптация заключается в выборе степени формулы экстраполяции в зависимости от изменения переменной. Для выбора формулы экстраполяции необходимо заранее знать величины трансформированной и инструментальной погрешностей. Особое внимание уделяется влиянию трансформированной погрешности на точность экстраполяции. Формулы экстраполяции построены на основе полинома Лагранжа, в частном случае совпадают с интерполяционными формулами Ньютона.*

*Экстраполяция; адаптация.*

**F.I. Kuznetsov**

**ADAPTIVE METHOD OF EXTRAPOLATION OF THE DIGITIZED VALUES  
OF SENSORS OF PHYSICAL QUANTITY WITH THE LIMITED FORMAT  
OF THE DATA**

*In this article the adaptive method of extrapolation of a variable with the limited format of the data is presented and equidistant knots. Adaptation consists in a choice of degree of the formula of extrapolation depending on variable change. For a choice of the formula of extrapolation is necessary on a priori known value of the transformed and tool errors. The special attention is given to effect of the transformed error on precision of extrapolation. Extrapolation formulas are constructed on the basis of a polynomial of Lagrange, in that special case coincide with Newton's interpolation formulas.*

*Extrapolation; adaptation.*

Для решения в темпе реального времени задач сбора и обработки информации датчиков (СОИД) физических переменных создаются различные интеллектуальные микропроцессорные модули (ИММ) [1]. Эти модули производят глубокую математическую обработку. Немаловажной задачей математической обработки является прогнозирование значений переменной на  $k$  шагов ( $k \geq 1$ ). Прогнозирование необходимо как минимум для:

- 1) определения используемых в вычислениях значений переменных, не известных в данный момент времени;
- 2) компенсации погрешности, порожденной сдвигом во времени формирования результатов обработка показаний датчиков;
- 3) предварительной оценки состояний процессов мониторинга, диагностики и управления.

Целью работы является описание метода выбора степени формулы экстраполяции в процессе обработки информации датчика с ограниченным форматом данных.

Частные формулы многошаговой экстраполяции первого типа и их методические погрешности приведены в табл. 1.

Таблица 1

$r$	Формулы экстраполяции значений переменных	Методические погрешности
1	$\bar{u}_{11(i+k)}^* = 2\bar{u}_i - \bar{u}_{(i-k)}$	$\mu_{11(i+k)}^* = (kh)^2 u^{[2]}(\xi)$
2	$\bar{u}_{12(i+k)}^* = 3(\bar{u}_i - \bar{u}_{(i-k)}) + \bar{u}_{(i-2k)}$	$\mu_{12(i+k)}^* = (kh)^3 u^{[3]}(\xi)$
3	$\bar{u}_{13(i+k)}^* = 4\bar{u}_i - 6\bar{u}_{(i-k)} + 4\bar{u}_{(i-2k)} - \bar{u}_{(i-3k)}$	$\mu_{13(i+k)}^* = (kh)^4 u^{[4]}(\xi)$

Для представления влияния трансформированной и инструментальной погрешностей преобразуем эти формулы в виде сумм конечных разностей (табл. 2).

Таблица 2

$r$	Формулы экстраполяции значений переменных
1	$\bar{u}_{11(i+k)}^* = \bar{u}_i + \Delta\bar{u}_i$
2	$\bar{u}_{12(i+k)}^* = \bar{u}_i + \Delta\bar{u}_i + \Delta^2\bar{u}_i$
3	$\bar{u}_{13(i+k)}^* = \bar{u}_i + \Delta\bar{u}_i + \Delta^2\bar{u}_i + \Delta^3\bar{u}_i$

Общая формула имеет вид

$$\bar{u}_{1r(i+k)}^* = \bar{u}_i + \sum_{n=1}^r \Delta_k^n \bar{u}_i.$$

Конечная разность порядка  $n$  может быть представлено выражением

$$\Delta_k^n \bar{u}_i = \sum_{m=0}^n (-1)^m \frac{n!}{m!(n-m)!} \bar{u}_{i-m \cdot k} = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_m^n \cdot \bar{u}_{i-m \cdot k}. \quad (1)$$

Так как мы имеем дело с электрическими сигналами и схемами, то имеет место присутствия случайной составляющей в оцифрованных значениях. Пусть предельно допустимое значение случайной составляющей равно  $\varepsilon_{\text{noise}}$ , тогда трансформированная погрешность конечной разности порядка  $n$  равна

$$\varepsilon_{v\Delta_k^n} = \sum_{m=0}^n C_m^n \cdot \varepsilon_{\text{noise}}.$$

Также присутствует погрешность АЦ-преобразования, максимальное значение которой при правильной схмотехнической реализации составляет

$$\varepsilon_{\beta_{\text{АЦП}}} = \frac{1}{2^{N_{\text{АЦП}}} - 1}.$$

При вычислении конечной разности порядка  $n$  значение этой погрешности становится равной

$$\varepsilon_{\beta\Delta_k^n} = \sum_{m=0}^n C_m^n \cdot \varepsilon_{\beta_{\text{АЦП}}} = \sum_{m=0}^n \frac{C_m^n}{2^{N_{\text{АЦП}}} - 1}.$$

Эти две погрешности оказывают основное влияние на вычисление конечной разности (и в частности на точность экстраполяции). Сумма этих двух погрешностей определяется выражением

$$\varepsilon_{\Delta_k^n} = \sum_{m=0}^n C_m^n \left( \varepsilon_{noise} + \frac{1}{2^{N_{АЦП}} - 1} \right). \quad (2)$$

Если конечная разность порядка  $n$  (1) не превышает погрешность (2)  $|\Delta_k^n \bar{u}_i| \leq \varepsilon_{\Delta_k^n}$ , то экстраполяция порядка  $r=n$  не будет давать более точный результат по сравнению с экстраполяцией  $r = n - 1$  (при условии что  $|\Delta_k^{n-1} \bar{u}_i| > \varepsilon_{\Delta_k^{n-1}}$ ).

Отсюда следует, что порядок формулы экстраполяции  $r$  должен выбираться в зависимости от выполнения условия

$$|\Delta_k^n \bar{u}_i| > \sum_{m=0}^n C_m^n \left( \varepsilon_{noise} + \frac{1}{2^{N_{АЦП}} - 1} \right). \quad (3)$$

На рис. 1 представлены результаты моделирования изложенного метода. В качестве входного сигнала использовалась функция вида

$$f(t) = (2^N - 1) \left( e^{\frac{t-200}{0,3}} + e^{\frac{-t}{0,3}} \right),$$

где  $N = 16$  – разрядность АЦП.

Время  $t$  меняется от 0 до 400 с шагом  $h = 1$ . Случайная составляющая задавалась как фликкер-шум с максимальным отклонением 0,05 % относительно амплитуды сигнала. На рис. 1,а приведены максимальные относительные приведенные погрешности экстраполяции формул из табл. 1, а на рис. 1,б погрешность с адаптивным выбором формулы при контроле условия (3).

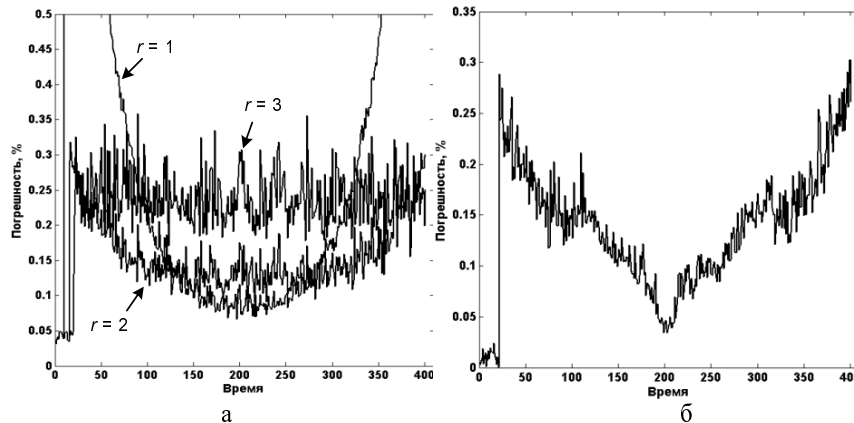


Рис. 1. Максимальные относительные приведенные погрешности экстраполяций по формулам из табл. 1 (а) и адаптивным методом (б)

По результатам моделирования видно, что погрешности экстраполяции адаптивным методом на всем временном диапазоне меньше, чем при экстраполяции одной из формул табл. 1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н.* Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.

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

**Кузнецов Филипп Игоревич**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kafmps@tspark.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81.

Тел.: 88634328025.

**Kuznetsov Filipp Igorevich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kafmps@tspark.ru.

81, Petrovsky Street, Taganrog, 347900, Russia.

Phone: +78634328025.