

УДК 004.89

## ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ НЕЧЕТКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИКАЦИИ АНОМАЛИЙ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

И. Н. Копытчук, д. т. н. Н. Б. Копытчук, к. ф.-м. н. П. М. Тишин, к. т. н. И. Г. Милейко

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
igor.kopytchuk@gmail.com

*Предложено решение научно-практической задачи построения информационной модели оценки массы объекта при ограниченном времени взвешивания. В работе вводятся параметры классификации значений тензометрических сигналов, представленных в виде временных рядов, которые позволяют решать задачи поиска аномалий указанных сигналов и строить алгоритмы экспертных оценок получаемых временных рядов.*

*Ключевые слова: временные ряды, поиск аномалий, тензометрия.*

Определение массы объектов (например, железнодорожных составов), движущихся с повышенной скоростью, усложняется наличием высокочастотных стохастических шумов, обусловленных динамическими явлениями, возникающими в процессе перемещения грузов. Построенные в результате измерения аппроксимирующие кривые могут существенно отличаться от реального сигнала, приводя к недопустимому увеличению погрешности измерения.

С целью устранения указанного недостатка, в работе вводится этап экспертной оценки значений тензометрических сигналов при формировании временных рядов (ВР) для диагностики процессов, происходящих в процессе взвешивания [1, 2]. Экспертную оценку целесообразно строить, применяя методы анализа, основанные на поиске аномалий. Данные методы основаны на сопоставлении ВР, отражающих реализованную динамику процесса и ожидаемую, требуемую динамику.

Решение задачи поиска аномалий базируется на предположении, что аномальным является поведение ВР, выраженное в терминах редко встречающихся или недопустимых значений. В связи с этим поиск аномалий – задача, которую можно решать на различных уровнях представления исходного ВР в зависимости от поставленных целей.

Предположим, что задан некоторый ВР, представленный в виде

$$S = \{S_i, t_i\}_{i=1}^n, \quad (1)$$

где  $n$  — количество отсчетов,  $i$  — номер отсчета,  $t_i$  — время получения  $i$ -го отсчета,  $S_i$  — значение  $i$ -го отсчета.

Рассмотрим множество ВР  $S(m)$ , представимых формулой (1), где  $m=1, \dots, M$ ,  $M$  — количество рассматриваемых ВР. Для классификации ВР, полученных в ходе эксперимента, вводятся следующие обозначения:  $v_A^{Ch}[S(m)]$  — коэффициент, пропорциональный максимальному значению параметра ВР,  $v_U^{Ch}[S(m)]$  — скорость возрастания параметра ВР до достижения максимума,  $v_D^{Ch}[S(m)]$  — скорость уменьшения параметра ВР после достижения максимума,  $v_T^{Ch}[S(m)]$  — длительность процесса, описываемого ВР.

Детерминированный параметр  $v_A^{Ch}[S(m)]$  определяется соотношением

$$v_A^{Ch}[S(m)] = \left[ \max_{1 \leq i \leq N(m)} \{S_i(m)\} \right] / 10000,$$

где через  $N(m)$  обозначено количество отсчетов в ВР. Причем, в рассматриваемой системе данный параметр будет принадлежать интервалу  $U_A = (0, 4)$  (при максимальном числе отсчетов, равном

40000 квантов). Поэтому для параметра  $v_A^{Ch}[S(m)]$  можно записать соотношение  $v_A^{Ch}[S(m)] \in U_A$ .

Для детерминированного параметра  $v_T^{Ch}[S(m)]$  вводится соотношение

$$v_T^{Ch}[S(m)] = \left[ \max_{1 \leq i \leq N(m)} \{t_i(m)\} - \min_{1 \leq i \leq N(m)} \{t_i(m)\} \right] / 10000,$$

где через  $t_i(m)$  обозначено время поступления  $i$ -го отсчета в ВР. По аналогии с параметром  $v_A^{Ch}[S(m)]$  данный параметр будет принадлежать интервалу  $U_T = (0,100)$ . Поэтому для параметра  $v_T^{Ch}[S(m)]$  можно записать:  $v_T^{Ch}[S(m)] \in U_T$ .

Для определения оставшихся двух параметров введем в рассмотрение специальным образом построенный вектор  $x = \{x_i\}_{i=1}^{25}$ , а также векторы  $Sn, Tn$ , элементы которых определяются соотношениями

$$\begin{aligned} Sn_i &= (S_i - S_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min}), \\ Tn_i &= (t_i - t_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min}); \end{aligned} \quad (3)$$

в которых через  $S_{\max}, S_{\min}$  обозначены максимальное и минимальное значение в наборе  $\{S_i\}_{i=1}^n$ , а через  $t_{\max}, t_{\min}$  — максимальное и минимальное значение в наборе  $\{t_i\}_{i=1}^n$ .

Тогда для любого ВР представленного формулой (1), можно определить вектор

$$D_{S,i} = L(x_i, Sn, Tn), i = 1, \dots, 25. \quad (4)$$

где  $L(x, Sn, Tn)$  — интерполирующий полином, в котором узлы определяются векторами  $Sn, Tn$ , а  $x_i$  определяются формулой (2).

Каждому из ВР, данного множества можно поставить в соответствие стандартное представление  $D_{S(m)}$  ВР определяемого соотношениями (4).

Параметр  $v_U^{Ch}[S(m)]$  — скорость возрастания параметра ВР  $S(m)$  до достижения его максимума — кардинально отличается от предыдущих двух параметров. Поэтому для определения  $v_U^{Ch}[S(m)]$  применяется нечеткая база знаний. В результате получается аппроксимирующая зависимость параметра  $v_U^{Ch}[S(m)]$  от переменных  $x_1, x_2$  и  $x_3$ , которые вычисляются по формулам

$$x_j = D_{S(m),10+j}, \quad j = 1, 2, 3, \quad (5)$$

где через  $D_{S(m),j}$  обозначен  $j$ -й отсчет в стандартное представление  $D_{S(m)}$ .

Таким образом, предложенный метод определения параметров классификации наборов временных рядов, получаемых в процессе взвешивания, позволяет строить алгоритмы оценки временных рядов в задачах поиска в них аномалий. Обнаружение и удаление аномалий позволяет в свою очередь сократить погрешности измерений.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Копытчук Н. Б., Шендрик Е. В. Использование метода наименьших квадратов для оценки параметров сигнала с периодической помехой при ограниченном времени наблюдения // Тр. Одес. политехн. ун-та.— Одесса, 1999.— Вып. 3(9).— С. 167 —169.

2. Копытчук Н. Б., Шендрик Е. В. Повышение точности метода наименьших квадратов посредством введения весовой функции // Тр. Одес. политехн. ун-та.— Одесса, 2001.— Вып. 2(14). С. 110—112.

I. N. Kopytchuk, N. B. Kopytchuk, P. M. Tishyn, I. G. Mileyko

**Constructing the approximating fuzzy dependence to determine classification parameters of tensometric signals anomalies.**

The paper presents a solution of scientific and practical task of building an information model estimating the mass of the object when the weighing time is limited. The authors introduce classification parameters of tensometric signal values, presented in the form of time series, which can solve the problem of detecting anomalies of such signals and build algorithms for expert estimates of the derived time series.

Keywords: *time series, anomalies detection, tensometry.*