

УДК 681.513.2

**Н.В. Смирнова, канд.техн. наук, В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет*

## Обнаружение изменения параметров объекта управления с использованием массива прецедентов

Приведено описание процесса обнаружения скачка напряжения дуги с учетом данных о предшествующих принятых статистических гипотезах с использованием массива прецедентов.  
**статистические гипотезы, прецедент, объект управления**

**Н.В. Смірнова, В.В. Смірнов**

*Кіровоградський національний технічний університет*

**Виявлення зміни параметрів об'єкта управління з використанням масиву прецедентів**

Наведено опис процесу виявлення стрибка напруги дуги з урахуванням даних про попередні прийняті статистичні гіпотези з використанням масиву прецедентів.  
**статистичні гіпотези, прецедент, об'єкт управління**

В процессе управления объектами с нелинейными и неустойчивыми режимами работы необходимо учитывать множество факторов, влияющих на устойчивость работы объекта управления в заданной точке характеристики или участка траектории. Суммарное воздействие различных возмущающих воздействий на объект управления учитывается регулятором или системой управления. Для компенсации возникающих отклонений вырабатывается определенное управляющее воздействие, не всегда приводящее к ожидаемому результату вследствие либо кратковременности возмущающего воздействия, либо вследствие запоздалой реакции системы управления на возмущение. Поэтому обнаружение развития процесса дестабилизации объекта управления с минимальным временем задержки является актуальной задачей.

**Анализ исследований и публикаций.** Эффективными методами обнаружения изменения параметров объекта управления являются статистические методы, в частности, критерий отношения правдоподобия, который был использован в системе управления режимом горения дуги процесса размерной обработки деталей электрической дугой (РОД). Было установлено, что скопление продуктов эрозии вызывает кратковременные изменения тока и напряжения дуги, обусловленные кратковременными короткими замыканиями дуги, что в общем случае, не приводят к нарушению процесса обработки [1]. Тем не менее, возникающая аддитивная помеха (ложная тревога), наряду с аддитивной помехой, обусловленной пульсациями источника питания, дестабилизирует работу регулятора.

Для решения задачи своевременного обнаружения изменения напряжения дуги с минимумом ложных тревог [2] был использован критерий отношения правдоподобия в реализации Пейджа и Хинкли [3], который позволил минимизировать время запаздывания в обнаружении изменения среднего значения напряжения дуги. Изменение среднего значения напряжения дуги от  $U_{d_{cp}}$  до максимального значения  $U_{d_{max}}$  эквивалентно принятию гипотез. В основу теории проверки статистических гипотез положен критерий отношения правдоподобия [4]:

$$L(r) = \prod_{k=r}^n \frac{p_1(u_k)}{p_0(u_k)}, \quad (1)$$

$$\text{где } p_i(u_k) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(u_k - \mu_i)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (i = 0, 1).$$

Логарифмирование выражения (1) дает статистику критерия:

$$L_n(r) = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \sum_{k=r}^n (u_k - \frac{\mu_1 + \mu_0}{2}) = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \sum_{k=r}^n (u_k - \mu_0 - \frac{\mu_1 - \mu_0}{2}) = \frac{1}{\sigma^2} S_r^n(\mu_0, \nu), \quad (2)$$

где  $r$  – момент изменения напряжения дуги  $U_\delta$ ;

$\mu_0$  – математическое ожидание напряжения дуги в рабочей точке;

$\mu_1$  – математическое ожидание напряжения дуги  $U_\delta$  при обрыве или коротком замыкании;

$\nu$  – значение изменения напряжения дуги  $U_\delta$ , с учетом знака;

$S_r^n(\mu_0, \nu) = \nu \sum_{k=r}^n (u_k - \mu_0 - \frac{\nu}{2})$  – накопительная сумма.

В этом случае, критерий  $g_n$  для принятия гипотез  $H_0, H_1$  имеет вид:

$$\begin{cases} g_0 = \max_{1 \leq r \leq n} S_r^n(\mu_0, \nu) - S_r^n(\mu_0, \nu) \\ g_1 = S_r^n(\mu_0, \nu) - \min_{1 \leq r \leq n} S_r^n(\mu_0, \nu) \end{cases} \begin{cases} H_0 = g_n \leq \lambda \\ H_1 = g_n > \lambda \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – пороговое значение критерия для принятия гипотезы  $H_0$  или  $H_1$ ;

$g_0$  – значение критерия при уменьшении  $U_\delta$ ;

$g_1$  – значение критерия при увеличении  $U_\delta$ .

В соответствии с соотношениями (3) определение момента изменения совпадает с последним моментом времени, при котором достигается минимальное значение  $S_r^n$ , при этом принимается гипотеза  $H_0$ , если значение критерия  $g_n$  меньше порогового значения  $\lambda$ , или  $H_1$ , если значение критерия больше порогового значения  $\lambda$ .

На основании принятой гипотезы осуществлялась коррекция величины управляющего воздействия для привода рабочего инструмента.

**Постановка задачи.** Использование статистических методов для решения задачи своевременного обнаружения изменения параметров объекта управления с минимумом ложных тревог позволяет достичь желаемого результата. Однако, результаты накопления статистических данных и принятия гипотез в интервале наблюдения не сохраняется и в дальнейшем не учитывается. То есть, для следующего интервала наблюдения необходимо вычислять новую статистику и принимать нужную гипотезу без учета предыдущих результатов. Было бы целесообразно запоминать результаты предыдущих вычислений и с их учетом прогнозировать направление изменения параметров объекта управления для принятия решений системой управления, используя метод прогнозирования на основе прецедентов [5].

**Основная часть.** В основе метода лежит модель прогнозирования в форме выработки экспериментальных данных, например, принятые гипотезы  $H_0$  или  $H_1$ , которые являются множеством экспериментальных данных, а возникновение скачка напряжения дуги  $U_{d,max}$  может характеризовать причину  $X$  и следствие  $Y$  процесса  $P$ , для которого необходимо осуществить прогноз [5].

Множество  $\{P\}$  ситуаций контролируемых процессов можно представить как объединение двух подмножеств событий, характеризующих причину  $\{X\}$  и следствие  $\{Y\}$ :

$$\{P\} = \{X\} \cup \{Y\}. \tag{4}$$

Данные подмножества могут отличаться своими мощностями, содержать различные события, но всегда отличаются, как минимум, одним элементом, характеризующим время свершения события.

В свою очередь, весь информационный массив  $\{R\}$ , на основании которого строится прогноз, можно представить как объединение множеств  $\{P\}$

$$\{R\} = \bigcup_{i=1}^N \{P\}_i, \tag{5}$$

где  $N$  - число наблюдаемых ранее ситуаций, подобных наблюдаемой и следствие которой необходимо спрогнозировать.

Совокупность наблюдаемых процессов можно представить в виде протокола наблюдений:

$$\{R\} = \langle X, Y^{t+1} \rangle = \langle Y_i^t, Z_i, K_i, Y_i^{t+1}, i = 1, \dots, N \rangle, \tag{6}$$

где  $X = [Y^t, Z, K]^T$  – вектор причин контролируемого объекта (пульсации источника питания, продукты эрозии в межэлектродном промежутке и т.д);

$Y^t = (y_1^t, \dots, y_n^t)$  – вектор параметров объекта, принимаемых в качестве исходных в  $i$ -й зафиксированной ситуации (ранее принятые гипотезы  $H_0$  или  $H_1$  для накопительных сумм);

$Z_i = (z_1, \dots, z_m)$  – вектор факторов прогнозного фона зафиксированной ситуации, либо интегральный показатель прогнозного фона предшествующего периода (вероятность возникновения скачка с учетом ранее принятых гипотез  $H_0$  и  $H_1$ );

$K_i = (k_1, \dots, k_l)$  – вектор управляющего воздействия (УВ) для объекта, в  $i$ -й зафиксированной ситуации, либо интегральный показатель УВ предшествующего периода;

$Y_i^{t+1} = (y_i^{t+1}, \dots, y_n^{t+1})$  – вектор параметров объекта, принимаемых в качестве следствия в  $i$ -й зафиксированной ситуации (принятые гипотезы  $H_0$  или  $H_1$ ).

Процесс формирования прецедента в общем виде представлен на рис. 1.

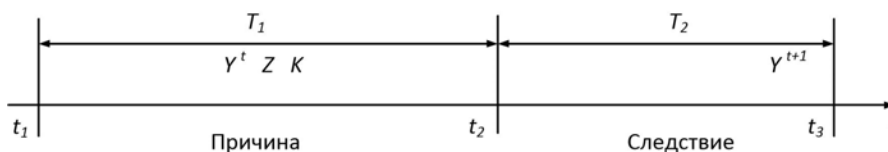
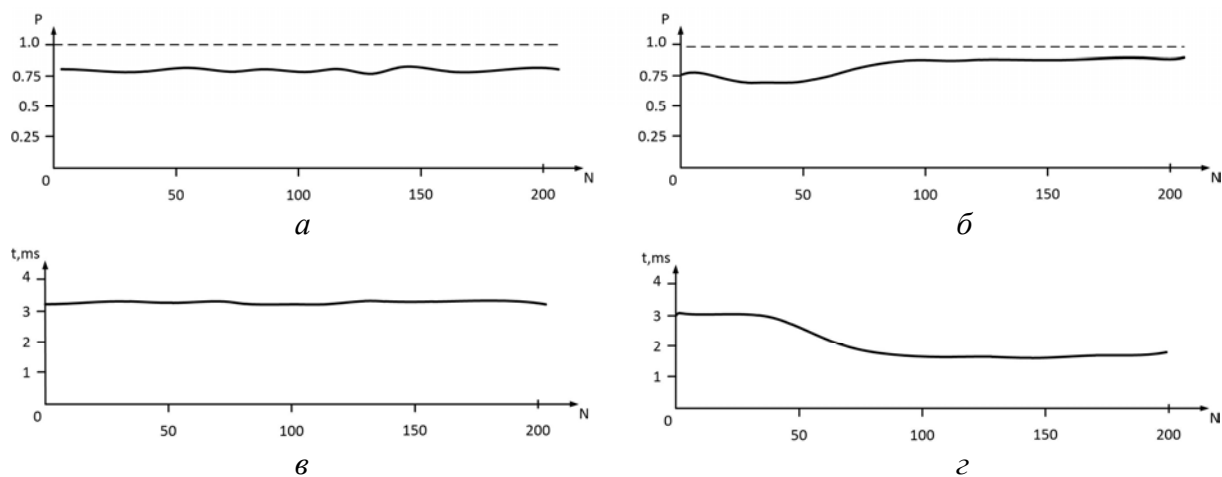


Рисунок 1 - Процесс формирования прецедента

Временной интервал  $T_1 = [t_1, t_2]$  обозначен как период основания прогноза. Значения компонент векторов  $Y^t$ ,  $Z$  и  $K$  могут быть получены инвариантно моменту измерения (либо интегрально) в пределах  $T_1$ . Временной интервал  $T_2 = [t_2, t_3]$  является периодом прогнозирования. Получение прогнозных характеристик предполагается в момент  $t_3 \in t_2$ . Длительность интервалов  $[t_1, t_2]$  и другие характеристики прецедента зависят от требований к параметрам прогноза, например, к минимизации времени задержки обнаружения изменения напряжения дуги  $U_{d\_cp}$  при минимуме ложных тревог.

Для проверки эффективности метода обнаружения изменения параметров объекта управления (скачка напряжения дуги) на основании данных массива прецедентов было проведено программное моделирование в среде программной системы "Signal Explorer" [2]. Протокол наблюдений (6) был реализован виде трех двумерных массивов  $P$ ,  $X$ ,  $Y$  в терминах языка программирования C++. В сигнал напряжения дуги добавлялись аддитивные помехи в форме трапеции амплитудой 10-20% от напряжения дуги длительностью 10-50 мс. Осуществлялось сравнение результатов моделирования с использованием только критерия отношения правдоподобия (рис. 2 а, в) и с использованием массива прецедентов (рис. 2 б, г).



$P$  – обнаружение скачка напряжения дуги;  $N$  – количество прецедентов в массиве;  
 а, в – обнаружение скачка без учета прецедентов; б, г – обнаружение скачка с учетом прецедентов

Рисунок 2 – Результаты моделирования процесса обнаружения скачка напряжения дуги

В процессе моделирования массив прецедентов протокола наблюдений модифицировался путем добавления сформированных прецедентов. При этом вектор факторов прогнозного фона  $Z_i$  корректировался на основании данных проверки соответствия принятой гипотезы  $H_0$  и  $H_1$  и принятого прогноза  $Z$  вероятности  $P$  возникновения скачка.

Результаты моделирования показали, что при количестве прецедентов в массиве более 50 достоверность обнаружения скачка напряжения дуги увеличилась с 0,8 до 0,9 (рис. 2 а и б соответственно), а при количестве более 80 остается на достигнутом уровне. Задержка обнаружения скачка уменьшилась со значения 3,2 мс до 2 мс (рис. 2 в и г). При дальнейшем увеличении количества прецедентов улучшения качества прогноза и уменьшения времени задержки обнаружения скачка напряжения дуги не происходит.

**Выводы.** Использование прецедентов в процессе обнаружения изменения параметров объекта управления позволяет повысить достоверность обнаружения изменений, вызванных возмущающими воздействиями и уменьшить время задержки обнаружения. Поскольку вычислительные мощности современных микроконтроллеров

являются достаточными для реализации «интеллектуальных» регуляторов и систем управления, то представляется целесообразным проведение дальнейших исследований в области применения элементов искусственного интеллекта для управления объектами с нелинейными и неустойчивыми режимами работы.

## Список литературы

1. Геворкян Г. Г. Экспериментальное исследование механизма эвакуации продуктов эрозии и его влияние на производительность и точность электроэрозионной обработки: автореф. дис. канд. техн. наук. / Г. Г. Геворкян – М., 1969. – 20 с.
2. Смірнова Н.В. Автоматизована система керування процесом розмірної обробки деталей електричною дугою: автореф. дис. канд. техн. наук. Н.В. Смірнова – Кіровоград, 2011. – 20 с.
3. Hinkley D.V. Inference about the Change – Point from Cumulative Sum – Tests, *Biometrika* / D.V. Hinkley. – 1971. – P. 58, 3, 509-523.
4. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / [М. Бассвиль, А. Вилски, А. Банвенист и др.]; пер. с англ. И. Б. Вильховченко. – М.: Мир, 1989. – 278 с.
5. Назаров А.В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А.В. Назаров, А.И. Лоскутов – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с.

**N. Smirnova, V. Smirnov**

*Kirovograd National Technical University*

### **The control object parameters changes using an array of precedents detecting**

The purpose of this article is to solve the problem the object control parameters change detecting with short time and a minimum false alarms.

The statistical hypothesis testing theory application allows us to solve this problem, however, the hypotheses acceptance result, reliable observations in the current segment is not included in the following observation. A precedent application that allows you to take into account the results of previous observations improves the accuracy arc voltage surges detection and the false alarms number minimize. The process of a change in the arc parameters detecting using a precedents array modeled.

The simulation results are positive, suggesting the need for further research in the area of "smart" controllers and control systems.

**statistical hypothesis, precedent, controlled object**

Получено 22.04.13