УДК 621.371:621.398

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ НЕПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТЕЙ

В.В. Авраменко, доц., Н.Ю. Слепушко, ассист.
Сумский государственный университет

ВСТУПЛЕНИЕ

Существует обширный класс технических объектов, для которых характерным признаком их нормального состояния является пропорциональная зависимость между входным $x(t)$ и выходным $y(t)$ процессами:

$$y(t) = kx(t)\ , \tag{1}$$

где t - время;

k - коэффициент пропорциональности.

К таким объектам принадлежат усилители, преобразователи, следящие системы, каналы телеметрии и др. Для многих технологических установок характерным признаком их нормальной работы является зависимость

$$y_T(t) = kx_T(t - \tau_з)\ , \tag{2}$$

где

$$x_T = \frac{1}{T}\int\limits_{t-T}^{t} x(\tau)d\tau\ ; \tag{3}$$

$$y_T = \frac{1}{T}\int\limits_{t-T}^{t} y(\tau)d\tau\ ; \tag{4}$$

T - длительность интервала текущего усреднения;

$x(t)$, $y(t)$ - соответственно количество исходного ресурса и готового продукта;

$\tau_з$ - время запаздывания, необходимое для получения из исходного ресурса производимого продукта.

Для многих объектов коэффициент k в (1), (2) медленно по сравнению с $x(t)$ изменяется во времени, то есть эти объекты являются квазистационарными.

Обычно $k(t)$ носит случайный характер и, как правило, неизвестно, каким должно быть его значение в текущий момент времени. Так, например, при сжигании угольной пыли $k(t)$ определяет количество выделяемого тепла при сгорании 1 кг топлива. Значение $k(t)$ зависит от характеристик топлива (калорийности, влажности, зольности и др.), от фракционного состава угольной пыли, коэффициента избытка воздуха, условий при перемешивании пыли с воздухом и т.д. Большая часть из этих показателей оперативно не контролируется. Естественно, что в таких условиях непосредственное определение $k(t)$ не представляется возможным. Однако, независимо от значения $k(t)$, до тех пор пока связь между входными и выходными процессами является пропорциональной (1), (2), техническое состояние контролируемого объекта считается нормальным.

Всякое отклонение этой связи от пропорциональной свидетельствует об ухудшении состояния объекта. Так, например, у усилителя постоянного тока может появиться т.н. «дрейф нуля». В результате зависимость между входным $x(t)$ и выходным напряжениями приобретает вид

$$y(t) = kx(t) + b\,, \tag{5}$$

где $b \neq 0$.

При работе технологической установки могут появиться неконтролируемые потери $b(t)$ готового продукта, когда

$$y_T(t) = kx_T(t) + b(t)\,, \tag{6}$$

где $b(t) \leq 0$.

В общем случае зависимость между $x(t)$ и $y(t)$ может иметь вид

$$y(t) = k(x,\ t)x(t) + b(t)\,. \tag{7}$$

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Ставится задача разработать систему технической диагностики квазистационарных объектов, которая должна обнаруживать в текущий момент времени t факт отклонения зависимости между входным $x(t)$ и выходным $y(t)$ процессами от пропорциональной и оценивать это отклонение количественно независимо от неизвестного значения коэффициента пропорциональности k в (1) или (2). Кроме этого, система диагностики должна предоставлять информацию о возможных причинах ухудшения технического состояния контролируемого объекта. Для этого необходимо получать сведения о характере отклонения или непосредственно о том, какие режимные параметры вызывают эти отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Факт отклонения связи от пропорциональной между $x(t)$ и $y(t)$ можно было бы определить, разделив $k(t)$ на $x(t)$ и сравнив полученный результат с требуемым значением $k(t)$. Поскольку неизвестно, каким должно быть $k(t)$ в текущий момент времени, такое сравнение невозможное. В [1, 2] для количественной оценки отклонения вида функции от пропорциональной предложены характеристики непропорциональностей по производным, по значениям и относительные непропорциональности. Для функции $y(x)$ непропорциональность по производной n-го порядка имеет вид

$$@d_x^{(n)}y = \frac{y}{x^n} - \frac{1}{n!}\frac{d^n y}{dx^n}\,. \tag{9}$$

Здесь $@$ - (коммерческий «эт») – символ вычисления непропорциональности;

d - от англ. *derivative* – производная.

Читается «эт d n y по x».

Непропорциональность по значению (*value*) n -го порядка имеет вид

$$@\vartheta_x^{(n)}y = y - \frac{x^n}{n!}\frac{d^n y}{dx^n}\,. \tag{10}$$

Относительная непропорциональность нечувствительна к масштабу изменения $y(x)$ и выражается формулой

$$@N_x^{(n)}y = 1 - \frac{x^n}{n!y}\frac{d^n y}{dx^n}. \tag{11}$$

Для функции

$$y = kx^n \tag{12}$$

все виды непропорциональностей (9), (10), (11) равны нулю независимо от коэффициента k в (12).

В случае, когда x и y зависят от параметра t, непропорциональность по производной 1-го порядка имеет вид

$$@d_{x(t)}^{(1)}y(t) = \frac{y(t)}{x(t)} - \frac{dy/dt}{dx/dt}. \tag{13}$$

Соответственно непропорциональность по значению 1-го порядка описывается выражением

$$Z(t) = @\vartheta_x^{(1)}y = y(t) - x(t)\frac{dy/dt}{dx/dt}. \tag{14}$$

Непропорциональности (13) и (14) равны нулю, если связь между $x(t)$ и $y(t)$ является пропорциональной (1).

Факт отклонения вида связи от (1) и количественная оценка этого отклонения могут быть определены по значениям непропорциональностей (13) или (14). Для установления характера отклонения и его связи с режимными параметрами удобно использовать непропорциональность по значению 1-го порядка (14), т.к. ее размерность совпадает с размерностью $y(t)$.

Для объектов, описанных выражением (2), в (14) вместо $x(t)$ и $y(t)$ следует подставить соответственно $x_T(t-\tau_3)$ и $y_T(t)$ (3), (4).

Предварительно нужно определить время запаздывания τ_3. Обычно его приближенное значение известно в результате анализа процессов, протекающих при получении готового продукта. Для его уточнения необходимо вычислить непропорциональность (14) при задержке сигнала $x(t)$ на предполагаемое время τ_3. Изменяя это время, необходимо добиться, чтобы непропорциональность (14) стала равной нулю или некоторому заданному близкому к нулю значению. В случае, если этого сделать не удается, можно предположить, что в момент определения τ_3 характеристика объекта отклоняется от (2).

В этом случае необходимо повторить поиск значения τ_3 при другом режиме работы объекта.

Рассмотрим некоторые характерные состояния квазистационарных объектов.

1 Непропорциональность (14) равняется нулю независимо от значения коэффициента пропорциональности k. Могут наблюдаться незначительные отклонения во времени от нуля. Это означает, что объект находится в нормальном (исправном) состоянии и описывается выражением (1) или (2).

2 Непропорциональность (14) отклоняется от нуля и через какое-то время вновь становится нулевой.

Это можно объяснить относительно быстрым изменением k во времени. Объект временно становится нестационарным и описывается выражением

$$y(t) = k(t)x(t). \tag{15}$$

Обычно это бывает, когда эффективность технологического процесса, а значит коэффициент k, быстро (относительно $x(t)$) изменяется от одного постоянного значения к другому, тоже постоянному.

В этом случае непропорциональность (14) для $y(t)$ (15) имеет вид

$$\begin{aligned} Z(t) &= @\vartheta^{(1)}_{x(t)}y(t) = y(t) - x(t)\frac{y'}{x'} = \\ &= k(t)x(t) - x(t)[\frac{k'x + kx'}{x'}] = -\frac{k'x^2(t)}{x'(t)}. \end{aligned} \tag{16}$$

Для квазистационарных объектов коэффициент k изменяется медленно и обычно k' практически равняется нулю.

Соответственно равняется нулю непропорциональность $Z(t)$ (16). И только во время переходного процесса, когда $k'(t) \neq 0$, непропорциональность (16) не равняется нулю.

3 Непропорциональность $Z(t)$ (14) не нулевая и не возвращается к нулю.

В этом случае требуется получить дополнительные данные. Необходимо по $x(t)$ и $Z(t)$ (14) получить усреднённую на текущем интервале $t \in [t - T_k,\ t]$ зависимость $Z(x,t,T_K)$.

Если эта характеристика не зависит от x, то можно предположить, что зависимость между $x(t)$ и $y(t)$ описывается выражением (5). Действительно, в этом случае непропорциональность (14) принимает вид

$$Z(t) = @\vartheta^{(1)}_{x}y = kx(t) + b - x(t)\frac{kx'}{x'} = b. \tag{17}$$

Это свидетельствует, что объект остается линейным, но его статическая характеристика не проходит через нуль.

Если же $Z(x,t,T_K)$ зависит от x, то в ряде случаев по виду этой зависимости можно оценить вид статической характеристики объекта. Так, например, для многих технологических объектов эффективность протекания процесса зависит от нагрузки. То есть коэффициент k в (1), (2) зависит от x.

Например, статическая характеристика $y(x)$ может иметь вид, представленный на рис.1.

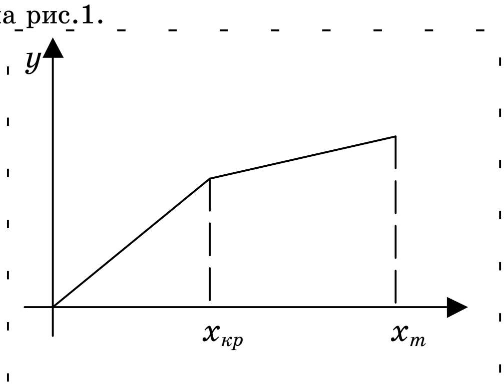

Рисунок 1 – Статическая характеристика y(x)

При $x \in [0,\ x_{кр}]$ эффективность процесса постоянная и выше, чем при $x > x_{кр}$

$$y(t) = \begin{cases} kx(t)\ для\ x \in [0, x_{кр}] \\ kx_{кр} + k_1[x(t) - x_{k_1}]\ для\ x \in [x_{кр}, x_m] \end{cases} \quad (18)$$

Здесь k, k_1 – коэффициенты пропорциональности соответственно для $x \in [0, x_{кр}]$ и для $x \in [x_{кр}, x_m]$;

x_m – максимальное значение $x(t)$.

Для $y(t)$ (18) непропорциональность по значению 1-го порядка (14) принимает вид

$$Z(t) = \begin{cases} 0\ для\ x \in [0, x_{кр}] \\ (k - k_1)x_{кр}\ для\ x \in [x_{кр}, x_m] \end{cases} \quad (19)$$

Таким образом, использование непропорциональности позволяет по текущим значениям входного и выходного процессов, независимо от неизвестного значения коэффициента k в (1), (2), выделить интервалы изменения x, на которых связь между x и y является пропорциональной. Это может позволить определить причины изменения состояния объекта.

В общем случае непропорциональность $Z(t)$ (14) может изменяться во времени, а также от x, и характер этих изменений может отличаться от рассмотренных выше.

В этом случае необходимо попытаться непосредственно установить связь между изменением $Z(t)$ (14) и контролируемыми режимными параметрами $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \ldots \varphi_m(t)$, которые предположительно могут вызывать изменения статической характеристики объекта.

Поскольку рассматриваются квазистационарные объекты, у которых режимные параметры изменяются медленно по сравнению с входным процессом $x(t)$, можно ожидать, что и $Z(t)$ (14) также будет квазистационарным случайным процессом.

В этом случае можно установить причины изменения состояния объекта по результатам исследования статистических связей $Z(t)$ (14) с $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \ldots \varphi_m(t)$. В частности, для этого можно использовать взаимные корреляционные функции (ВКФ).

Для того чтобы ВКФ можно было вычислить по одной достаточно длинной реализации каждого из исследуемых параметров, нужно, чтобы процессы $Z(t)$, $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \ldots \varphi_m(t)$ были стационарные, эргодические.

На практике вычисление требуемых ВКФ не всегда можно реализовать, т.к. вследствие медленного изменения исследуемых случайных параметров не всегда есть возможность получить реализацию достаточной длины для оценки статистической связи.

Кроме того, не всегда исследуемые процессы являются стационарными, эргодическими.

Таким образом, необходимо по реализациям $Z(t)$, $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \ldots \varphi_m(t)$ ограниченной длины, не прибегая к статистическим методам, определить, какие из режимных параметров в текущий момент времени вызывают отклонение зависимости между входным $x(t)$ и выходным $y(t)$ процессами от пропорциональной (1), (2).

Эту задачу можно решить с помощью функций непропорциональностей в соответствии с алгоритмом, предложенным в [3].

Однако для этого требуется, чтобы непропорциональность $Z(t)$ (14) зависела только от исследуемых контролируемых режимных параметров $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \ldots \varphi_m(t)$.Помехи (неконтролируемые воздействия на $Z(t)$ (14)) должны отсутствовать. Пусть имеется перечень контролируемых режимных параметров $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \ldots \varphi_m(t)$. Необходимо определить, какой или какие из них вызывают изменение $Z(t)$ (14).

В соответствии с [3] вначале проверяется предположение, что $Z(t)$ зависит только от одного из предлагаемых параметров и описывается выражением

$$Z(t) = C_i \varphi_i (t - \tau_i),\ i = 1, 2, \ldots m\ , \tag{20}$$

где C_i – коэффициент пропорциональности;

τ_i – время запаздывания между изменением параметра $\varphi_i(t)$ и реакцией на это непропорциональности $Z(t)$.

Вычисляем непропорциональности F_{oi} по производной 1-го порядка (13) функции $Z(t)$ (20) по $\varphi_i(t - \tau_i)$ $(i = 1, 2, m)$:

$$F_{0i}(t, \tau_i) = @d^{(1)}{}_{\varphi_i(t-\tau_i)} Z(t) = \frac{Z(t)}{\varphi_i(t - \tau_i)} - \frac{Z'}{\varphi'_i}\,. \tag{21}$$

Сравниваем $F_{0i}(t, \tau_i)$ $(i = 1, 2, \ldots m)$ с нулем или с заведомо назначенным близким к нулю числом ε . При неизвестном τ_i следует запаздывание изменять в предполагаемой области нахождения его значения.

Если $F_{0i}(t, \tau_i) = 0$, это означает, что имеет место зависимость (20). Таким образом, $\varphi_i(t)$ является причиной изменения состояния объекта.

Если $F_{0i}(t, \tau_i) \neq 0$ для $i = 1, 2, \ldots m$, то следует предположить, что

$$Z(t) = C_i \varphi_i (t - \tau_i) + C_j \varphi_j (t - \tau_j)\,. \tag{22}$$

То есть $Z(t)$ является суммой, варианты которой можно рассматривать как сочетание по два режимных параметра из m $(i = 1, 2, \ldots m,\ j = 2, 3, \ldots m,\ i \neq j)$.

Для $Z(t)$ (22) напишем выражение для ее непропорциональности (13) по функции $\varphi_i(t - \tau_i)$:

$$\begin{aligned} F_{0i}(t, \tau_i) &= @d^{(1)}{}_{\varphi_i(t-\tau_i)} Z(t) = \frac{Z(t)}{\varphi_i(t - \tau_i)} - \frac{\frac{d}{dt}[z(t)]}{\frac{d}{dt}[\varphi_i(t - \tau_i)]} = \\ &= C_j\ @d^{(1)}{}_{\varphi_i(t-\tau_i)} \varphi_j(t - \tau_j) = C_j F_{ji}\ , \end{aligned} \tag{23}$$

где F_{ji} – непропорциональность (13) функции $\varphi_j(t - \tau_j)$ по $\varphi_i(t - \tau_i)$.

Выражение (23) отражает пропорциональную зависимость между функциями $F_{0i}(t, \tau_i)$ и $F_{ji}(t, \tau_i, \tau_j)$ для текущего момента времени t , где C_j – неизвестный коэффициент пропорциональности.

Изменяя $\tau_i \in [0, T_i]$ и $\tau_j \in [0, T_j]$, вычисляем непропорциональность F_{0iji} функции (23) по $F_{ji}(t, \tau_i, \tau_j)$:

$$F_{0iji}(t,\tau_i,\tau_j) = @d^{(1)}{}_{F_{ji}(t,\tau_i,\tau_j)} F_{0i}(t,\tau_i)\,. \qquad (24)$$

Проверяем условие

$$F_{0iji}(t,\tau_i,\tau_j) = 0\,. \qquad (25)$$

Если для сочетания i-го и j-го режимных параметров условие (25) выполняется, значит $Z(t)$ имеет вид (22), и эти параметры являются причиной изменеиия состояния объекта.

Иначе необходимо продолжить выполнение алгоритма, изложенного в [3].

Таким образом, поставленная задача решена. По текущим значениям входного и выходного процессов и их производным с помощью функций непропорциональностей осуществляется оперативный контроль технического состояния квазистационарных объектов.

SUMMARY

On current values of entrance and target processes and their derivatives with the help of functions of disproportions the operative control of a technical condition of quasi-stationary objects is carried out.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение. Деп. В ГНТБ Украины 19.01.98, N59- Ук98.
2. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применения при решении задач диагностики // Вісник СумДУ. – 2000. - N16.
3. Авраменко В.В., Карпенко А.П., Распознавание фрагментов заданных эталонов в анализируемом сигнале с помощью функций непропорциональностей // Вісник СумДУ. – 2002. - N1 (34).

Поступила в редакцию 13 февраля 2006 года.

УДК 681.518:519.718

РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, РЕАЛИЗОВАННАЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛЬЮ ТАКАГИ-СУГЕНО

В.С. Ноздренков

Сумский государственный университет

Предлагается подход к вычислению итоговой рейтинговой оценки знаний с использованием гибридной нечетко-нейронной информационной технологии. Предложена структура нечеткой экспертной системы вывода итоговой оценки, разработана совокупность нечетких предикатных правил функционирования системы, реализован нечеткий логический вывод согласно модифицированному алгоритму Такаги-Сугено.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Достижения в области компьютерных технологий и вычислительных сетей обеспечивают необходимые технические возможности для разработки и внедрения в систему образования современных информационных технологий [1]. Наиболее весомым вкладом в решение этих задач является применение автоматизированных систем обучения и контроля знаний, математическое обеспечение которых основано на