

УДК 681.2

Ю.Н. Харламова, В.И. Корсун

Национальный горный университет, Днепропетровск

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТЯЖЕЛОГО ШАРИКА В ЗАДАЧЕ АДАПТИВНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ОБЪЕКТА

*Продемонстрирован разработанный авторами алгоритм получения оценок значений неизвестных параметров квазистационарного объекта управления при помощи ИИС с двумя адаптивными каналами, структуры которых перестраиваются, а параметры целенаправленно изменяются. Рассматриваемый адаптивный алгоритм работает в режиме последовательного оценивания неизвестных параметров объекта. На каждом этапе оценки неизвестных параметров структуры каналов перестраивается, что позволяет им максимально приблизиться по свойствам к исследуемому объекту. В основе этого изменения лежит принцип дуализма моделей системы и сигнала. Целенаправленная вариация параметров каналов ИИС происходит в соответствие с алгоритмом, который реализует энергетическое взаимодействие двух тяжелых шариков.*

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система, адаптивные каналы, перестраиваемые структуры измерительных каналов, целенаправленная вариация параметров, энергетическое взаимодействие двух шариков.

### Введение

**Постановка проблемы.** При решении задач автоматизированного управления и контроля целесообразно использовать адаптивные информационно-измерительные системы (ИИС), благодаря которым можно получать текущие характеристики управляемого или контролируемого процесса. Во время оценивания значений параметров реальных технических объектов возникают нежелательные изменения параметров настраиваемых каналов ИИС, обусловленные различием между энергетическими характеристиками этих каналов. Если же осуществлять процедуру оценивания параметров объекта, используя обмен энергией между двумя адаптивными каналами, то можно с успехом устранить нежелательные колебания варьируемых параметров каналов ИИС.

**Анализ последних достижений и публикаций.** При адаптивном оценивании параметров динамических объектов возникают энергетические колебания, которые приводят к снижению эффективности работы информационно-измерительных систем. В работе [1] с целью улучшения качественных характеристик процесса идентификации решалась задача перераспределения запасенной энергии между двумя одинаковыми по структуре адаптивными моделями. При этом одна из моделей имела более высокие, а другая – более низкие, чем идентифицируемый объект, энергетические характеристики. С целью нахождения значений параметров объекта процесс настройки параметров адаптивной модели осуществлялся градиентными методами.

**Цель работы:** описание разработанного авторами алгоритма оценивания параметров модели

объекта управления с помощью ИИС, параметры каналов которой целенаправленно варьируются, реализуя принципы симметрии и энергетическое взаимодействие двух тяжелых шариков.

### Основная часть

Рассмотрим электрическую RLC цепь, динамика которой описывается интегро-дифференциальным уравнением:

$$L \cdot i^{(1)}(t) + R \cdot i(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau = g \cdot t, \quad i(0) = 0, \quad (1)$$

где параметры  $L$ ,  $R$  и  $C$  неизвестны и подлежат оценке;  $i(t)$  - ток, протекающий в цепи;  $g$  - известный параметр.

Продифференцировав уравнение (1) и положив  $x(t) = i(t)$ ,  $a_0 = 1/C$ ,  $a_1 = R$ ,  $a_2 = L$ , получим дифференциальное уравнение:

$$a_2 x^{(2)}(t) + a_1 x^{(1)}(t) + a_0 x(t) = g, \quad (2)$$

Воспользовавшись услугами ИИС с двумя взаимодействующими между собой каналами, чья динамика описывается дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} b_2 y^{(2)}(t) + b_1 y^{(1)}(t) + b_0 y(t) = q_0(t); \\ c_2 z^{(2)}(t) + c_1 z^{(1)}(t) + c_0 z(t) = q_0(t), \end{cases} \quad (3)$$

произведем оценку параметра  $a_0$  объекта (2).

Здесь  $y(t)$  и  $z(t)$  - выходные сигналы каналов,  $q_0(t) = g \cdot 1[t]$  - входной сигнал [2].

После того, как переходные процессы объекта закончатся и параметр будет найдена оценка  $a_0^*$

параметра  $a_0$ , перестроим каналы ИИС так, чтобы их динамика описывалась дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} b_2 y^{(1)}(t) + b_1(t)y(t) = q_1(t); \\ c_2 z^{(1)}(t) + c_1(t)z(t) = q_1(t), \end{cases} \quad (4)$$

где  $q_1(t) = \int_0^t g dt - a_0^* \int_0^t x(t) dt$  – входной сигнал.

Поскольку  $a_0^*$  – найденная оценка параметра  $a_0 = 1/C$ , то оценка значения

$$C^* = 1/a_0^* .$$

После получения оценок параметров  $a_0^*$  и  $a_1^*$  происходит перестройка каналов ИИС таким образом, что их динамика начинает описываться уравнениями:

$$\begin{cases} b_2(t)y(t) = q_2(t); \\ c_2(t)z(t) = q_2(t), \end{cases} \quad (5)$$

где  $q_2(t) = \int_0^t \int_0^t g dt^2 - a_0^* \int_0^t \int_0^t x(t) dt^2 - a_1^* \int_0^t x(t) dt$  – вход-

ной сигнал;  $a_1^*$  – оценка параметра  $a_1 = R$ , т.е. оценка значения

$$R^* = a_1^* .$$

Целенаправленную вариацию параметров  $b_i(t)$ ,  $c_i(t)$ , ( $i = 0, 2$ ) каналов (3-5) осуществим с помощью алгоритма метода тяжелого шарика [3 – 5].

Алгоритм сближения соответствующих пар варьируемых параметров каналов ИИС, который реализует энергетическое взаимодействие одинаковых по характеристикам тяжелых шариков, имеет вид:

$$\begin{cases} \xi_{i1}^{(1)}(t) = \xi_{i2}(t); \\ \xi_{i2}^{(1)}(t) = -\alpha_i x(t) [(2x(t) - y(t)) \xi_{i1}(t) - z(t) \zeta_{i1}(t)] - \beta_i \cdot \xi_{i2}(t); \\ \zeta_{i1}^{(1)}(t) = \zeta_{i2}(t); \\ \zeta_{i2}^{(1)}(t) = -\alpha_i x(t) [(2x(t) - z(t)) \zeta_{i1}(t) - y(t) \xi_{i1}(t)] - \beta_i \cdot \zeta_{i2}(t), \end{cases} \quad (6)$$

$$\xi_{i1}(0) = b_{i0}, \quad \xi_{i2}(0) = 0,$$

$$\zeta_{i1}(0) = c_{i0}, \quad \zeta_{i2}(0) = 0,$$

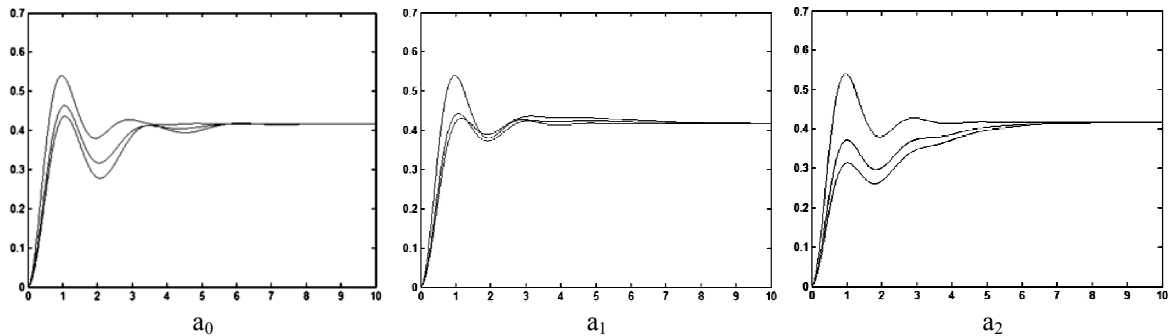
$$b_i(t) = \xi_{i1}(t),$$

$$c_i(t) = \zeta_{i1}(t) \quad (i = 0, 1, 2),$$

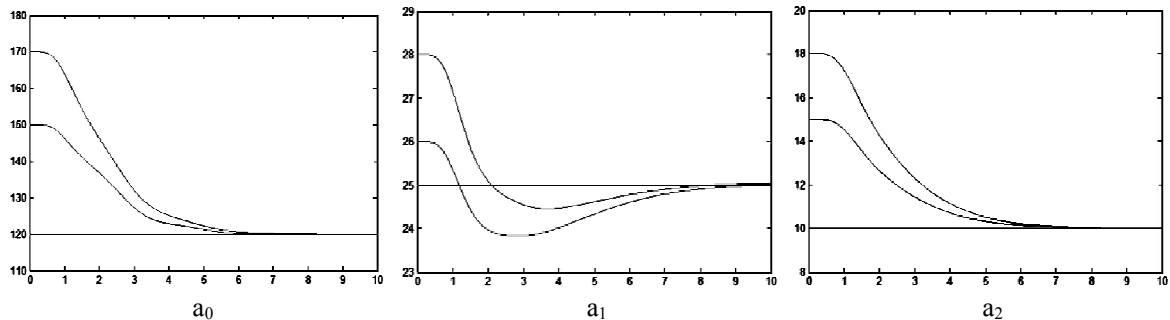
коэффициенты  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  зависят от массы  $i$ -го тяжелого шарика и коэффициента затухания его движению.

Результаты математического моделирования процессов оценки параметров  $a_0, a_1, a_2$  представлены на рис. 1.

Время сходимости параметров  $b_1(t)$  и  $c_1(t)$  друг к другу и к оцениваемому параметру  $a_1$  зависит от значения коэффициентов  $\alpha_i$  и  $\beta_i$ .



а – переходные процессы объекта и каналов ИИС



б – процессы вариации параметров каналов ИИС

Рис. 1. Графики результатов моделирования процесса оценивания параметров  $a_0, a_1, a_2$

Для оценки параметра  $a_0$  объекта (2) в соответствии с алгоритмами (3) и (6) были заданы начальные условия:  $b_{00} = 150$ ,  $c_{00} = 170$ , выбраны следующие параметры:  $\alpha_0 = 2.4$ ,  $\beta_0 \geq 1.8$ . Конечные значения варьируемых параметров каналов ИИС составили:  $b_0 = 119.9910$  и  $c_0 = 120.0041$ .

При оценке параметра  $a_1$  объекта (2) согласно алгоритмам (4) и (6) были заданы начальные условия:  $b_{10} = 28$ ,  $c_{10} = 26$  и выбраны следующие параметры:  $\alpha_1 = 2.05$ ,  $\beta_1 \geq 1.99$ . Расчетные значения варьируемых параметров составили:  $b_1 = 25.0281$  и  $c_1 = 25.0009$ .

Оценивание параметра  $a_2$  объекта (2) в соответствии с алгоритмами (5) и (6) выполнялось при следующих начальных условиях:  $b_{20} = 15$ ,  $c_{20} = 18$  и параметрах:  $\alpha_2 = 1.84$ ,  $\beta_2 \geq 1.5$ . Расчетные значения составили:  $b_2 = 9.9995$  и  $c_2 = 9.9992$ .

### Выводы и перспективы дальнейшего исследования

В статье исследована работа алгоритма идентификации, основанного на энергетическом взаимодействии двух адаптивных каналов ИИС, в которых процесс вариации параметров каналов осуществляется с помощью метода тяжелого шарика. Результаты исследования показали, что применение метода тяжелого шарика в процессе настраивания параметров адаптивной модели дает положительный результат: с течением времени параметры  $b_i(t)$ ,  $c_i(t)$  моделей, структуры которых перестраиваются, сходятся асимптотически не только друг к другу, но и к

$a_i$ , ( $i = \overline{0, 2}$ ) параметрам объекта. В результате этого процесса происходит оценка значений  $L$ ,  $R$  и  $C$  электрической цепи. Кроме того, представленные алгоритмы обладают хорошей работоспособностью и достаточно высокой точностью.

### Список литературы

1. Харламова Ю. Н. Оценка параметров объекта с помощью энергетического взаимодействия адаптивных моделей с перестраиваемыми структурами. / Ю.Н. Харламова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: міжнарод. науч.-тех. конф. (5-10 червня 2015 р., Одеса) : тезиси доповідей / Одес. нац. акад. зв'язку ім. Попова. – Одеса-Хмельницький : ХНУ, 2015. – С. 151-153. – ISBN 978-966-330-228-7.
2. Корсун В.И. Методы и системы адаптивной идентификации и управления, использующие принципы симметрии. / В.И. Корсун – Д. : ДВНП Системные технологии, 1997. – 130 с.
3. Харламова Ю.Н. Оценка работоспособности симметричного алгоритма метода тяжелого шарика при поиске глобальных экстремумов тестовых функций. / Ю.Н. Харламова – Д. : Горная электромеханика и автоматика. – 2015. – № 95. – С. 36-40.
4. Kharlamova Y.N. Study of the process of seeking global extremum of function by symmetric algorithms with parallel space. / Y.N. Kharlamova, V.I. Korsun – Dnepropetrovsk : System technologies. – 2015. - №5(100). – P. 151-160.
5. Korsun V. Paralleling of extremum seeking process in technical problems. / V. Korsun, Y.N. Kharlamova // Proceedings of the 5th Int. Academic Congress "Science, Education and Culture in Eurasia and Africa" (France, Paris, 23-25 March 2015). "Paris University Press", 2015. - P. 42-47.

Поступила в редколлегию 31.03.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Михалев, ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск.

### ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВАЖКОЇ КУЛЬКИ В ЗАДАЧІ АДАПТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КВАЗІСТАЦІОНАРНОГО ОБ'ЄКТА

Ю.М. Харламова, В.І. Корсун

*Продемонстрований розроблений авторами алгоритм отримання оцінок значень невідомих параметрів квазістаціонарного об'єкта управління за допомогою ІВС з двома адаптивними каналами, структури яких перебудовуються, а параметри цілеспрямовано змінюються. Розглянутий адаптивний алгоритм працює в режимі послідовного оцінювання невідомих параметрів об'єкта. На кожному етапі оцінки невідомих параметрів структури каналів перебудовується, що дозволяє їм максимально наблизитися за властивостями до досліджуваного об'єкта. В основі цієї зміни лежить принцип дуалізму моделей системи і сигналу. Цілеспрямована варіація параметрів каналів ІВС відбувається у відповідність з алгоритмом, який реалізує енергетичну взаємодію двох важких кульок*

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система, адаптивні канали, структури вимірювальних каналів, що перебудовуються, цілеспрямована варіація параметрів, енергетична взаємодія двох кульок.

### USING HEAVY BALL METHOD FOR PROBLEM OF ADAPTIVE PARAMETERS ESTIMATION OF QUASISTATIONARY OBJECT

Yu.M. Kharlamova, V.I. Korsun

*The algorithm for obtaining the estimates of unknown parameters of the quasi-stationary control target using an information and measurement system with two adaptive channels, which structure are rebuilt and parameters are changed intentionally developed by the authors is shown. The considered adaptive algorithm operates on a sequential estimation procedures of unknown parameters object. At each stage of estimating unknown parameters structures of channels are rebuilt, which allows them to get as close to the properties of the object under study. The basis of this change is the principle of duality models of system and signal. Purposeful variation of parameters of the channels of information measuring system is in accordance with an algorithm that realizes the energy interaction between the two heavy balls.*

**Keywords:** information measuring system, adaptive channel, reconfigurable structures measuring channels, deliberate variation of parameters, energy interaction of two balls.