

УДК 681.511.4

**Бобух Анатолий Алексійович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. Вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: [aabobukh@ukr.net](mailto:aabobukh@ukr.net) ([orcid.org/0000-0002-3405-386X](https://orcid.org/0000-0002-3405-386X))

**Ковальов Дмитро Олександрович**, канд. техн. наук, доцент кафедри теплохолодопостачання,  
Тел. +38-099-007-12-46. E - mail: [kovalyov\\_d\\_a@mail.ru](mailto:kovalyov_d_a@mail.ru) ([orcid.org/0000-0002-0668-8593](https://orcid.org/0000-0002-0668-8593))

**Клімов Андрій Олександрович**, асистент кафедри теплохолодопостачання, Тел. +38-050-130-71-81. E - mail: [movkli@yandex.ua](mailto:movkli@yandex.ua) ([orcid.org/0000-0002-0403-7981](https://orcid.org/0000-0002-0403-7981))

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна. Вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002.

### АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

*В статті розроблено адаптивний алгоритм для ідентифікації нестационарних об'єктів, який дозволяє оперативно отримувати достовірну інформацію про об'єкт керування та підвищувати якість процесу керування об'єктом. Розроблений алгоритм доцільно використовувати при розробці комп'ютерно-інтегрованих систем керування технологічними об'єктами міського господарства, впровадження цих систем сприятиме підвищенню економії енергоресурсів.*

**Ключові слова:** адаптивний алгоритм, комп'ютерно-інтегровані системи керування, об'єкти міського господарства, економія енергоресурсів.

**Бобух Анатолий Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: [aabobukh@ukr.net](mailto:aabobukh@ukr.net) ([orcid.org/0000-0002-3405-386X](https://orcid.org/0000-0002-3405-386X))

**Ковалев Дмитрий Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры теплохладоснабжения, Тел. +38-099-007-12-46. E - mail: [kovalyov\\_d\\_a@mail.ru](mailto:kovalyov_d_a@mail.ru) ([orcid.org/0000-0002-0668-8593](https://orcid.org/0000-0002-0668-8593))

**Климов Андрей Александрович**, ассистент кафедры теплохладоснабжения, Тел. +38-050-130-71-81. E - mail: [movkli@yandex.ua](mailto:movkli@yandex.ua) ([orcid.org/0000-0002-0403-7981](https://orcid.org/0000-0002-0403-7981))

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина. Ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002.

### АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ ГОРОДСЬКОГО ХОЗЯЙСТВА

*В статті розроблено адаптивний алгоритм для ідентифікації нестационарних об'єктів, який дозволяє оперативно отримувати достовірну інформацію об'єкту управління та підвищувати якість процесу управління об'єктом. Розроблений алгоритм цілеспрямовано використовувати при розробці комп'ютерно-інтегрованих систем управління технологічними об'єктами міського господарства, впровадження цих систем буде сприяти підвищенню економії енергоресурсів.*

**Ключевые слова:** адаптивний алгоритм, комп'ютерно-інтегровані системи управління, об'єкти міського господарства, економія енергоресурсів.

**Bobukh Anatoliy Alekseevich**, Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring

The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel. +38-096-233-47-96. E - mail: [aabobukh@ukr.net](mailto:aabobukh@ukr.net) ([orcid.org/0000-0002-3405-386X](https://orcid.org/0000-0002-3405-386X))

**Kovalyov Dmytro Oleksandrovich**, Ph.D., associate professor Department of Heat supply and cooling.  
Tel. +38-099-007-12-46. E - mail: [kovalyov\\_d\\_a@mail.ru](mailto:kovalyov_d_a@mail.ru) ([orcid.org/0000-0002-0668-8593](https://orcid.org/0000-0002-0668-8593))

**Klimov Andrii Oleksandrovich**, assistant of professor Department of Heat supply and cooling, Tel. +38-050-130-71-81. E - mail: [movkli@yandex.ua](mailto:movkli@yandex.ua) ([orcid.org/0000-0002-0403-7981](https://orcid.org/0000-0002-0403-7981))

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Str. Revolution, 12, Kharkiv, Ukraine, 61002.

### ADAPTIVE ALGORITHM FOR AUTHENTICATION OF CONTROL OBJECT OF MUNICIPAL ECONOMY

*In the article an adaptive algorithm is worked out for authentication of non-stationary objects, that allows operatively to get reliable information about the object of control, and improves quality control process an object. The*

worked out algorithm it is expedient to use for development of computer-integrated control system the technological objects of municipal economy, introduction of these systems will assist the increase of economy of power resources.

**Keywords:** adaptive algorithm, computer-integrated control system, objects of municipal economy, economy of power resources.

### Введение

Одной из актуальных задач, возникающих при разработке компьютерно-интегрированных систем управления (КИСУ) технологическими объектами городского хозяйства (в частности, тепло-, водо-, газо- и электроснабжения) с переменными параметрами, является разработка достаточно простых и удобных в использовании адаптивных алгоритмов для идентификации таких объектов, обеспечивающих как повышение скорости процесса идентификации, так и повышение быстродействия объекта управления в целом.

**Цель работы.** Разработка адаптивного алгоритма для идентификации нестационарного объекта управления, который обеспечивает повышение быстродействия объекта за счет ускорения процесса его идентификации.

### Основная часть

Реализацию адаптивного алгоритма для идентификации нестационарных объектов с управляющими воздействиями релейного типа целесообразно выполнять на базе современного микропроцессорного контроллера (МПК), который применяется при разработке КИСУ, с многофункциональным специальным программным обеспечением (СПО). Высокопроизводительный, многоканальный, быстродействующий и высоконадежный МПК в реальном масштабе времени по СПО сможет обеспечивать выполнение всех необходимых стандартных функций разработанного алгоритма [1, 2].

Учитывая результаты исследований в области нелинейного и адаптивного управления сложными динамическими системами [3–10], в частности, технологическими объектами городского хозяйства, целесообразной задачей для повышения экономии энергоресурсов представляется разработка и внедрение алгоритмов для компьютерно-интегрированных систем управления указанными объектами.

Рассмотрим процесс разработки адаптивного алгоритма для идентификации нестационарного объекта управления с управляющими воздействиями релейного типа  $r: V_1, \dots, V_r$  и с  $m$  измеряемыми выходными параметрами:  $Y_1, \dots, Y_m$ . На рис. 1 показан фрагмент упрощенной схемы соединения 13 функциональных блоков адаптивного алгоритма.

Указанные управляющие воздействия подаются на релейный блок (1) разрабатываемого алгоритма, который преобразует их в виде значений:

$$\text{sign} V_i = \begin{cases} 0 & \text{при } |V_i| < \delta \\ +1 & \text{при } V_i \geq \delta \\ -1 & \text{при } V_i \leq -\delta, \end{cases} \quad (1)$$

где  $i = \overline{1, r}$ ; а  $\delta$  – средние значения управляющих воздействий.

На выходе релейного блока (1) алгоритма формируется совокупность управляющих воздействий вида:  $\text{sign} V_1, \dots, \text{sign} V_r$ , которая подается на входы блока входного амплитудно-импульсного модулятора алгоритма (АИМА) (2) и объекта управления (3).

Выходные сигналы объекта управления (3)  $Y_1, \dots, Y_m$  измеряют с помощью чувствительного элемента (4) алгоритма и подают на входы выходного (5) АИМА. Блоки входного (2) и выходного (5) АИМА осуществляют дискретное преобразование аналоговых входных и выходных сигналов объекта управления (3), в результате чего на их выходах получают последовательность импульсов:  $\text{sign} V_1[n], \dots, \text{sign} V_r[n]$  и  $Y_1[n], \dots, Y_m[n]$  в дискретные моменты времени  $n$ .

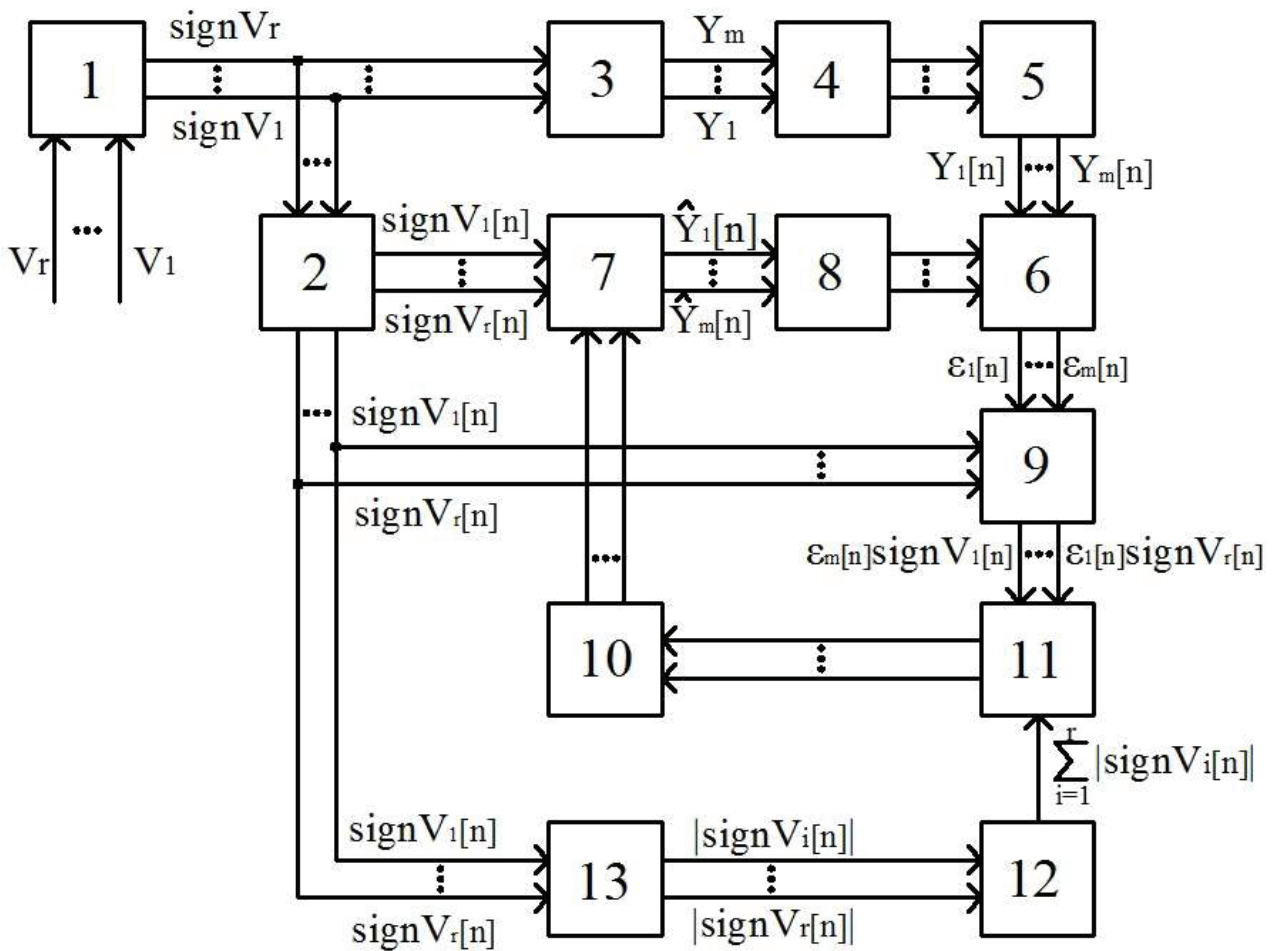


Рис. 1. Фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков адаптивного алгоритма для идентификации нестационарных объектов управления

Сигналы с выхода блока входного (2) АИМА подаются на входы блока модели объекта управления алгоритма (МОУА) (7), блоков умножения (9) и выпрямителей (13) алгоритма. На выходах блока (7) МОУА появляются сигналы:  $\hat{Y}_1[n], \dots, \hat{Y}_m[n]$ , которые через модели чувствительных элементов (8) алгоритма подаются на входы блока сумматора сравнения (6) алгоритма. Этот блок (6) осуществляет сравнение откликов объектов (3) и МОУА (7), в результате чего на его выходах появляется совокупность сигналов о рассогласовании между блоком МОУА (7) и объектом управления (3) вида:  $\varepsilon_1[n], \dots, \varepsilon_m[n]$ .

Ошибки рассогласования подаются на входы блока умножения (9) алгоритма, на другие входы которого подается информация о входных воздействиях.

В результате выполнения функции умножения на выходе блока умножения (9) алгоритма получается совокупность векторов вида:  $\varepsilon_1[n]signV[n], \dots, \varepsilon_m[n]signV[n]$ , где  $signV[n] = (signV_1[n], \dots, signV_r[n])^T$ . Таким образом, на каждой итерации блок умножения (9) алгоритма рассчитывает  $r$  транспонированных произведений, которые подаются на входы делимого блока делителя (11) алгоритма.

Совокупность сигналов  $signV[n] = (signV_1[n], \dots, signV_r[n])^T$  с выхода блока входного (2) АИМА подается на входы блока выпрямителей (13) алгоритма, образованного  $r$  двухполупериодными выпрямителями. В результате операции выпрямления импульсов на выходе блока выпрямителей (13) алгоритма появляется совокупность положительных импульсов вида:  $|signV_1[n]|, \dots, |signV_r[n]|$ . Эти импульсы подаются на входы блока сумматора

(12) алгоритма, где складываются, в результате чего на выходе блока (12) алгоритма получается сигнал:

$$\sum_{i=1}^r | \text{sign} V_i[n] | = \text{sign} V^T[n] \text{sign} V[n]. \quad (2)$$

Этот сигнал подается на вход блока делителя (11) алгоритма, который вырабатывает сигнал, поступающий через блок настройки параметров модели (10) алгоритма, для коррекции коэффициентов блока МОУА (7) вида:  $\frac{\varepsilon_i[n] \text{sign}[n]}{\text{sign} V^T[n] \text{sign} V[n]}, \dots, \frac{\varepsilon_m[n] \text{sign} V[n]}{\text{sign} V^T[n] \text{sign} V[n]}$ .

С помощью блока настройки параметров модели (10) алгоритма осуществляется подстройка коэффициентов блока МОУА (7) пропорционально сигналам, поступающим с выхода блока делителя (11) алгоритма. Структура адаптивного алгоритма для идентификации нестационарного объекта управления такова, что на каждом шаге обеспечивается наибольшая скорость уменьшения ошибки рассогласования.

В качестве примера рассмотрим нестационарный динамический объект с  $r$  входами и одним выходом. Чувствительный элемент принимаем в виде блока пропорционального звена алгоритма с коэффициентом усиления, равном 1.

Широкий класс таких динамических объектов может быть описан дискретным уравнением вида:

$$Y[n] = \sum_{i=1}^r \alpha_i * V_i[n] = A *^T V[n], \quad (3)$$

где  $\alpha_i *$  – неизвестные коэффициенты объекта управления, подлежащие определению.

Уравнение модели объекта управления может быть задано в виде:

$$\hat{Y}[n] = \sum_{i=1}^r \alpha_i[n-1] V_i[n] = A^T[n-1] V[n], \quad (4)$$

где  $\alpha_i[n-1]$  – оценки параметров объекта управления, вычисленные на  $(n-1)$ -м шаге идентификации.

Меру качества идентификации можно охарактеризовать критерием близости координат модели объекта управления и объекта управления:

$$I = \sum_n | \varepsilon[n] |, \quad (5)$$

представляющим собой сумму модулей ошибок рассогласования выходных координат модели объекта управления и объекта управления. Достоинством критерия (5) является его нечувствительность к виду функции распределения помех. При минимизации по методу градиента критерия (5), получают законы изменения коэффициентов модели объекта управления в виде:

$$\alpha_i[n] = \alpha_i[n-1] - \mathcal{G}_i[n] (V[n] - \sum_{i=1}^r \alpha_i[n-1] V_i[n]) \text{sign} V_i[n]. \quad (6)$$

Выбор коэффициента пропорциональности  $\mathcal{G}_i[n]$  и типа входного воздействия  $V_i[n]$  определяют скорость сходимости процесса идентификации.

Нетрудно видеть, что модификацией алгоритма (6) является адаптивный алгоритм для идентификации нестационарного объекта управления вида:

$$A[n] = A[n-1] + \lambda \frac{Y[n] - A^T[n-1] \text{sign}V[n]}{\text{sign}V^T[n] \text{sign}V[n]} \text{sign}V[n]. \quad (7)$$

Если для характеристики скорости сходимости процесса идентификации, реализуемого разрабатываемым адаптивным алгоритмом для идентификации нестационарного объекта, использовать монотонную функцию, то не сложно получить, что указанная сходимость характеризуется величиной вида :

$$\psi[n] = \frac{(V^T[n-1] \text{sign}V[n])^2}{(\text{sign}V^T[n] \text{sign}V[n])} > 0, \quad (8)$$

следовательно, обеспечивается монотонное убывание ошибки определения параметров объекта управления и повышение скорости процесса идентификации.

Особенно эффективно использование разработанного адаптивного алгоритма для идентификации объекта в системах оптимального управления объектами городского хозяйства, когда управляющие воздействия носят релейный характер. В этом случае нет необходимости в разделении во времени процессов управления и идентификации, так как идентификация осуществляется одновременно с процессом управления. Некритичность к закону распределения помех, высокая помехоустойчивость и повышенное быстродействие расширяют функциональные возможности разработанного алгоритма.

#### Вывод

Разработанный адаптивный алгоритм для идентификации нестационарных объектов позволяет оперативно получать достоверную информацию об объекте управления, что ведет к повышению качества процесса управления объектом. Его целесообразно использовать при разработке компьютерно-интегрированных систем управления быстропротекающими стохастическими технологическими объектами городского хозяйства, а это, в свою очередь, способствует повышению экономии энергоресурсов.

#### Список использованной литературы:

1. Жук В. И. Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе: опыт построения [Текст] / В. И. Жук. Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 01 (82). – С. 41–43.
2. Бобух А. А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А. А. Бобух, Д. А. Ковалев; под ред. А. А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2013. – 226 с.
3. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления [Текст] / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 680 с.
4. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации [Текст] / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука, 1995. – 336 с.
5. А. с. 875337 СССР, М. Кл. <sup>3</sup> G 05 В 17/00. Адаптивная система для идентификации объекта управления / И. Д. Зайцев, Г. А. Трутнев, А. А. Бобух и др. (СССР). № 2888202 / 28-24; заяв. 26.02.80; опубли. 23.10.81, Бюл. № 39.
6. Annaswamy A. M., Skantze F. P., Loh A.-P. Adaptive control of continuous time systems with convex/concave parametrization [Text] // Automatica. – 1998. – Vol. 34, № 1. – P. 33–49.
7. Мирошник И. В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / И. В. Мирошник, В. О. Никифоров, А. Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
8. Лукашин Ю. П., Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов [Текст] / Ю. П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
9. Тюкин И. Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И. Ю. Тюкин, В. А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
10. Подустов М. А. Моделирование процессов нелинейных динамических систем / Подустов М. А., Бобух А. А., Ковалёв Д. А. // Интегровані технології та енергозбереження : Науково-практичний журнал, № 4.–Х: НТУ «ХП», 2013. – С. 32–37.

#### References:

1. Zhuk, V. I. (2010). Microprocessor-based controllers and control system on their basis: experience of construction [Mikroprocessornye kontrollery i sistemy upravlenija na ih osnove: opyt postroeniija], Jenergetika i TJeK, № 01 (82), P. 41–43.

2. Bobuh, A. A., Kovalyov, D. A. (2013). Computer-integrated system of automation of technological objects of control centralized heat-supply: monograph [Kompjuterno-integririvannaja sistema avtomatizacii tehnologicheskikh obektov upravlenija centralizovannym teplosnabzheniem: monografija], HNUGH im. A. N. Beketova, Kharkiv, 226 p.
3. Jejkhoff P. (1975). Bases of authentication of control system [Osnovy identifikacii sistem upravlenija], Mir, Moscow, 680 p.
4. Cypkin, Ja. Z. (1995). Informative theory of authentication [Informacionnaja teorija identifikacii], Nauka, Moscow, 336 p.
5. A. s. 875337 SSSR, M. Kl. G 05 B 17/00. Adaptive system for authentication of object of control [Adaptivnaja sistema dlja identifikacii ob#ekta upravlenija] I. D. Zajcev, G. A. Trutnev, A. A. Bobuh i dr. (SSSR). № 2888202 / 28-24; zajav. 26.02.80; opubl. 23.10.81, Bjul. № 39.
6. Annaswamy, A. M., Skantze, F. P., Loh, A.-P. (1998). Adaptive control of continuous time systems with convex/concave parametrization, Automatica, Vol. 34, № 1, P. 33–49.
7. Miroshnik I. V., Nikiforov, V. O., Fradkov A. L. (2000). Nonlinear and adaptive control by the difficult dynamic systems [Nelinejnoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamicheskimi sistemami], Nauka, SPb, 549 p.
8. Lukashin, Ju. P. (2003). Adaptive methods of short-term prognostication of temporal rows [Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov], Finansy i statistika, Moscow, 416 p.
9. Tjukin I. Ju., Terehov, V. A. (2008). Adaptation in the nonlinear dynamic systems: monograph [Adaptacija v nelinejnyh dinamicheskikh sistemah: monografija], LKI, SPb, 384 p.
10. Podustov, M. A., Bobuh, A. A., Kovalyov, D. A. (2013). Design of processes of the nonlinear dynamic systems [Modelirovanie processov nelinejnyh dinamicheskikh sistem], Integrovani tehnologii ta energozberezhenija, № 4, pp. 32–37.

Поступила в редакцию 20.12 2014 г.