

УДК: 681.51:62–503.57:66.012

Бобух Анатолий Олексійович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Дзевочко Олександр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Подустов Михайло Олексійович, д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедрою автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. Вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002.

Ковальов Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри теплохолодопостачання. Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна. Вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002. Тел. +38-099-007-12-46. E - mail: kovalyov_d_a@mail.ru (orcid.org/0000-0002-0668-8593)

АЛГОРИТМ АДАПТАЦІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ПОСЛІДОВНОГО СІМПЛЕКС-МЕТОДУ

У статті розроблено алгоритм адаптаційної оптимізації технологічних об'єктів керування на основі послідовного симплекс-методу що має підвищену швидкодію і завадостійкість, а також дозволяє вирішувати завдання екстремальної оптимізації багатовимірних стохастичних технологічних об'єктів керування хімічних і суміжних виробництв, схильних до дій перешкод.

Ключові слова: алгоритм адаптаційної оптимізації, комп'ютерно-інтегровані системи керування, технологічний об'єкт керування.

Бобух Анатолий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Дзевочко Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Подустов Михаил Алексеевич, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail: podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002.

Ковалёв Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплохладоснабжения. Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина. Ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002. Тел. +38-099-007-12-46. E - mail: kovalyov_d_a@mail.ru (orcid.org/0000-0002-0668-8593)

АЛГОРИТМ АДАПТАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СИМПЛЕКС-МЕТОДА

В статье разработан алгоритм адаптационной оптимизации технологических объектов управления на основе последовательного симплекс-метода обладающий повышенным быстродействием и помехоустойчивостью, а также позволяющий решать задачи экстремальной оптимизации многомерных стохастических технологических объектов управления химических и смежных производств, подверженных воздействиям помех.

Ключевые слова: алгоритм адаптационной оптимизации, компьютерно-интегрированные системы управления, технологический объект, управления.

Bobukh Anatoliy Alekseevich, Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Тел. +38-096-233-47-96. E - mail: aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)

Dzevochko Alexander Mikhajlovich, Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. Тел. +38-096-937-46-68. E - mail: sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)

Podustov Mikhail Alekseevich, Ph.D., Professor, head of department of automation of the chemical-technological

systems and ecological monitoring. *Tel.* +38-067-577-65-57. *E - mail:* podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. *Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002.*

Kovalyov Dmytro Oleksandrovich, Ph.D., associate professor Department of Heat supply and cooling.

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. *Str. Revolution, 12, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel.* +38-099-007-12-46. *E - mail:* kovalyov_d_a@mail.ru (orcid.org/0000-0002-0668-8593)

ALGORITHM OF ADAPTATION OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS OF CONTROL ON BASIS OF SUCCESSIVE SIMPLEX-METHOD

In the article the algorithm of adaptation optimization of technological objects of control is worked out on the basis of successive simplex-method possessing an enhanceable fast-acting and antijammingness, and also allowing to decide the tasks of extreme optimization of multidimensional stochastic technological objects of control of chemical and contiguous productions subject to influences of hindrances.

Keywords: *algorithm of adaptation optimization, computer-integrated control system, technological object control.*

Введение

Технологические объекты управления (ТОУ) большинства химических и смежных производств относятся к классу объектов, в которых процессы переработки сырья, находясь в непрерывном контакте с аппаратами различного назначения, изменяют свои химические составы. В этих объектах процессы переработки сырья достигаются в результате химических реакций межфазного массообмена, смешения и разделения, нагрева и охлаждения, поэтому они характеризуются как многомерные стохастические ТОУ с изменяющимися во времени характеристиками.

Для таких объектов все больше внимания уделяют вопросам разработки компьютерно-интегрированных систем управления (КИСУ). Поэтому одной из основных задач становится разработка простых и удобных в использовании алгоритмов оптимизации, являющихся предметом рассмотрения теории адаптационной оптимизации [1–3].

Интерес представляет разработка алгоритма адаптационной оптимизации таких ТОУ на основе последовательного симплекс-метода (симплекс [4], от лат. simplex – простой, простейший выпуклый многогранник данного числа факторов k в матрице насыщенного плана эксперимента (симплекс-план)).

Цель работы

Разработка помехоустойчивого алгоритма адаптационной оптимизации многомерных стохастических ТОУ на основе последовательного симплекс-метода, который не производит пробных шагов для определения направления движения, позволяет оптимизировать объекты и отслеживать дрейф параметров. Реализация разработанного алгоритма будет способствовать уменьшению расхода энергоресурсов и реагентов, улучшению качества готовой продукции и снижению её себестоимости, повышению энергетической эффективности таких объектов в целом.

Основная часть

Разработка алгоритмов экстремального управления многомерными стохастическими ТОУ чаще всего приводила к невысокому быстродействию управления, вытекающее из того, что процесс поиска оптимальных режимов складывался из трёх этапов: накопление информации, построение математической модели объекта и собственно оптимизация.

Предлагаемый помехоустойчивый алгоритм адаптационной оптимизации реализует симплекс-метод последовательного улучшения плана эксперимента, позволяющий осуществлять переход от одного допустимого базисного решения к другому таким образом, что значение целевой функции непрерывно возрастает и за конечное число шагов находится оптимальное решение, то есть, отыскание экстремума статической характеристики ТОУ [5]:

$$X_{k+1} = -X_0 + \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k X_i, \quad (1)$$

где X_0 – наихудшая (отражаемая) вершина симплекса; X_{k+1} – отраженная вершина симплекса; X_i ($i = \overline{1, k}$) – множество вершин симплекса за исключением наихудшей; k – размерность пространства факторов.

Благодаря использованию последовательного симплекс-метода, являющегося алгоритмом адаптационной оптимизации ТОУ, предлагаемый алгоритм не производит построения математической модели, осуществляя оптимизацию непосредственно на объекте, что позволяет сократить время поиска оптимальных режимов. Кроме того, этот алгоритм не производит пробных шагов для определения направления движения (каждый шаг является рабочим), позволяет оптимизировать стохастические объекты, поскольку последовательный симплекс-метод в силу своей непараметричности является помехоустойчивой процедурой, а также отслеживает дрейф параметров ТОУ и требует относительно небольшой емкости памяти ($k+1$ ячеек).

Реализацию помехоустойчивого алгоритма адаптационной оптимизации ТОУ на основе последовательного симплекс-метода целесообразно выполнять на базе современных микропроцессорных контроллеров (МПК) [6–9], которые применяются при разработке КИСУ, с многофункциональным специальным программным обеспечением (СПО). Высокопроизводительные, быстродействующие, многоканальные и высоконадежные МПК в реальном масштабе времени с помощью СПО смогут обеспечивать выполнение всех необходимых стандартных функций разрабатываемого алгоритма.

Рассмотрим процесс разработки помехоустойчивого алгоритма адаптационной оптимизации ТОУ на основе последовательного симплекс-метода. На рисунке 1 показан фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков разрабатываемого алгоритма.

В исходном состоянии в ячейках первого (3) и второго (6) блоков памяти алгоритма записаны нули, при этом на первом (a) и втором (b) входах командного блока (9) алгоритма также – нули. При пуске блок планирования эксперимента (8) алгоритма начинает формировать входные воздействия X_i согласно матрице насыщенного плана эксперимента (симплекс-план). Эти воздействия по первому (α) входу записываются во второй блок памяти (6) алгоритма, а также подаются на первый вход (a) командного блока (9) алгоритма, который включает первый (a) или второй (b) входы на первый (c) или второй (d) его выходы. С первого (c) выхода командного блока (9) алгоритма через регулятор (2), преобразующий сигналы в физические воздействия, X_i подаются на ТОУ (1). Соответствующие отклики этого объекта Y_i по первому (α) входу записываются в ячейки первого блока памяти (3) алгоритма.

После формирования ($k+1$)-го воздействия блок планирования эксперимента (8) алгоритма отключается, в этот момент командный блок (9) алгоритма также отключается по первому (a) входу и открывается по второму (b) входу. При этом во всех ячейках первого (3) и второго (6) блоков памяти алгоритма записаны соответствующие значения факторов и откликов ТОУ(1).

Это состояние является исходным для осуществления собственно процесса оптимизации, который начинается в момент подачи команды со второго (d) выхода командного блока (9) алгоритма на второй (β) вход анализатора выхода объекта (4) алгоритма. Анализатор выхода объекта (4) алгоритма по этой команде включается, на его первые ($\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$) входы поступают из ячеек первого (3) блока памяти алгоритма значения откликов Y_0, Y_1, \dots, Y_k , при этом он, осуществляя сравнение поступивших значений откликов, выделяет наихудший из откликов Y_0 .

Выделенное значение отклика Y_0 с выхода анализатора выхода объекта (4) алгоритма подается на второй (β) вход первого (3) блока памяти алгоритма, где стирается в соответствующей ячейке, а также – на второй (β) вход анализатора входа объекта (5) алгоритма.

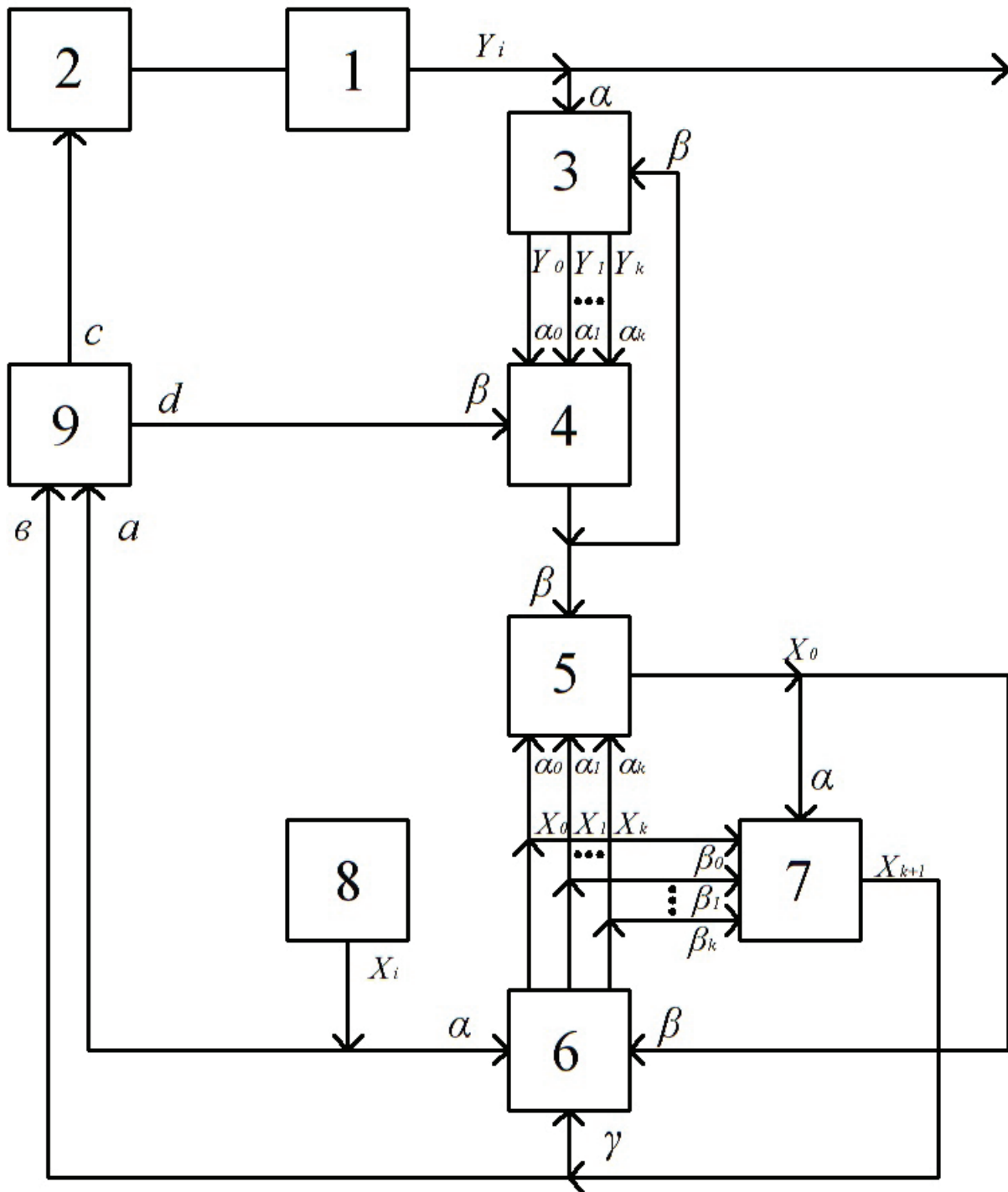


Рис. 1. Фрагмент упрощенной схемы соединения функциональных блоков алгоритма адаптивной оптимизации технологических объектов управления на основе последовательного симплекс-метода

По полученному сигналу анализатор входа объекта (5) алгоритма выделяет вектор факторов X_0 , соответствующий выделенному наихудшему отклику Y_0 , и подает его на второй (β) вход второго (6) блока памяти алгоритма, где соответствующая ячейка зануляется. Кроме того, выделенный фактор X_0 подается также на первый (a) вход сумматора (7) алгоритма, на вторые ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) входы которого и первые ($\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$) входы анализатора входа объекта (5) алгоритма подаются все значения факторов X_0, X_1, \dots, X_k с выходов второго (6) блока памяти алгоритма.

Сумматор 7 алгоритма, поскольку в ячейке, соответствующей X_0 , записаны нули, вычисляет сигнал:

$$X_{k+1} = -X_0 + \frac{2}{k} \sum_{i=0}^k X_i = -X_0 + \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k X_i. \quad (2)$$

Вычисленное значение сигнала X_{k+1} с выхода сумматора (7) алгоритма подается на третий (γ) вход второго блока памяти (6) алгоритма, где записывается в свободную ячейку. Этот же сигнал подается через второй (b) вход и первый (c) выход командного блока (9) алгоритма на регулятор (2), преобразующий сигналы в соответствующие физические воздействия, которые i подаются на ТОУ (1). Соответствующие отклики этого объекта Y_{k+1} по первому (α) входу записываются в ячейки первого блока памяти (3) алгоритма. На этом первая итерация заканчивается.

Вторая итерация осуществляется аналогично первой и начинается с подачи командного импульса со второго (d) выхода командного блока (9) алгоритма на второй (β) вход анализатора выхода объекта (4) алгоритма. Анализатор выхода объекта (4) алгоритма выделяет очередное наихудшее значение отклика Y_0 и с выхода подает на второй (β) вход первого (3) блока памяти алгоритма, где затирается в соответствующей ячейке, а также – на второй (β) вход анализатора входа объекта (5) алгоритма. По полученному сигналу анализатор входа объекта (5) алгоритма выделяет соответствующий отклику Y_0 вектор X_0 . Этот вектор подается на первый (a) вход сумматора (7) алгоритма, а также – на второй (β) вход второго (6) блока памяти алгоритма, где стирается в соответствующей ячейке, и вместе с остальными значениями факторов X_i с его выходов подается на вторые ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) входы сумматора (7) алгоритма и первые ($\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$) входы анализатора входа объекта (5) алгоритма.

Сумматор (7) алгоритма вновь вычисляет улучшенный набор факторов, который подается через третий (γ) вход на второй блок памяти (6) алгоритма, где записывается в свободную ячейку. Этот же сигнал подается через второй (b) вход и первый (c) выход командного блока (9) алгоритма через регулятор (2) на ТОУ (1). Последующие итерации осуществляются аналогично предыдущим.

Таким образом, в процессе работы разработанного алгоритма осуществляется отражение симплекса и последовательное улучшение откликов ТОУ. В окрестностях экстремума происходит заклинивание симплекса в области оптимального режима, а если же экстремум ТОУ дрейфует, то алгоритм отслеживает этот дрейф.

Вывод

Разработанный алгоритм адаптационной оптимизации технологических объектов управления на основе последовательного симплекс-метода обладает повышенным быстродействием, помехоустойчивостью, что позволяет решать задачи экстремальной оптимизации многомерных стохастических ТОУ химических и смежных производств, подверженных воздействиям помех. Реализация разработанного алгоритма будет способствовать уменьшению расхода энергоресурсов и реагентов, улучшению качества готовой продукции и снижению её себестоимости, в конечном итоге – повышению энергетической эффективности таких объектов в целом.

Список использованной литературы

1. Тюкин И. Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И. Ю. Тюкин, В. А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
2. 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.
3. 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.
4. Понтрягин Л. С. Основы комбинаторной топологии: монография [Текст] / Л. С. Понтрягин. – М.: Наука. 1987. – 136 с.

5. А. с. 951237 СССР, М. Кл.³ G 05 B 13/00. Система автоматической оптимизации / А. А. Бобух, Е. В. Бодянский, В. С. Жаков, и др. (СССР). № 3238868 / 18–24; заяв. 19.01.81; опубл. 15.08.82, Бюл. № 30.
6. Микропроцессорные системы [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Д. В. Пузанкова. – СПб. : Политехника, 2002. – 935 с.
7. Кузин А. В. Микропроцессорная техника [Текст] : учебник / А. В. Кузин, М.А. Жаворонков. – М. : Академия, 2004. – 304 с.
8. 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.
9. Сиротский А. А. Микропроцессорные программируемые логические контроллеры в системах автоматизации и управления [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Сиротский. – М. : Спутник, 2013. 170 с.

References:

1. Tjukin I. Ju., Terehov, V. A. (2008). Adaptation in the nonlinear dynamic systems: monograph [Adaptacija v nelinejnyh dinamičeskix sistemah: monografija], LKI, SPb, 384 p.
2. Miroshnik I. V., Nikiforov, V. O., Fradkov A. L. (2000). Nonlinear and adaptive control by the difficult dynamic systems [Nelinejnoe i adaptivnoe upravlenie slozhnymi dinamičeskimi sistemami], Nauka, SPb, 549 p.
3. 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.
4. Pontrjagin L. S. (1987). Bases of combinatorics topology : monograph [Osnovy kombinatornoj topologii: monografija], Nauka, Moskow, 136 p.
5. А. с. 951237 SSSR, М. Кл.3 G 05 B 13/00. System of automatic optimization [Sistema avtomatičeskoj optimizacii] А. А. Bobuh, Е. V. Bodjanskij, V. S Zhakov, i dr. (SSSR). № 3238868 / 18–24; zajav. 19.01.81; opubl. 15.08.82. Bjul. № 30.
6. Puzankov D. V. (2002). Microsystems [Mikroprocessornye sistemy], Politehnika, SPb, 935 p.
7. Kuzin A. V. (2004). The microprocessor technique [Mikroprocessornaja tehnika], Akademija, , Moskow, 304 p.
8. Zhuk, V. I. (2010). Microprocessor-based comptrollers and control system on their basis: experience of construction [Mikroprocessornye kontrollery i sistemy upravlenija na ih osnove: opyt postroenija], Jenergetika i TJeK, № 01 (82), P. 41–43.
9. Sirotskij A. A. (2013). The microprocessor logical pios in the systems of automation and control [Mikroprocessornye programmiruemye logičeskie kontrollery v sistemah avtomatizacii i upravlenija], Sputnik, Moskow, 170 p.

Поступила в редакцию 07. 04 2015 г.