

УДК 681.5.015:004.942

ОСОБЕННОСТИ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

¹Мышляев Л.П., ¹Львова Е.И., ²Ивушкин К.А., ¹Тараборина Е.Н.

¹ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
Новокузнецк, e-mail: Lvova@ngs.ru;

²ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», Новокузнецк, e-mail: info@okssh.ru

Представлена общая характеристика известных методов идентификации, указаны основные теоретические предпосылки их использования. Проведен анализ и выявлены характерные особенности функционирования современных промышленных объектов управления. Показано, что при идентификации технологических объектов требуется решение двух основных задач: получение информативных исходных данных и их обработка для построения адекватных моделей. Предложено новое научно-прикладное направление анализа и синтеза многоцелевых производственно-исследовательских систем управления, в рамках которого развиты известные и предложены новые методы идентификации объектов в системах управления с натурно-модельными блоками. Наиболее перспективным с точки зрения согласованного выполнения функций идентификации и рабочего управления является предложенный метод идентификации с нанесением тестирующих воздействий на прогнозируемые траектории рабочих режимов управления и вычитанием эффектов компенсирующих воздействий. Детально изложена сущность этого метода и приведены результаты его использования для решения задачи идентификации шахтных печей для металлзации окисленных окатышей и блоков тепловых регенераторов кислородного производства. Полученные результаты исследований подтверждают эффективность предложенных подхода и методов.

Ключевые слова: промышленные объекты, системы управления, методы идентификации, предпосылки использования методов, информативные исходные данные, эксперимент, тестирующие воздействия

FEATURES OF THE THEORY AND PRACTICE OF IDENTIFICATION OF OBJECTS IN CONTROL SYSTEMS

¹Myshlyaev L.P., ¹Lvova E.I., ²Ivushkin K.A., ¹Taraborina E.N.

¹The Siberian state industrial university, Novokuznetsk, e-mail: Lvova@ngs.ru;

²United company «Sibshakhtostroy», Novokuznetsk, e-mail: info@okssh.ru

The general characteristic of known methods of identification is presented, the main theoretical prerequisites of their use are specified. The analysis is carried out and characteristics of functioning of modern industrial facilities of management are revealed. It is shown that at identification of technological objects the solution of two main objectives is required: receiving informative basic data and their processing for creation of adequate models. The new scientific and applied direction of the analysis and synthesis of production and research multi-purpose control systems within which are developed known is offered and new methods of identification of objects in control systems with natural and model blocks are offered. The most perspective from the point of view of the coordinated performance of functions of identification and working management is the offered identification method with drawing the testing impacts on the predicted trajectories of operating modes of management and subtraction of effects of the compensating influences. The essence of this method is in details stated and results of its use for the solution of a problem of identification of mine furnaces for metallization of the oxidized pellets and blocks of thermal regenerators of oxygen production are given. The received results of researches confirm efficiency of the offered approaches and methods.

Keywords: industrial facilities, control systems, methods of identification, the prerequisite of use of methods, informative basic data, the experiment, testing influences

Проблему идентификации объектов можно рассматривать как отдельное самостоятельное направление, так и как составную часть общей проблемы управления с целенаправленной взаимосвязью с другими задачами управления, включая задачи измерения, оценивания, регулирования, прогнозирования и другие. При таком подходе появляется целый ряд особенностей идентификации, связанных с функционированием объектов в составе систем управления. Эти особенности, а также требования, предъявляемые к результатам идентификации в системах управления, вносят соот-

ветствующие изменения в подходы, методы и алгоритмы идентификации.

Общая характеристика методов идентификации

Традиционная задача идентификации состоит в определении (или уточнении) структуры и параметров математической модели объекта по наблюдаемым данным о его входных и выходных величинах [2, 5]. При идентификации технологических объектов, как правило, требуется решение двух основных взаимосвязанных задач: получение информативных исходных данных и их

обработка для получения надежных зависимостей или моделей.

Для получения информативных данных предлагается использовать так называемые пассивный и активный методы идентификации [6], при которых получение исходных данных для математического описания объекта имеет достаточно разнонаправленный характер. Так, например, идентификация объектов в замкнутых системах управления принципиально отличается от идентификации вне систем управления, на что указывается в ряде работ [1, 7]. Наличие прямых и обратных связей в действующих системах управления делает крайне затруднительным использование методов математической статистики, теории традиционной идентификации, а также других разделов общей теории систем. Несмотря на это, методы пассивного корреляционного или регрессионного анализа и близких по замыслу процедур, все же используются для идентификации промышленных объектов. При этом зачастую игнорируются предпосылки их применения. Аналогично дело обстоит с выполнением предпосылок других статистических методов при попытке их использования для математического описания действующих объектов управления, так как проведение экспериментов на промышленных объектах осуществляется в условиях тесного переплетения исследовательских целей с целями рабочего функционирования. В этих условиях необходима разработка новых методов взаимосогласованного рабочего и идентифицирующего управления. Следует отметить, что это достаточно перспективное направление для идентификации объектов в действующих системах управления.

В этом русле следует акцентировать внимание на сравнительно новом научно-прикладном направлении анализа и синтеза многоцелевых производственно-исследовательских систем управления, в рамках которого развиваются известные и предлагаются новые методы идентификации объектов в системах управления с натурно-модельными блоками [8]. При этом особого внимания заслуживает разработанный метод идентификации процессов с нанесением пробных воздействий на прогнозируемые программы рабочего управления, выработкой и реализацией компенсирующих пробных воздействий управления и вычитанием эффектов этих компенсирующих воздействий [1].

Реализация этого метода (рис. 1) заключается в нанесении испытательных воздействий δu_2 на прогнозируемые траектории u_2

рабочего режима управления; компенсации их эффектов путем нанесения регулирующих воздействий δu_1^k по уже изученным каналам, что позволяет обеспечить выполнение заданий y^* на выходные воздействия объекта и не нарушать рабочего режима управления; расчетном исключении эффектов компенсирующих воздействий по формулам

$$y^p(t) = y(t) - \sum_{j=1}^J \phi_j(t, \theta) \cdot \delta u_j^k(t - \theta);$$

$$\delta u_j^k(t) = u_j(t) - u_j^n(t), \quad (1)$$

где $y^p(t)$ – расчетное значение выходного воздействия объекта; $y(t)$ – выходное воздействие объекта; $\phi_j(t, \theta)$ – оператор канала регулирования, полученный на предшествующих этапах идентификации; j – номер управляющего воздействия объекта, $j = \overline{1, J}$; $\delta u_j^k(t)$ – величина компенсирующего воздействия; $u_j(t)$, $u_j^n(t)$ – измеренное и прогнозируемое значения управляющего воздействия.

Неизвестные коэффициенты оператора исследуемого преобразующего канала оцениваются по разности δy_2 между спрогнозированным y^n и расчетным y^p значениями выходного воздействия объекта и по разности δu_2 между спрогнозированным u_2 и фактически реализованным u_2 испытательным входным воздействием.

Примеры практического применения метода

Эффективность метода подтверждается полученными результатами идентификации промышленных объектов управления. В качестве объекта рассматриваются шахтные печи для металлизации окисленных окатышей, для которых получены диапазоны изменения оценок коэффициентов математических моделей преобразующих каналов. Структура модели для каждого из каналов принята, исходя из технологии металлизации окатышей и конструкции шахтной печи, в виде последовательного соединения интегрирующего звена с отсечкой и звена чистого запаздывания. Необходимые первичные данные сформированы путем нанесения специальных исследовательских воздействий на прогнозируемые траектории рабочего режима управления. Пример эксперимента представлен на рис. 2.

На первом этапе исследований осуществляли построение модели канала «изменение производительности печи – изменение степени металлизации окатышей». Следующий этап идентификации проводили уже с подавлением эффектов испытательных

воздействий путем нанесения компенсирующих воздействий по тем каналам, математические модели которых уже известны. Обработка результатов экспериментов производилась как известными методами после получения всего переходного процесса, так и в динамике переходного процесса с при-

влечением модернизированных алгоритмов динамической идентификации [3]. Полученные диапазоны изменения оценок параметров моделей преобразующих каналов приведены в табл. 1, где k – коэффициент передачи; τ_{mj} – время запаздывания; θ_{mj} – время отсечки.

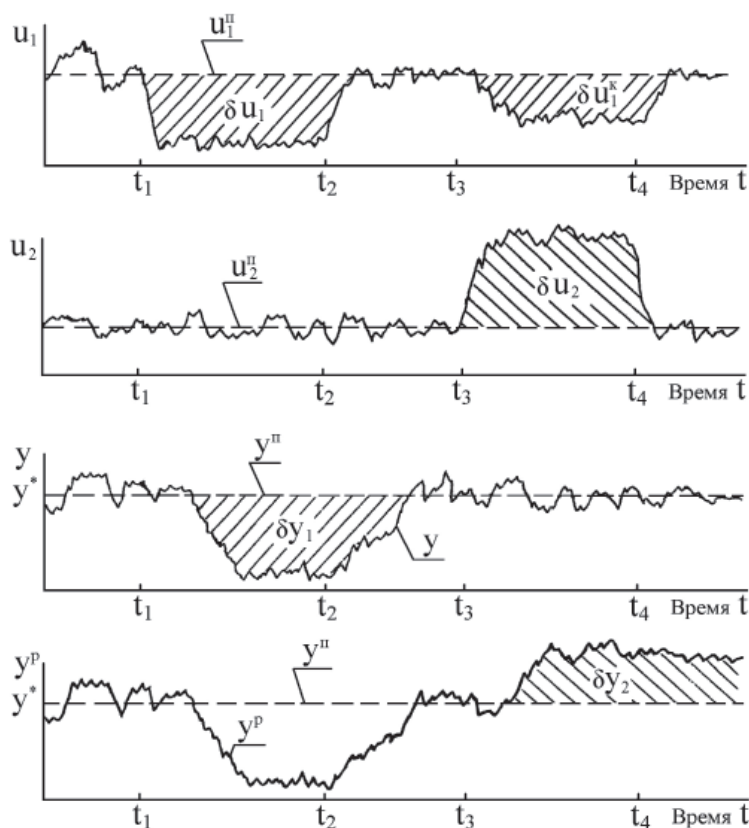


Рис. 1. Динамика воздействий при идентификации объекта

Таблица 1

Диапазоны изменения оценок параметров математических моделей преобразующих каналов

Входные величины		Количество выгружаемых окатышей, т/ч	Расход технологического газа, 1000 м ³ /ч	Доля ремотов в шихте, %	Температура восстановительного газа, °С	Содержание метана в восстановительном газе, %
Выходные величины	k	–0,66...–0,77	0,5...0,7	0,65...0,92	0,10–0,16	–1,2–0,0
	θ	2,0...3,5	2,5...4,0	0,0...1,5	2,0–3,5	2,0–3,5
	τ	6,0...8,0	6,0...8,0	12,0...16,0	6,0–8,0	6,0–8,0
Содержание углерода в окатышах, %	k	–0,08...–0,1	–	0,05...0,09	–0,02...–0,03	0,17...0,34
	θ	2,5...3,5	–	0,0...1,5	3,0...3,5	2,0...3,5
	τ	4,0...8,0	–	12,0...16,0	6,0...8,0	6,0...8,0

Полученные динамические характеристики преобразующих каналов шахтной печи использованы при совершенствовании технологических инструкций по

ведению процесса металлизации и при разработке алгоритмов прогнозирования и управления шахтной печью для металлизации окатышей.

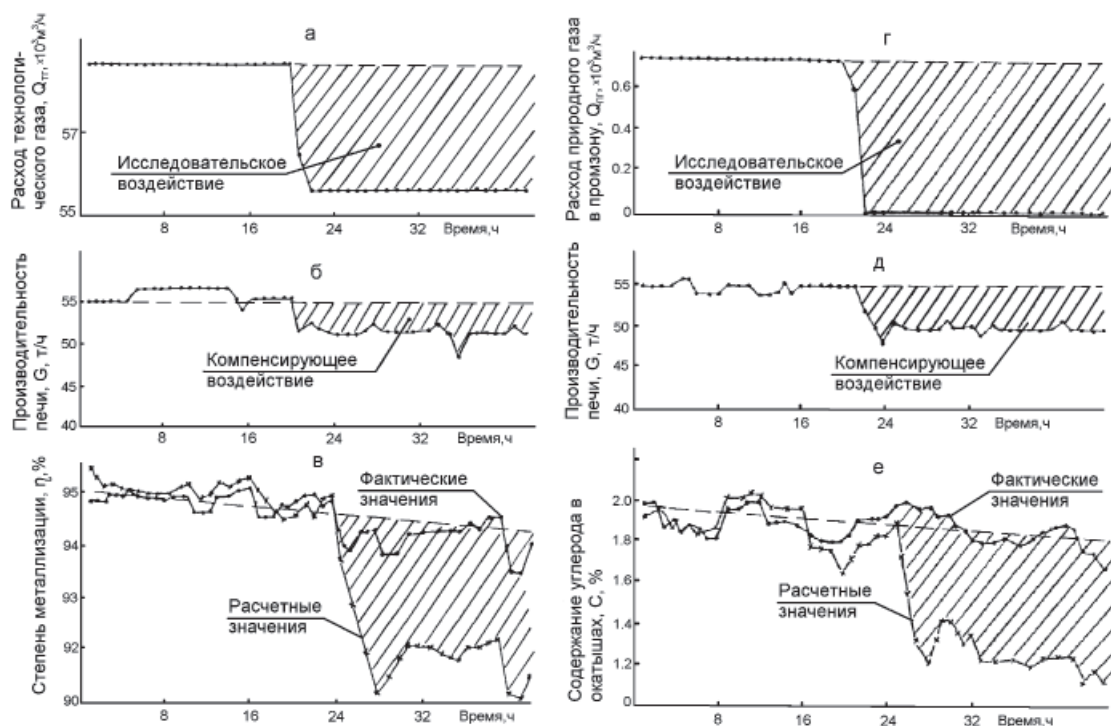


Рис. 2. Переходные процессы в системе управления шахтной печью № 1:
а, г – исследовательские воздействия по расходу технологического газа и по расходу природного газа в промежуточную зону; б, д – компенсирующие воздействия по производительности шахтной печи; в, е – фактические и расчётные значения степени металлзации и содержания углерода в окатышах

Другим примером использования предложенного метода служит идентификация блока тепловых регенераторов кислородного производства [4], имеющего сложную структуру с запаздывающей положительной технологической обратной связью Q_n (рецикл) и распределенными управляющими воздействиями Q_1 , Q_2 , Q_3 , с запаздываниями между циклами работы регенераторов в блоке, подверженный влиянию контролируемых P и неконтролируемых возмущений с нестационарными

свойствами. Особенность рассматриваемого класса объектов идентификации заключается в том, что изменение расхода газа прямого потока влияет на изменение температуры охлаждаемого газа в конце текущего периода работы, а изменение расхода газа петлевого потока – на изменение температуры в конце предстоящего периода работы.

Структура математической модели возмущенного движения такого класса объектов выбрана в виде

$$\delta \hat{y}_j(t) = k_{wj} \cdot \delta w(t - \tau_{wj}) + k_j \cdot \delta u_j(t - \tau_j) + k_{nj} \cdot \delta u_n(t - \tau_{nj} - \tau_{j-1}); \quad (2)$$

$$\delta u_n(t) = k_{pj} \cdot \delta y_j(t - (\tau_{pj} - \tau_j)), \quad (3)$$

где $\delta \hat{y}_j$ – рассчитанное по модели изменение температуры охлажденного воздуха в конце j -го рабочего периода, °C, $j = 1, J$; δw – изменение давления теплого воздуха, атм.; δu_j – изменение расхода газа прямого потока, м³/мин; δu_n – изменение расхода газа петлевого обратного потока, % хода регулирующего органа; δy_j – изменение температуры охлажденного воздуха в конце j -го рабочего периода, °C; τ – время чистого

запаздывания, мин; k_j – коэффициент передачи канала регулирования «изменение расхода газа прямого потока ΔQ – изменение температуры охлажденного воздуха ΔT », °C/(м³/мин); k_{nj} – коэффициент передачи канала регулирования «изменение расхода газа петлевого потока ΔQ_n – изменение температуры охлажденного воздуха ΔT », °C/(% хода р.о.); k_{wj} – коэффициент передачи канала преобразования внешних воздей-

ствий «изменение давления теплого воздуха ΔP – изменение температуры охлажденного воздуха ΔT », °C/атм.; k_{pj} – коэффициент передачи канала рецикла «изменение температуры охлажденного воздуха в конце j -го рабочего периода ΔT – изменение расхода газа петлевого обратного потока ΔQ_{π} », (% хода p.o.)/°C.

Для нахождения неизвестных коэффициентов k_j , k_{pj} , k_{wj} , k_{pj} модели (2), (3) в качестве базового использовали предложенный метод идентификации, комбинируя его с методом идентификации объектов с рециклом

[3] и методом идентификации объектов с распределенными управлениями [3]. При этом сначала идентифицировали каналы регулирования « $\Delta Q - \Delta T$ ». Располагая полученными на первом этапе динамическими характеристиками канала « $\Delta Q - \Delta T$ », идентификацию характеристики « $\Delta Q_{\pi} - \Delta T$ » проводили с компенсацией отклонений температуры охлажденного воздуха от желаемого (в данном случае прогнозируемого) значения. На рис. 3 представлена динамика основных переменных при идентификации канала « $\Delta Q_{\pi} - \Delta T$ ».

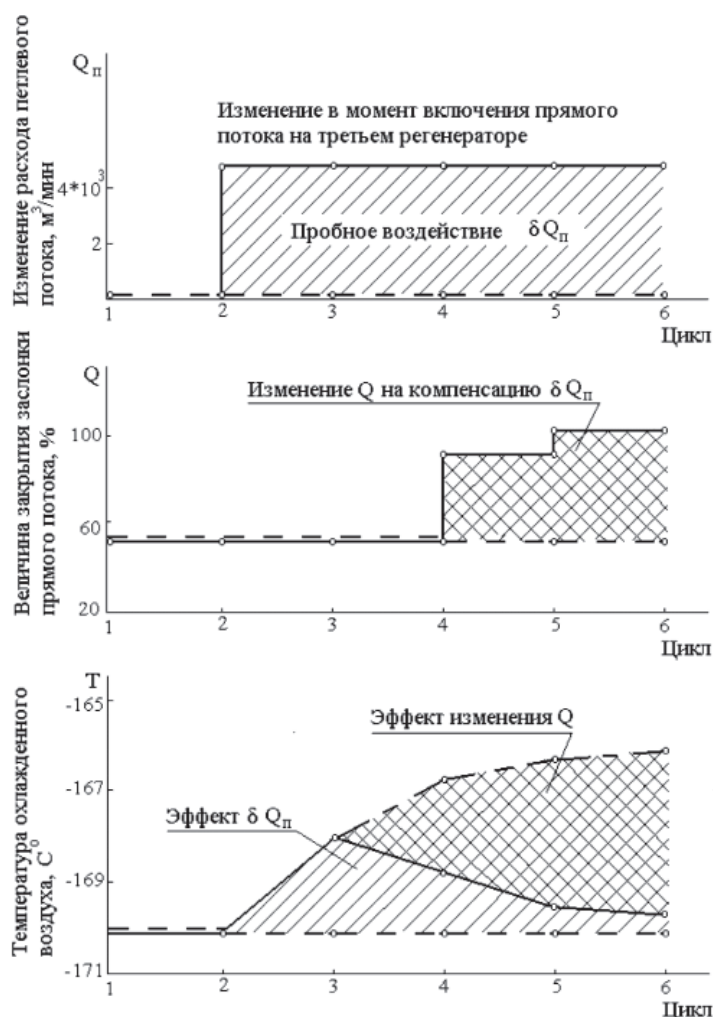


Рис. 3. Результаты идентификации канала « $\Delta Q_{\pi} - \Delta T$ » при компенсации ΔT изменением прямого потока (для третьего регенератора):
o---o – регистрируемые значения,
o--- --o – прогнозируемые значения, o--- --o – расчетные значения

В результате происходит отклонение температуры охлажденного воздуха от желаемого значения. Для подавления этих отклонений на четвертом цикле изменяется величина открытия заслонки прямого пото-

ка и отклонения температуры охлажденного воздуха уменьшаются. Для определения влияния пробного воздействия δQ_{π} на выходные переменные необходимо исключить эффекты изменения Q , направленные на

компенсацию эффекта δQ_n . С этой целью отклонения регистрируемых значений Q от их прогнозируемых значений пересчитываются в изменения температуры охлажденного воздуха (площадь, заштрихованная в клеточку), которые и вычитаются из регистрируемой температуры охлажденного воздуха. Полученная расчетная кривая показывает, как бы изменилась температура охлажденного воздуха при отсутствии регулирующих воздействий расходом теплого воздуха прямого потока, а площадь, заштрихованная косой

линией (включая и эффект изменения Q), представляет эффект пробного воздействия δQ_n . Расчетное исключение эффектов компенсирующих воздействий осуществляли по формулам типа (1). Подобным же образом проведена идентификация каналов регулирования « $\Delta Q - \Delta T$ » и для двух других регенераторов при нанесении пробного воздействия положительной и отрицательной величины. Полученные значения коэффициентов передачи исследуемых каналов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты передачи преобразующих каналов

Наименование канала	Размерность коэффициентов передачи	Оценки коэффициентов передачи по циклам		
		1	2	3
$\Delta Q_n - \Delta T$	°C/% хода р.о.	0,05	0,025	0,001
$\Delta Q - \Delta T$	°C/(м³/мин)	0,0015	0,00075	0,0003
$\Delta P - \Delta T$	°C/атм.	0,70	0,25	0,10

Полученные результаты идентификации использованы при разработке системы автоматического регулирования блока тепловых регенераторов.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555.

Список литературы

1. Идентификация объектов в системах управления / Л.П. Мышляев, Е.И. Львова, С.Ф. Киселев, С.Я. Иванов // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2001. – № 12. – С. 32–35.
2. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: пер. с англ.; под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
3. Методы идентификации промышленных объектов в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, А.С. Рыков и др. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. – 307 с.
4. Производство кислорода / Б.М. Бродянский, Ф.И. Меерзон. – М.: Металлургия, 1970. – 368 с.
5. Райбман Н.С. Построение моделей процессов производства / Н.С. Райбман, В.М. Чадеев. – М.: Энергия, 1975. – 376 с.
6. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
7. Ротач В.Я. По поводу работ, связанных с идентификацией объектов в условиях их нормального функционирования // Автоматика и телемеханика. – 1969. – № 6. – С. 201.
8. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: монография в 3-х т. Т.2: Системы автоматизации производственного назначения / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, Е.И. Львова и др.; под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

References

1. Myshlyayev L.P., Lvova E.I., Kiselev S.F., Ivanov S.Y. *Izvestiya Vuzov. Chernaya metallurgiya*, 2001, no. 12, pp. 32–35.

2. Lyung L. *Identifikatsiya system. Teoriya dlya polzovatelya* [Identification of systems. The theory for the user] Moscow, Science Publ., 1991. 452 p.

3. Emelyanov S.V., Korovin S.K., Rykov A.S. *Metody identifikatsii promyshlennykh obektov v sistemah upravleniya* [Methods of identification of industrial facilities in control systems] Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2007. 307 p.

4. Brodyanskiy B.M., Meerzon F.I. *Proizvodstvo kisloroda* [Production of oxygen] Moscow, Metallurgy Publ., 1970. 368 p.

5. Raybman N.S., Chadeev V.M. *Postroenie modeley processov proi* [Creation of models of processes of production] Moscow, Power Publ., 1975. 376 p.

6. Rotach V.Y. *Raschet dinamiki promyshlennykh avtomaticheskikh system regulirovaniya* [Calculation of dynamics of industrial automatic systems of regulation] Moscow, Power Publ., 1973. 440 p.

7. Rotach V.Y. *Avtomatika i telemekhanika*, 1969, no. 6 pp. 201.

8. Myshlyayev L.P., Ivushkin A.A., Lvova E.I. *Sistemy avtomatizatsii na osnove naturno-modelnogo podkhoda. T. 2: Sistemy avtomatizatsii proizvodstvennogo naznacheniya* [Systems of automation on the basis of natural and model approach: T.2: Systems of automation of production appointment] Novosibirsk, Science Publ., 2006. 483 p.

Рецензенты:

Цымбал В.П., д.т.н., профессор кафедры информационных технологий в металлургии, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк;

Павлова Л.Д., д.т.н., доцент, директор института фундаментального образования, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

Работа поступила в редакцию 10.10.2014.