

УДК 681.335 (07)

## УСТРОЙСТВО ОПЕРАТИВНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

© М.Е. Глинкин, Е.И. Глинкин

*Ключевые слова:* когнитивная матрица; устройство оптимального управления; многопараметрический объект; динамический анализ; энергосбережение.

Предложено устройство управления объектом в виде когнитивного графического образа эквивалентов, формируемого в адресном пространстве кодовой матрицы постоянного запоминающего устройства автоматизированной системы оперативной диагностики технического и функционального состояния многопараметрического объекта для улучшения метрологической и технологической эффективности за счет автоматического оптимального управления энергосбережением.

Устройство оперативного анализа относится к области структурного распознавания образов и может быть использовано в автоматизированных системах оперативной диагностики технического и функционального состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации.

Устройство оперативного динамического анализа состояний многопараметрического объекта децентрализованного типа [1] организовано по магистральной структуре, соединяющей через устройство связи объект с ЭВМ и транслятором. Устройство централизованного динамического контроля и анализа состояний многопараметрического объекта [2] спроектировано на базе информационно-измерительной системы с кольцевой структурой последовательно включенных интерфейсов ввода данных, ЭВМ, исполнительного преобразователя, измерительных преобразователей, средства отображения, функционирующих в соответствии с командами оператора или программы-диспетчера. Их недостатками являются низкая оперативность в выполнении команд и процедур, необходимых для оценки работы системы и ее коррекции, дорогостоящее программное и аппаратное обеспечение и сложность оперативной комплексной оценки поступающей информации.

За прототип принят способ оперативного динамического анализа состояний многопараметрического объекта [3], заключающийся в измерении и оценке интегрального состояния многопараметрического объекта по графическому образу когнитивной матрицы, преобразовании результатов допусковой оценки разнородных динамических параметров в соответствующие информационные сигналы с обобщением по всему множеству параметров в заданном временном интервале и определении относительной величины и характера изменения интегрального состояния многопараметрического объекта.

Недостатками прототипа являются низкая метрологическая и технологическая эффективность, а также отсутствие энергетической эффективности технологического оборудования с минимумом затрат энергии из-за невозможности автоматического принятия решений в масштабе реального времени, в т. ч. реализации адап-

тивных управляющих воздействий по результатам анализа цветокодовой матрицы состояний исследуемого объекта с минимумом затрат энергии.

Целью предлагаемого устройства является улучшение метрологической и технологической эффективности за счет автоматического оптимального управления энергосбережением, использующим для синтеза в масштабе реального времени энергосберегающие управляющие воздействия при любых изменениях состояний многопараметрического объекта в анализируемом диапазоне с заданной точностью синтезируемых воздействий, регламентируемых погрешностью образцовых сигналов.

Поставленная цель достигается тем, что: устройство, содержащее блок управления, генератор импульсов, соединенный с тактовым входом счетчика импульсов, усилитель, блок питания, многопараметрический объект, цифро-аналоговый преобразователь, выход которого подключен через усилитель к исполнительным механизмам объекта, управляющий выход допускового контроля которого соединен с управляющими входами режимов энергопотребления устройства управления, управляющий выход энергопотребления которого соединен с соответствующим входом блока питания, в отличие от прототипа дополнительно содержит постоянное запоминающее устройство и шифратор, соединенный по входам с выходом датчиков объекта, а по выходам – со старшими адресными разрядами постоянного запоминающего устройства, соединенного младшими адресными разрядами с выходами счетчика, а выходная шина постоянного запоминающего устройства связана с информационными входами цифро-аналогового преобразователя, управляющий вход которого соединен с управляющим информационным выходом устройства управления, управляющий тактовый выход которого связан с соответствующим входом генератора импульсов.

Сущность предлагаемого способа оперативного динамического анализа состояний многопараметрического объекта (рис. 1–4) заключается в измерении и оценке общего состояния объекта, информация о котором представлена в виде когнитивного графического образа

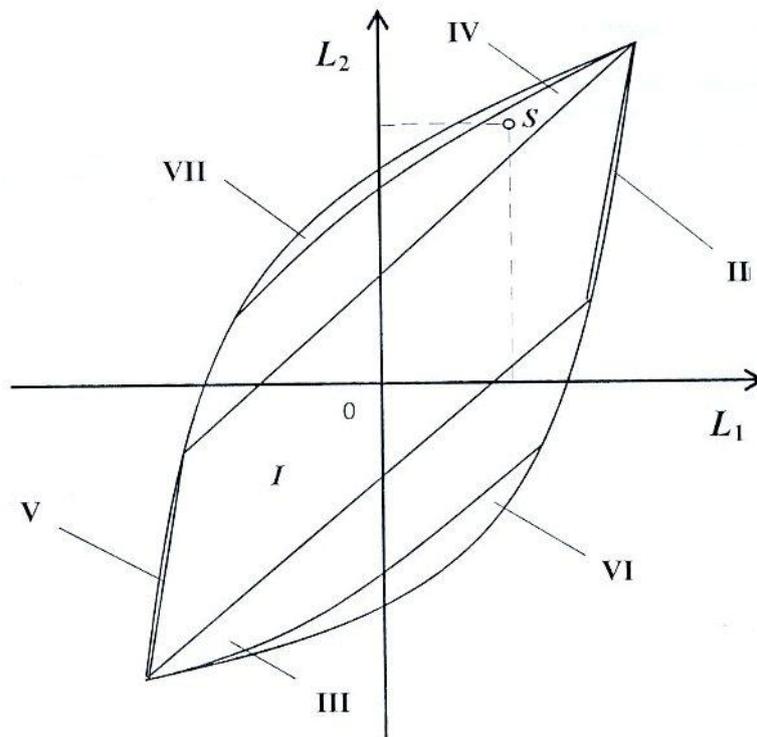


Рис. 1. Матрица множества состояний оптимального управления

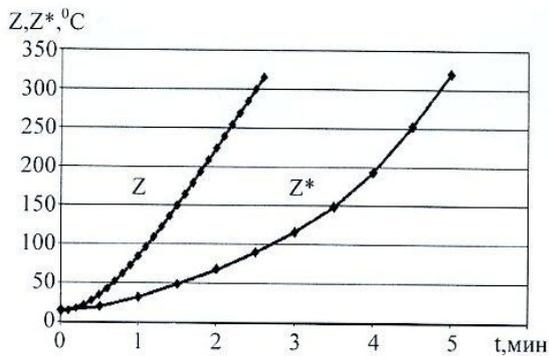


Рис. 2. Состояния многопараметрического объекта

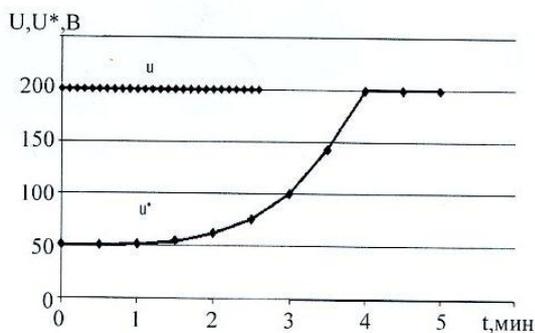


Рис. 3. Управляющее воздействие на объект

эквивалентов оптимального управления  $\{\Phi\} = \{L_1 * L_2\}$  (рис. 1), формируемого по данным диагностической информации (рис. 2, кривая  $z$ ) с последующим синтезом энергосберегающих управляющих воздействий в масштабе реального времени (рис. 3, кривая  $u^*$ ).

Результаты полного анализа процессов динамики оптимального управления объектом представляют в виде образов эквивалентов (рис. 1), которые формируют в адресном пространстве кодовой матрицы постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) устройства. Этот образ находят априори из полного анализа процессов динамики оптимального управления объектом, описываемой моделью двойного аperiodического звена с минимизируемым функционалом по затратам энергии. Использование когнитивного графического образа эквивалентов оптимального управления позволяет исключить процедуру анализа оптимального управления при динамическом анализе состояний многопараметрического объекта в реальном масштабе времени, тем самым значительно понизить требования к техническим средствам, реализующим управление.

На рис. 4 представлена функциональная схема устройства, включающая в себя многопараметрический объект 1, блок управления 2, генератор импульсов 3, счетчик 4, ПЗУ 5, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) 6, усилитель 7, шифратор 8, блок питания 9.

ЦАП 6 подключен через усилитель 7 к исполнительным механизмам многопараметрического объекта 1. Управляющий выход допускового контроля многопараметрического объекта 1 соединен с управляющими входами режимов энергопотребления блока управления 2, его управляющий выход энергопотребления соединен с соответствующим входом блока питания 9.

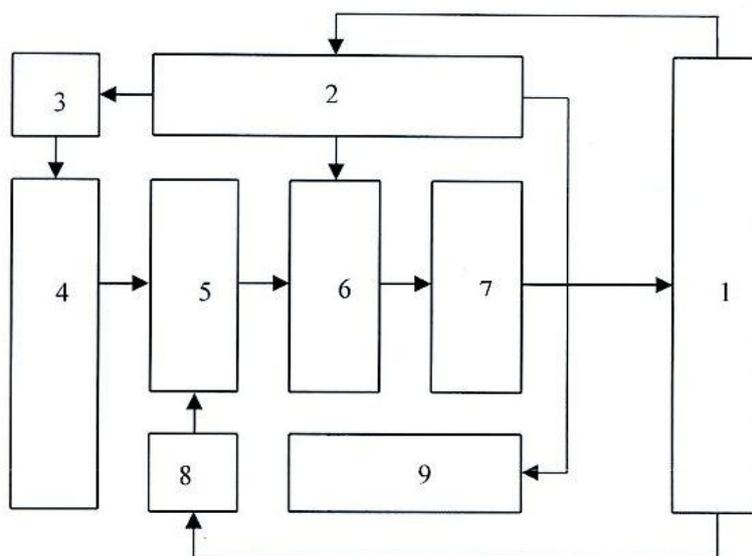


Рис. 4. Функциональная схема устройства

Шифратор 8 соединен по входам с выходом датчиков многопараметрического объекта 1, а по выходам – со старшими адресными разрядами ПЗУ 5, соединенного младшими адресными разрядами с выходами счетчика 4. Выходная шина ПЗУ 5 связана с информационными входами ЦАП 6, управляющий вход которого соединен с управляющим информационным выходом блока управления 2, его тактовый вход связан с соответствующим входом генератора импульсов 3.

Заявляемый способ реализуется устройством оперативного динамического анализа состояний многопараметрического объекта следующим образом.

С управляющего выхода допускового контроля многопараметрического объекта 1 на управляющий вход режимов энергопотребления блока управления 2 подаются сигналы управления питанием схемы устройства, переводящие его в режимы «включено», «выключено» или «ожидание», а с управляющего выхода энергопотребления блока управления 2 на вход блока питания 9 подаются сигналы, соответствующие заданным режимам работы устройства – «включено», «выключено» или «ожидание». Блок питания 9 осуществляет питание всех функциональных блоков 1–8 устройства в соответствии с заданным режимом. «Включено» – питание подается на все блоки устройства, «выключено» – устройство обесточено, «ожидание» – осуществляется перевод устройства в режим малого энергопотребления, при котором функционирует только блок управления 2. В этом случае устройство способно выйти на рабочий режим значительно быстрее, чем из состояния «выключено». С тактового выхода блока управления 2 на соответствующий вход генератора импульсов 3 поступает сигнал включения или отключения генератора импульсов 3, тактовые импульсы которого поступают на тактовый вход счетчика 4.

С выходов датчиков многопараметрического объекта 1 на входы шифратора 8 подаются сигналы, соответствующие массиву реквизитов (2) задачи оптимального управления. С выходов шифратора 8 кодовая последовательность, соответствующая массиву реквизитов, подается на старшие адресные разряды  $A_n$  ПЗУ 5,

представляющие собой адресную группу одной из семи зон I–VII когнитивного графического образа (рис. 1) областей оптимального управления. Каждой зоне соответствует определенный вид функции оптимального управления.

Формирование сигнала оптимального управления многопараметрическим объектом 1 осуществляется путем перебора счетчиком 4 адресов младшей адресной группы  $A_m$  ПЗУ 5, где записана функция оптимального управления, соответствующая выбранной зоне когнитивного графического образа (рис. 1) адресного пространства  $A_n$ . На выходной шине ПЗУ 5 формируются кодовые комбинации  $N(A_m + A_n)$ , соответствующие управляющему воздействию на многопараметрический объект 1, которые преобразуются в аналоговый сигнал ЦАП 6 и нормируются усилителем 7.

В случае если оптимальное управление не найдено, т. е. координаты точки  $L = (L_1, L_2)$  не принадлежат ни одной из семи областей когнитивного графического образа (рис. 1), с управляющего информационного выхода блока управления 2 на управляющий вход ЦАП 6 подается сигнал, переключающий устройство в традиционный режим управления.

Докажем эффективность предлагаемых способа и устройства оперативного динамического анализа состояний многопараметрического объекта относительно прототипа. Теоретические исследования и практические результаты показывают, что при оптимальном управлении уменьшение затрат энергии может достигать от 5 до 40 % по сравнению с традиционно используемыми управляющими воздействиями [4–5]. В качестве примера рассмотрим перевод теплового объекта – нагревательной плиты из начального состояния  $z_1^0$  в конечное  $z_1^k$ , с минимумом затрат энергии.

Массив реквизитов для анализа энергосберегающего управления приведен в табл. 1.

$I_3$  – функционал (лимит) затрат энергии при традиционном управлении (рис. 3, кривая  $u$ ). Следовательно, задача заключается в определении такого управления,

Таблица 1

Исходные данные эксперимента	
Параметр	Значение
$a_1$	-0,10
$a_2$	-1,10
$b$	1,00
$t_0$	0
$t_k$	5,00
$u_H$	0
$u_B$	200,00
$z_1^0$	15,00
$z_1^k$	320,00
$z_2^0$	0
$z_2^k$	140
$I_{\Sigma}$	104000

которое обеспечит перевод объекта из начального состояния в конечное с минимумом затрат энергии. В результате проведения полного анализа оптимального управления получаем цветокодовую матрицу в виде образов эквивалентов множества состояний оптималь-

Таблица 2

Результаты эксперимента	
Параметр	Значение
$L_1$	0,38117
$L_2$	43,22061
Номер зоны	IV
$I$	65672

ного управления (рис. 1). Далее когнитивный графический образ формируют в адресном пространстве кодовой матрицы постоянного запоминающего устройства в виде образов эквивалентов множества состояний оптимального управления. На следующем этапе осуществляется операция синтеза, в результате чего получаем координаты точки  $S$  (рис. 1, табл. 2) и в соответствии с координатами полученной точки осуществляется выбор вида функции управления и ее реализация (рис. 2, кривая  $z^*$ , табл. 3).

На рис. 2 и в табл. 3 приведены зависимости, отображающие изменение температуры нагревательной системы при традиционном и оптимальном управлении.

Таким образом, используя свойство инерционности объекта и несколько большее время нагрева при энергосберегающем управлении, получаем функционал

Таблица 3

Изменение температуры нагревательной системы

$t$ , мин.	Результаты эксперимента			
	Традиционное управление		Энергосберегающее управление	
	$z$ , °C	$u$ , В	$z^*$ , °C	$u^*$ , В
0	15,0	200,00	15,0	51,4
0,2	18,6	200,00	15,9	51,1
0,4	28,7	200,00	18,4	51,0
0,6	43,9	200,00	22,2	51,1
0,8	63,1	200,00	27,0	51,4
1	85,4	200,00	32,6	52,0
1,2	110,2	200,00	38,8	52,9
1,4	136,9	200,00	45,6	54,4
1,6	165,0	200,00	52,9	56,3
1,8	194,2	200,00	60,5	59,0
2	224,0	200,00	68,5	62,4
2,2	254,4	200,00	77,0	66,9
2,4	285,0	200,00	85,9	72,7
2,6	320,0	–	95,4	80,0
2,8	–	–	105,5	89,1
3	–	–	116,5	100,6
3,2	–	–	128,5	114,9
3,4	–	–	141,8	132,7
3,6	–	–	156,8	154,6
3,8	–	–	173,8	181,7
4	–	–	193,4	200,00
4,2	–	–	215,6	200,00
4,4	–	–	239,8	200,00
4,6	–	–	265,6	200,00
4,8	–	–	292,4	200,00
5	–	–	320,0	–

затрат энергии  $I = 65672$ , что при сравнении с функционалом затрат энергии стандартного управления соответствует экономии электроэнергии, равной 36,85 %.

$$\frac{I_{\exists} - I}{I_{\exists}} \cdot 100\% = \frac{104000 - 65672}{104000} \cdot 100\% = 36,85\% . \quad (1)$$

Рассчитаем также технологичность заявляемого устройства в сравнении с прототипом.

$$\tau_1 = \sum_{i=1}^n \tau_i = \frac{n^2}{2} \tau_0, \quad (2)$$

$$\tau_2 = \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{m^2}{2} \tau_0, \quad (3)$$

$$m = kn, \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{m^2}{n^2} = k^2, \quad k = 2 \div 10, \quad (5)$$

где  $\tau_0$  – нормированное время операции ( $\tau_0 = 1$ );  $\tau_1$  – время выполнения всех операций заявленным устройством;  $\tau_2$  – время выполнения всех операций прототипом;  $n$  – количество операций, выполняемых заявляемым устройством;  $m$  – количество операций, выполняемых прототипом;  $k$  – коэффициент эффективности;  $\eta$  – технологичность.

Результаты полного анализа процессов динамики оптимального управления объектом, найденные априори и сформированные в адресном пространстве ПЗУ устройства в виде образов эквивалентов (рис. 1), позволяют исключить процедуру анализа оптимального управления при динамическом анализе состояний многопараметрического объекта в реальном масштабе времени, тем самым значительно сократить объем требуемых вычислений и число функциональных блоков устройства по отношению к прототипу. Таким образом, технологичность  $\eta$  заявляемых способа и устройства

будет в 4 до 100 раз выше известных решений в зависимости от типа многопараметрического устройства и особенностей его эксплуатации.

Предлагаемое устройство оперативного динамического анализа состояний многопараметрического объекта позволяет упростить процедуру измерения и оценки общего состояния многопараметрического объекта за счет того, что сложная процедура анализа оптимального управления производится априори, в результате чего когнитивный графический образ эквивалентов оптимального управления записывается в адресном пространстве кодовой матрицы ПЗУ, и не требуется его определение в процессе динамического анализа и управления, что в итоге повышает энергетическую и метрологическую эффективность на 36,85 % и технологическую эффективность в 4÷100 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Электрические измерения / под ред. В.Н. Малиновского. М.: Энергоиздат, 1982. С. 377-378.
2. Теория автоматического управления / под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высш. шк., 2000. С. 202-204.
3. Патент № 2134897 (РФ), ПМК G05B 19/408, G 06 F 17/40, опубликован 1999.08.20.
4. Аджиев М.Э. Энергосберегающие технологии. М.: Энергоатомиздат, 1990. 64 с.
5. Аракелов В.Е., Кремер А.И. Методические вопросы экономии энергоресурсов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 188 с.

Поступила в редакцию 3 апреля 2015 г.

#### Glinkin M.E., Glinkin E.I. THE DEVICE OF OPERATIONAL DYNAMIC ANALYSIS OF MULTIPARAMETER OBJECT STATE

The device of object management in the form of cognitive symbol of equivalents generated in the address space of the code matrix permanent storage automated on-line diagnostics of technical and functional state of multi-parameter object to improve the metrological and technical efficiency due to the automatic optimal power management.

*Key words:* cognitive matrix; device of optimal control; multivariable object; dynamic analysis; energy saving.

Глинкин Михаил Евгеньевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, ассистент кафедры биомедицинской техники, e-mail: olb012@mail.tambov.ru

Glinkin Mikhail Evgenyevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Assistant of Bio-medical Technics Department, e-mail: olb012@mail.tambov.ru

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры биомедицинской техники, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor of Bio-medical Technics Department, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru