

УДК 681.335
DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1190-1195

МЕТОД ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЙ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

© М.Е. Глинкин, Е.И. Глинкин

Тамбовский государственный технический университет
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106
E-mail: glinkinei@ Rambler.ru

Предложен метод структурного распознавания образов автоматизированных систем оперативной диагностики технического и функционального состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации для идентификации, распознавания, контроля и диагностики технического и функционального состояния в энергетике.

Ключевые слова: метод оперативной диагностики; состояния многопараметрического объекта; система; программируемая логическая матрица; когнитивная матрица; цветокодовый графический образ

Изобретение 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. Сущность: предложен способ оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации *отличающийся* тем, что графический образ когнитивной матрицы формируют в адресном пространстве постоянного запоминающего устройства. Данный образ затем используют для синтеза в масштабе реального времени энергосберегающих управляющих воздействий при любых изменениях динамических состояний объекта. Техническим результатом способа является повышение энергетической эффективности оборудования, снижение затрат на аппаратное и программное обеспечение системы диагностики, минимизация влияния субъективного фактора при оперативном обнаружении изменения состояния многопараметрического объекта, возможность автоматического принятия решений и реализация адаптивных управляющих воздействий по результатам анализа цветокодовой матрицы состояний исследуемого объекта с минимумом затрат энергии по данным диагностической информации.

Существует способ оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации [1], на основе поступающей множественной информации об исследуемом объекте. Способ заключается в обработке поступающей множественной измерительной информации с последующим формированием логических заключений или обобщенных данных с использованием вычислительных средств, а также формированием рекомендаций оператору по диагностике исследуемого объекта.

Недостатками этого способа являются отсутствие эффективной визуализации состояния функционирования объекта, невозможность наблюдения комплексной картины состояния многопараметрического объекта,

вследствие чего невозможно эффективно выполнять функцию параллельного контроля всех переменных состояния функционирования.

Существует способ оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта [2]. Способ заключается в оценке оператором качественных и количественных характеристик измеряемых величин и получении от системы рекомендаций по необходимым к выполнению действиям по заранее созданным алгоритмам из пополняемой библиотеки программ.

Недостатками этого способа являются низкая оперативность в выполнении команд и процедур, необходимых для оценки работы системы и ее коррекции, дорогостоящее программное и аппаратное обеспечение и сложность комплексной оценки поступающей информации, представляемой в разнородной форме.

За прототип принят способ оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации [3], заключающийся в оперативном обнаружении изменения динамического состояния многопараметрического объекта, отображающегося на экране видеомонитора в виде когнитивной кодовой матрицы состояний. Состояние измерительного параметра представляют в цветовом коде видимого спектра, а весь поток измерительной информации отображают на экране нескольких многоцветных видеомониторов в виде цветокодовой матрицы-диаграммы. Используется принцип причинно-следственных зависимостей, происходящих во времени в объекте процессов, отображаемых параметрами, что позволяет по виду цветокодовой матрицы-диаграммы оценить динамику изменения анализируемых процессов с выявлением последовательности их взаимовлияния при переходе из одного состояния в другое.

Недостатками прототипа являются отсутствие энергетической эффективности оборудования с минимумом затрат энергии, микросхемотехники из-за невозможности автоматического принятия решений, в т. ч. в масштабе реального времени и реализации

адаптивных управляющих воздействий по результатам анализа цветокодовой матрицы состояний исследуемого объекта с минимумом затрат энергии, рассредоточение диагностической информации на нескольких средствах отображения.

Технической задачей способа является повышение энергетической эффективности оборудования с минимумом затрат энергии, микросхемотехники, а именно, снижение затрат на аппаратное и программное обеспечение системы диагностики и минимизация влияния субъективного фактора при оперативном обнаружении изменения состояния многопараметрического объекта, отображающегося на экране видеомонитора, возможность автоматического принятия решений и реализация адаптивных управляющих воздействий по результатам анализа цветокодовой матрицы состояний исследуемого объекта с минимумом затрат энергии по данным диагностической информации.

Поставленная техническая задача достигается тем, что в способе оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации [4], заключающемся в оперативном обнаружении изменения состояния многопараметрического объекта, отображающегося на экране видеомонитора в виде когнитивной кодовой матрицы состояний $\{\Phi\} = \{L_1 \cdot L_2\}$, в отличие от прототипа, графический образ когнитивной матрицы формируют в адресном пространстве постоянного запоминающего устройства тождественно образам эквивалентов множества состояний оптимального управления, которые находят априори из полного анализа процессов динамики оптимального управления объектом, описываемый моделью двойного интегратора, а затем используют для синтеза в масштабе реального времени энергосберегающих управляющих воздействий при любых изменениях динамических состояний объекта, которые отражают адреса точек диагностики соответствующего образа эквивалентов, где L_1 – множество управляющих воздействий, L_2 – меры оценки затрат на управление.

Сущность предлагаемого оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации (рис. 1–3) заключается в оперативном обнаружении изменения состояния многопараметрического объекта, отображающегося на экране видеомонитора в виде когнитивного образа множества состояний оптимального управления $\{\Phi\} = \{L_1 \cdot L_2\}$ (рис. 1).

Для повышения энергетической эффективности оборудования с минимумом затрат энергии, микросхемотехники, когнитивный графический образ (рис. 1) формируют в адресном пространстве постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) в виде образов эквивалентов множества состояний оптимального управления, которые находят априори из полного анализа процессов динамики оптимального управления объектом, описываемой моделью двойного интегратора. Образы эквивалентов в коде используют для синтеза в масштабе реального времени энергосберегающих воздействий при любых изменениях динамических состояний объекта, которые отражают адреса точек диагностики соответствующего образа эквивалентов, где L_1 – множество управляющих воздействий, L_2 – меры оценки затрат на управление. Это позволяет исключить процедуру анализа оптимального управления в реальном масштабе времени, тем самым значительно упростить работу энергетической системы и понизить требования

к техническим и программным средствам, реализующим управление.

Поясним предлагаемый способ на примере оптимального управления динамическим процессом электрооборудования.

Процесс динамики электрических нагревателей и электродвигателей может быть описан дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} \bullet & \\ z_1 &= z_2(t), \\ \bullet & \\ z_2 &= bu(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где z представляет собой фазовую координату; параметр b – коэффициент усиления управляющего воздействия $u(t)$.

Для определения оптимальных управляющих воздействий u^* , реализующих оптимальное энергосберегающее управление по переводу объекта из начального состояния z^0 в конечное z^k , необходима сложная двухэтапная процедура, состоящая из анализа и синтеза оптимального управления в реальном масштабе времени.

Получаемые результаты анализа оптимального управления на множестве состояний функционирования служат основой базы знаний для широкого круга задач разработки алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления различными динамическими объектами. Для выполнения процедуры анализа оптимального управления автоматически или оператором вводятся исходные данные для решения задачи, представленные в виде массива реквизитов

$$R = (b, u_n, u_b, z^0, z^k, t_0, t_k). \quad (2)$$

Результатом анализа является получение когнитивного образа множества состояний оптимального управления $\{\Phi\} = \{L_1 \cdot L_2\}$, на котором показаны области существования управлений (рис. 1).

Вид минимизируемого функционала сохраняется на всем временном интервале управления

$$I_0 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min_u, \quad (3)$$

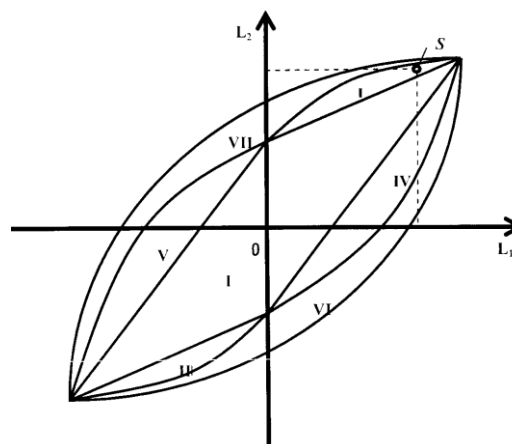


Рис. 1. Когнитивный графический образ оптимального управления

$$u^*(\cdot) = (u^*(t), t \in [t_0, t_k]), \quad (4)$$

управляющее воздействие на заданном временном интервале ограничено

$$\forall t \in [t_0, t_k]: u(t) \in [u_n, u_b], \quad (5)$$

где u_n – нижний порог управляющего воздействия; u_b – верхний порог управляющего воздействия.

Следовательно, управление ограничено в каждый момент времени, концы траектории изменения фазовых координат закреплены и временной интервал фиксирован.

Анализ оптимального управления охватывает широкий круг задач, связанных с исследованиями вопросов существования решения, устойчивости, определения возможных видов функций оптимального управления и множество других задач. Выполнение процедуры анализа оптимального управления требует сложных алгоритмических и математических расчетов и как следствие дорогостоящих высокопроизводительных микропроцессорных технических средств. Это является препятствием к оперативному выбору оптимальной управляющей функции в масштабе реального времени.

Из полученных на основе полного анализа областей (рис. 1), областями для которых существует оптимальное управление, будут являться области I, II, III, IV, V, VI, VII.

Синтез управляющих воздействий осуществляется по результатам полного анализа проведенного априори и представленного в виде когнитивного образа множества состояний оптимального управления $\{\Phi\} = \{L_1 \cdot L_2\}$, сформированного в адресном пространстве кодовой матрицы $L_1 \cdot L_2$ ПЗУ устройства управления, по массиву исходных данных реквизитов задачи оптимального управления (2).

В результате процедуры синтеза оптимального управления определяем область на рис. 1, в которую попадает точка S с координатами (L_1, L_2) . Каждой области соответствует определенный вид функции управления.

В случае если оптимальное управление не найдено, т. е. координаты точки $S = (L_1, L_2)$ не принадлежат областям I–VII когнитивного графического образа, то осуществляется автоматический или ручной перевод устройства управления из оптимального в традиционный для многопараметрического объекта режима функционирования.

В зависимости от требований к функционированию энергетической установки оператор, используя в процессе диагностики когнитивный образ $\{\Phi\} = \{L_1 \cdot L_2\}$, представленный в виде цветокодовой матрицы $L_1 \cdot L_2$ состояний объекта, может как самостоятельно в зависимости от состояния функционирования выбирать функцию управления, так и переводить систему в автоматический режим при любых изменениях состояния функционирования.

Докажем эффективность предлагаемого способа оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации относительно прототипа. К наиболее энергоемким объектам относятся тепловые аппараты, машины с электроприводами, т. е. большинство видов технологических установок в машиностроительной, химической, металлургической, строительной и других отраслях

промышленности. Одним из направлений повышения эффективности функционирования энергетических установок является снижение затрат энергии при любых изменениях состояний их функционирования и условий процесса.

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 [5–8]. Кроме того, в динамических режимах, с минимумом затрат энергии, снижаются механические и тепловые нагрузки, что ведет к повышению долговечности и безопасности эксплуатации энергетических объектов.

Значительно более простая процедура задания массива исходных данных задачи оптимального управления позволяет визуализировать получаемую функцию управления в зависимости от выбранного состояния функционирования объекта, что позволяет более эффективно осуществлять диагностику объекта, а также реализовать энергосберегающее управление объектом. В качестве примера рассмотрим перевод теплового объекта – нагревательного элемента из начального

Таблица 1

Исходные данные эксперимента (Массив реквизитов)

Параметр	Значение
b	0,05
u_n	0
u_b	180,0
z^0	25
z^k	400
t_0	0
t_k	10,0
I_{Σ}	298080

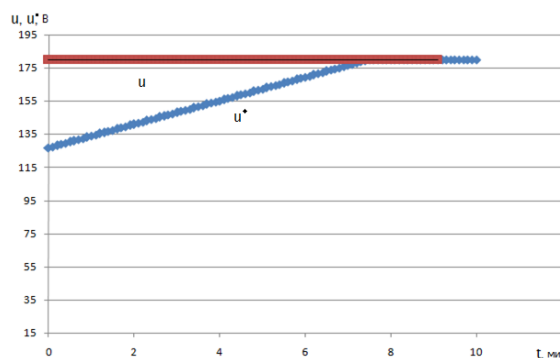


Рис. 2. Функционал затрат при традиционном и оптимальном управлении

Таблица 2

Результаты эксперимента

Параметр	Значение
L_1	1,555
L_2	1,777
Номер зоны	III
I	259111

Таблица 3

Результаты эксперимента

t , мин.	Традиционное управление		Энергосберегающее управление	
	z , °C	u , В	z^* , °C	u^* , В
0	25,0	180,0	25,0	126,6
0,2	25,0	180,0	25,1	128,0
0,4	25,4	180,0	25,5	129,5
0,6	26,1	180,0	26,1	130,9
0,8	27,2	180,0	27,0	132,3
1	28,6	180,0	28,2	133,7
1,2	30,4	180,0	29,6	135,2
1,4	32,6	180,0	31,3	136,6
1,6	35,1	180,0	33,3	138,0
1,8	38,0	180,0	35,6	139,4
2	41,2	180,0	38,1	140,8
2,2	44,8	180,0	40,9	142,3
2,4	48,8	180,0	44,0	143,7
2,6	53,1	180,0	47,4	145,1
2,8	57,8	180,0	51,1	146,5
3	62,8	180,0	55,1	148,0
3,2	68,2	180,0	59,3	149,4
3,4	74,0	180,0	63,9	150,8
3,6	80,1	180,0	68,8	152,2
3,8	86,6	180,0	73,9	153,6
4	93,4	180,0	79,4	155,1
4,2	100,6	180,0	85,2	156,5
4,4	108,2	180,0	91,3	157,9
4,6	116,1	180,0	97,7	159,3
4,8	124,4	180,0	104,5	160,8
5	133,0	180,0	111,5	162,2
5,2	142,0	180,0	118,9	163,6
5,4	151,4	180,0	126,6	165,0
5,6	161,1	180,0	134,7	166,4
5,8	171,2	180,0	143,0	167,9
6	181,6	180,0	151,8	169,3
6,2	192,4	180,0	160,8	170,7
6,4	203,6	180,0	170,2	172,1
6,6	215,1	180,0	179,9	173,6
6,8	227,0	180,0	190,0	175,0
7	239,2	180,0	200,4	176,4
7,2	251,8	180,0	211,2	177,8
7,4	264,8	180,0	222,4	179,2
7,6	278,1	180,0	233,9	180,0
7,8	291,8	180,0	245,7	180,0
8	305,8	180,0	258,0	180,0
8,2	320,2	180,0	270,5	180,0
8,4	335,0	180,0	283,5	180,0
8,6	350,1	180,0	296,8	180,0
8,8	365,6	180,0	310,4	180,0
9	381,4	180,0	324,5	180,0
9,2	397,6	–	338,8	180,0
9,4	–	–	353,6	180,0
9,6	–	–	368,7	180,0
9,8	–	–	384,1	180,0
10	–	–	400,0	–

состояния z^0 в конечное z^k за время Δt с минимумом затрат энергии

$$\Delta t = t_1 - t_0,$$

(6)

где t_0 – начальное время управления; t_1 – время, при котором объект выходит в рабочий режим при традиционном управлении.

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

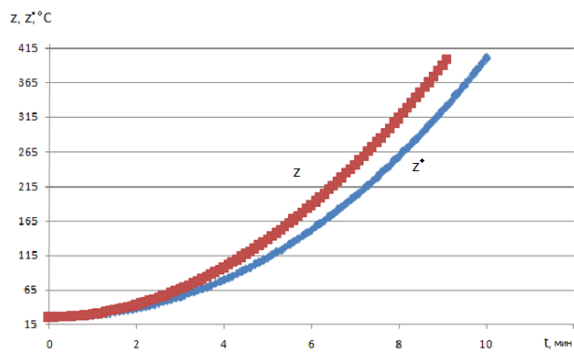


Рис. 3. Изменение температуры нагревательной системы при традиционном и оптимальном управлении

I_3 – функционал (лимит) затрат энергии при традиционном управлении (рис. 2, кривая u).

Следовательно, задача заключается в определении такого управления, которое обеспечит перевод объекта из начального состояния в конечное с минимумом затрат энергии (3).

В результате проведения полного анализа процессов динамики оптимального управления получаем цветоводную матрицу в виде образов эквивалентов множества состояний оптимального управления (рис. 1).

Далее когнитивный графический образ кодовой матрицы формируют в адресном пространстве постоянного запоминающего устройства тождественно образам 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 ее координатами осуществляется выбор вида функции управления и ее синтез (рис. 2, табл. 3).

Вид функции оптимального управления для состояния объекта в полученной точке S будет определяться следующей системой уравнений

$$u(t) = \begin{cases} d_0 + d_1, & t \in [t_0, t_n], \\ u_B, & t \in [t_n, t_k], \end{cases} \quad (7)$$

где параметры $d_0 = 126,6$, $d_1 = 7,11$, время переключения функций управления $t_n = 7,5$ мин.

На рис. 3 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 затрат энергии $I = 259111$, что при сравнении с функционалом затрат энергии стандартного управления соответствует экономии электроэнергии, равной 13,07 %

$$\frac{I_3 - I}{I_3} \cdot 100\% = \frac{298080 - 259111}{298080} \cdot 100\% = 13,07\% \quad (8)$$

Используемый способ оперативной диагностической информации состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации позво-

ляет значительно упростить требования к системе диагностики и управления динамическими режимами энергетического оборудования за счет того, что сложная процедура анализа оптимального управления производится априори, в результате чего когнитивный графический образ множества состояний оптимального управления записывается в постоянное запоминающее устройство, и не требуется его определение в процессе диагностики и управления.

Реализация предлагаемого способа осуществлена с использованием микропроцессорного контроллера ZILA и построена на базе экспертной системы энергосберегающего управления, автоматизированного рабочего места разработчика систем энергосберегающего управления. Информация о координатах точки в пространстве синтезирующих переменных и выбранном в соответствии с этим видом управления выводится на встроенный экран микропроцессорного контроллера или цветной видеомонитор оператора автоматизированного рабочего места.

Таким образом, предлагаемый способ, благодаря формированию когнитивного графического образа кодовой матрицы в адресном пространстве постоянного запоминающего устройства в виде нормируемых эквивалентов множества состояний оптимального управления, которые находят априори из полного анализа процессов динамики оптимального управления объектом, а затем данный образ используют для синтеза в масштабе реального времени энергосберегающих управляющих воздействий, в отличие от известных решений, экономит электроэнергию от 5 до 40 %, что повышает энергетическую эффективность оборудования с минимумом затрат энергии. Это позволяет снизить затраты на аппаратное обеспечение системы управления вследствие пониженных требований к быстройдействию системы, конфигурации микросхемотехники, а также свести к минимуму влияние субъективизма при принятии решений, сделать возможным процедуру автоматического принятия решений за счет реализации адаптивных управляющих воздействий по результатам анализа когнитивного образа состояний исследуемого объекта с минимумом затрат энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические измерения / под ред. Е.Г. Шрамкова. М.: Высш. шк., 1972. 496 с.
2. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Система оптимального управления двойного интегрирования // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 2. С. 669-673.
3. Способ оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации. Патент РФ № 2125294. ПМК G08C 15/06, G 06 F 7/00, опубл. 1999.
4. Глинкин М.Е., Глинкин Е.И. и др. Способ оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта по данным измерительной информации. Патент РФ № 2403619. ПМК G 06 K 15/00, 2010. Бюл. № 31.
5. Аджиев М.Э. Энергосберегающие технологии. М.: Энергоатомиздат, 1990. 64 с.
6. Араkelов В.Е., Кремер А.И. Методические вопросы экономии энергоресурсов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 188 с.
7. Кириллин В.А. Энергетика. Главные проблемы. М.: Энергетика, 1985. 87 с.
8. Рэй Д. Экономия энергии в промышленности / пер. с англ. М., 1985. 212 с.

Поступила в редакцию 24 апреля 2017 г.

Глинкин Михаил Евгеньевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, докторант кафедры биомедицинской техники, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской техники, заслуженный изобретатель Российской Федерации, e-mail: glinkinei@rambler.ru

UDC 681.335

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1190-1195

THE METHOD OF EXPEDITIOUS DIAGNOSTICS OF MULTIPLE PARAMETER OBJECT CONDITIONS

© M.E. Glinkin, E.I. Glinkin

Tambov State Technical University

106 Sovetskaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: glinkinei@rambler.ru

The method of structural recognition of images of the automated systems of expeditious diagnostics of technical and functional conditions of multiple parameter object according to measuring information for identification, recognition, control and diagnostics of a technical and functional condition in power is offered.

Keywords: method of expeditious diagnostics; condition of multiple parameter object; system; programmable logical matrix; cognitive matrix; color-code graphic image

REFERENCES

1. Shramkov E.G. (ed.). *Elektricheskie izmereniya* [Electrical Measurements]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1972, 496 p. (In Russian).
2. Glinkin E.I., Glinkin M.E. Sistema optimal'nogo upravleniya dvoynogo integrirovaniya [System of optimum control of double integration]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2012, vol. 17, no. 2, pp. 669-673. (In Russian).
3. *Sposob operativnoy diagnostiki sostoyaniy mnogoparametricheskogo ob'ekta po dannym izmeritel'noy informatsii* [The way of operative diagnostics of multi-parameter state according to measurement information]. Patent RF no. 2125294. PMK G08S 15/06, G 06 F 7/00, 1999. (In Russian).
4. Glinkin M.E., Glinkin E.I. et al. *Sposob operativnoy diagnostiki sostoyaniy mnogoparametricheskogo ob'ekta po dannym izmeritel'noy informatsii* [The way of operative diagnostics of multi-parameter state according to measurement information]. Patent RF no. 2403619. PMK G 06 K 15/00, 2010. (In Russian).
5. Adzhiev M.E. *Energoberegayushchie tekhnologii* [Energy Saving Solutions]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990, 64 p. (In Russian).
6. Arakelov V.E., Kremer A.I. *Metodicheskie voprosy ekonomii energoresursov* [Methodological Issues of Energy Saving]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990, 188 p. (In Russian).
7. Kirillkin V.A. *Energetika. Glavnye problemy* [The Main Problems]. Moscow, Energetika Publ., 1985, 87 p. (In Russian).
8. Rey D. *Ekonomiya energii v promyshlennosti* [Energy Saving in Industry], trans. from English. Moscow, 1985, 212 p.

Received 24 April 2017

Glinkin Mikhail Evgenevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Doctoral Candidate of Biomedical Technics Department, e-mail: bmt@nnn.tstu.ru

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Biomedical Technics Department, Honored Inventor of Russian Federation, e-mail: glinkinei@rambler.ru

Для цитирования: Глинкин М.Е., Глинкин Е.И. Метод оперативной диагностики состояний многопараметрического объекта // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1190-1195. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1190-1195

For citation: Glinkin M.E., Glinkin E.I. Metod operativnoy diagnostiki sostoyaniy mnogoparametricheskogo ob'ekta [The method of expeditious diagnostics of multiple parameter object conditions]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1190-1195. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1190-1195 (In Russian, Abstr. in Engl.).