УДК 681.004

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Бушуева М.Е., Беляков В.В., Макаров В.С., Колотилин В.Е.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева», г. Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: makvl2010@gmail.com

В работе рассматриваются теоретические аспекты многокритериального проектирования диагностических систем технических объектов и их структурных взаимосвязей, подвергшихся некорректному внешнему воздействию и находящихся в нечетком состоянии. В связи с чем, повышение качества функционирования и определение действительного технического состояния изделий (объектов, систем) является важной проблемой, от правильного решения которой зависит эффект их использования. В обеспечении требуемого уровня качества функционирования и надежности сложных технических систем особая роль принадлежит методам технического диагностирования. В диагностике технических систем, нередко проявляются дефекты, при которых связь между признаками и причинами неисправностей носит неоднозначный характер, что приводит к нечеткости процесса диагностирования. Для решения таких задач диагностирования, на практике были разработаны альтернативные методы поиска дефектов. Эти методы основаны на базе математического аппарата нечетких множеств и логик, позволяющих реализовать методику функционирования программно-алгоритмических инструментов поиска дефектов.

Ключевые слова: Многокритериальная оптимизация, диагностика

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS CHECK-ABILITY UNDER FUZZY CONDITIONS OF THE OBJECT

Bushueva M. E., Belyakov V.V., Makarov V.S., Kolotilin V.E.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: makvl2010@gmail.com

In this work the theoretical aspects of multi-criteria designing of the diagnostic systems of technical objects and their structured connections under incorrect external influence and fuzzy condition are considered. In connection with that increasing quality of operation and determination of a real technical conditions of products (objects, systems) is a great problem, from it's correct decision depends the effect of their use. In provision required level quality operation and reliability of the complex technical systems special role belongs to the methods of technical diagnosing. In diagnostics of the technical systems quite often the defects appear under which signs and reasons of the faults bring fuzzy process of diagnostic. For decision of such problems of diagnostics alternative methods of searching for defects were designed in practice. These methods are founded on the base of the mathematical system of the fuzzy sets and logician allowing realize the methods of the operating software-algorithmic instrument of searching for defects.

Key words: Multi-criteria optimization, diagnostic

В диагностике технических систем, подвергшихся некорректному внешнему воздействию, нередко проявляются дефекты, при которых связь между признаками и причинами неисправностей носит неоднозначный характер. Простые двузначные утверждения типа «испраный-1» – «неисправный-0» недостаточны, поскольку современные диагностические системы должны распознавать опасные условия функционирования, причины и тип возникшей неисправности, которые не поддаются четкому и однозначному описанию.

В работах [5],[6] говорится, что важным шагом в любом методе диагностики отказов является построение адекватной математической модели. Диагностирование неисправностей системы при помощи детерминистических методов распознавания дефектов эффективно только при наличии математической модели ее функционирования или процесса. Эти модели в большинстве случаев решаемы с использованием численных методов, что накладывает ограничение на их использование в реальном времени при поиске неисправностей и управлении технической системой. Почти все реальные процессы функционирования технических систем имеют нелинейное поведение, и для них характерно возникновение нештатных ситуаций. Эти ситуации сопряжены с нечеткостью поступающей диагностической информации. В этих случаях используют экспертов, то есть происходит вмешательство человека в процесс диагностирования и управления технической системой. Исключение человека из процесса управления или поиска дефектов в таких условиях возможно с использованием методов нечеткой логики позволяющих обрабатывать знания и делать заключения на основе рассеянных, неточных, разбросанных и неполных знаний. В работе представляются предпосылки построения таких диагностических систем, предлагается метод их многокритериального проектирования.

Аппарат нечетких множеств применяется для решения задач, в которых исходные данные являются ненадежными и слабо формализованными. Толчком к развитию новой метаматематической теории явилась опубликованная в 1965 г. работа L.Zadeh «Fuzzy Sets», в которой он расширил классическое понятие множества, допустив, что характеристическая функций (функция принадлежности элемента множеству) может принимать любые значения в интервале (0,1), а не только 0 или 1. Такие множества были названы им нечеткими (fuzzy). В 1993 г B.Kosko доказал теорему «Fuzzy Approximation Theorem», согласно которой *любая математическая система может быть аппроксимирована системой основанной на нечеткой логике*. Согласно [1], сильными сторонами применения математического подхода основанного на нечетких множествах и нечетких логиках являются: описание условий и метода решения задачи на языке, близком к естественному; универсальность и эффективность. Но имеются характерные недостатки: исходный набор постулируемых нечетких правил формируется экспертом и может оказаться неполным или противоречивым; вид и параметры функции принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться недостаточно адекватно отражающими реальную действительность.

Функция принадлежности и нечеткие множества, согласно [1] определяются при условии, что задано универсальное множество E с элементами $x \in E$, а также некоторое свойство S, определяющее принадлежность элементов к множеству, тогда:

Определение 1. *Если подмножество $A \subset E$ и определяется как множество упорядоченных пар $A = \{(x, \mu_A(x))\}$, а его элементы $x \in E$, удовлетворяющие свойству S, принимают значения $\{(x,1)\}$ и $\{(x,0)\}$, то множество A является* ***четким***.

Определение 2. *Если подмножество $\tilde{A} \subset E$ и определяется как множество упорядоченных пар $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$, а его элементам $x \in E$ нельзя дать однозначного ответа $[1,0]$ от-*

носительно свойства S о принадлежности к подмножеству $\tilde{A}$*, то есть характеристическая функция* $\mu_{\tilde{A}}(x)$ *для* $\forall x \in E$ *принимает значения* $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$*, то множество* $\tilde{A}$ *является* ***нечетким***.

Определение 3. *Функция* $\mu_A(x)$*, принимающая значения в некотором упорядоченном множестве M (*$M = \{0,1\}$ *) относительно свойства S и указывающая степень (уровень) принадлежности элемента* $x \in E$ *к подмножеству A или* $\mu_{\tilde{A}}(x)$*, принимающая значения в некотором упорядоченном множестве M (*$M = [0,1]$ *) относительно свойства S и указывающая степень (уровень) принадлежности элемента* $x \in E$ *к подмножеству* $\tilde{A}$ *называется* ***характеристической функцией принадлежности***.

Определение 4. *Пусть* $\alpha \in [0,1]$; *Подмножеством* **α *- уровня*** *нечеткого подмножества* $\tilde{A}$ *называется обычное* ***четкое*** *множество* A_α*, где* $A_\alpha = \{x / \mu_{\tilde{A}} \geq \alpha\}$, $\forall x \in E$.

Понятие графа играет немаловажную роль в приложениях математики, поэтому стоит обобщить его на случай нечетких множеств.

Определение 5. *Пусть существуют два множества* E_1, E_2, причем $x \in E_1$ $y \in E_2$. *Множество упорядоченных пар* (x, y) *определяет декартово произведение* $E_1, \otimes E_2$.

Нечеткое множество $\tilde{G}$ *, такое, что* $\forall (x, y) \in E_1, \otimes E_2$: $\mu_{\tilde{G}}(x,y) \in M$, где *M – множество принадлежностей элементов множества* $E_1, \otimes E_2$*, называется* ***нечетким графом***

Основные характеристики нечетких множеств и операции над нечеткими множествами, а также методы построения функций принадлежности подробно изложены в работе [1].

Постановка задачи. ***Применим теорию нечетких множеств для решения задачи диагностирования сложной технической системы.***

Пусть объект диагностирования задан в виде ***нечеткого упорядоченного графа*** $\tilde{G}(V,U)$ с *n* вершинами, где *V* и *U* - соответственно множества *вершин* и *ребер*. Вершинам графа $\tilde{G}(V,U)$ ставятся в соответствие блоки объекта диагностирования, а ребрам - связи между блоками. Причем, связи между блоками обладают определенным уровнем устойчивости (степенью принадлежности) $\mu_{\tilde{G}}(v_i, v_j)$ ($\mu_{\tilde{G}}(v_i, v_j) \in [0,1], v_i \in V, v_j \in V$). Известно множество $Y(|Y| = y)$ точек контроля, обусловленных назначением и конструкционным исполнением объекта диагностирования. Из множества $V(|V| = n)$ выделяется подмножество $P(P \subset V, |P| = n - y)$. Каждой точке $p_k \in P$ ставится в соответствие стоимость $c(p_k)$ $(k = \overline{1, n-y})$ ее реализации. При этом задано число *z* дополнительно организуемых точек контроля. Требуется дополнить множество *Y* точек контроля множеством $Z^*\left(Z^* \subset P, \left|Z^*\right| = z\right)$ так, чтобы на множестве $Y \cup Z^*$ коэффициент глубины поиска дефекта любой кратности стремился к максимуму, а стоимость реализации назначенных точек контроля была минимальной.

Тогда математическая постановка задачи имеет вид:

$$\left.\begin{array}{l} K_{\text{г.п}}\left(Z^* \cup Y\right) = \max\limits_{Z \subset P} K_{\text{г.п}}(Z \cup Y), \\ C\left(Z^*\right) = \min\limits_{Z \subset P} C(Z), \\ |Z| = z, \end{array}\right\}, \tag{1}$$

где $C(Z) = \sum\limits_{k \in Z} c(p_k)$ значение стоимости реализации множества Z точек контроля объекта диагностирования.

Решение задачи. Рассматриваемая задача относится к классу *многокритериальных задач*. Для ее решения можно использовать метод свертывания векторного критерия, который подробно рассматривался в [2]. Этот метод оптимизации учитывает относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции F, являющейся обобщенным критерием оптимальности. Функция F с аддитивным критерием оптимальности имеет вид: $F_\Sigma(w, Q(x)) = \sum_{i=1}^{2} w_i Q_i(x)$, (2)

где $Q(x) = \{Q_1(x), Q_2(x)\}$ –вектор частных критериев, причем $Q_1(x)$ соответствует нормированному коэффициенту глубины поиска дефекта любой кратности $(N_K(Y \cup Z))$, $Q_2(x)$ – нормированной стоимости реализации дополнительных точек контроля $(N_C(Z))$; $w = \{w_1, w_2\}$ –весовые коэффициенты относительной важности частных критериев, которым при решении предлагается дать точные численные оценки.

Для нормирования частных критериев примем одинаковую шкалу измерения [α, β]. При этом [α, β]=[1, 2] для $K_{\text{г.п}}(Y \cup Z)$ и [α, β]=[2, 1] для $C(Z)$. В результате для нормирования $K_{\text{г.п}}(Y \cup Z)$ получаем следующую формулу: $N_K(Y \cup Z) = \dfrac{K_{\text{гп}}(Y \cup Z) - \min\limits_{Z \subset P} K_{\text{гп}}(Z \cup Y)}{\max\limits_{Z \subset P} K_{\text{гп}}(Z \cup Y) - \min\limits_{Z \subset P} K_{\text{гп}}(Z \cup Y)}(\beta - \alpha) + \alpha$. (3)

Для нормирования $C(Z)$: $N_C(Z) = \dfrac{C(Z) - \min\limits_{Z \subset P} C(Z)}{\max\limits_{Z \subset P} C(Z) - \min\limits_{Z \subset P} C(Z)}(\beta - \alpha) + \alpha$. (4)

В результате задача сводится к решению *однокритериальной задачи* оптимизации:

$$F(w, Q(Y \cup Z)) = \max_{Z \subset P} F(w, Q(Y \cup Z)) = \max_{Z \subset P}\{w_1 N_K(Y \cup Z) + w_2 N_C(Z)\}, \tag{6}$$

Полученная задача является задачей *дискретной оптимизации*, которую можно решить с помощью *метода ветвей и границ*.

Решение задачи для объекта диагностирования заданного в виде упорядоченного (четкого) графа G (V, U) подробно было рассмотрено в [3]. Отличительная особенность решения подобной задачи с использованием нечеткого упорядоченного графа $\tilde{G}(V, U)$ в нахождении коэффициента глубины поиска дефекта любой кратности на определенном множестве точек контроля

Расчет коэффициента глубины поиска дефекта любой кратности с использованием нечетких множеств производится по [3]: $K_{гп} = F_n(Y) / S$, (7)

где $S_n = 2^n - 1$, общее число возможных дефектов кратности от 1 до n, $F_n(Y)$ - число однозначно различимых дефектов любой кратности на множестве точек контроля Y.

Определение 6. *Дефект называется однозначно различимым на множестве точек контроля Y, если он обнаружим в системе без введения дополнительных точек контроля.*

Рассматриваемый нечеткий упорядоченный граф $\tilde{G}(V,U)$ можно представить в следующем виде: $\tilde{G}=\{((v_i,v_j)|\mu_{\tilde{G}}(v_i,v_j))/v_i\in V,\ v_j\in V\}$, при этом для решения поставленной задачи необходимо задать минимальный уровень устойчивости связи α (α-уровень) графа $\tilde{G}(V,U)$.

Далее для определения $F_n(Y)$ будем использовать следующий алгоритм:

1) По графу $\tilde{G}(V,U)$ строим матрицу достижимости **D**, исходя из правил построения пути в нечетком конечном графе [1].

2) Строим матрицу проверок $\tilde{\mathbf{B}}_Y$, элементы которой представляют из себя нечеткое множество Для того, чтобы получить множество, определяющее вектор-строку матрицы проверок $b(i,j)$ $(i<j)$, необходимо в матрице достижимости взять нечеткое множество, определяемое строкой под номером i и нечеткое множество, определяемое столбцом под номером j, а затем найти их пересечение [1]. Таким образом строятся все вектор- строки матрицы проверок $\tilde{\mathbf{B}}_Y$.

3) Определим матрицу $\mathbf{B}'_Y$, которая будет содержать обычное (четкое) множество, состоящее из 0 и 1 и являющееся α- уровнем нечеткого множества матрицы $\tilde{\mathbf{B}}_Y$ (α- уровень или уровень устойчивости связи был определен заранее).

4) Из матрицы $\mathbf{B}'_Y$ вычеркиваем столбцы, состоящие только из нулей**,** в результате будет получена матрица $\mathbf{B}_Y$.

5) В матрице $\mathbf{B}_Y$ выбираются столбцы, определяющие данный дефект.

6) Из матрицы $\mathbf{B}_Y$ вычеркиваются строки, которые не имеют единиц в выбранных столбцах, а затем вычеркиваются столбцы, имеющие единицы в этих строках.

7) Если из матрицы $\mathbf{B}_Y$ вычеркнуты все столбцы, кроме определяющих рассматриваемый дефект, тогда исследуемый дефект называется *однозначно распознаваемым*, в противном случае исследуемый дефект не является однозначно распознаваемым.

8) Подобным образом (п. 5-7) последовательно рассматриваем все предполагаемые дефекты. Количество однозначно распознаваемых дефектов определит $F_n(Y)$.

Используя выше приведенный алгоритм и формулу (7) можно определить $K_{гп}$ на любом множестве точек контроля и использовать для решения поставленной задачи.

Пример. В качестве примера многокритериальной оптимизации в задаче диагностики сложных технических систем рассмотрим объект, модель которого представлена в форме нечеткого упорядоченного графа $\tilde{G}\,(U,\,V)$ показанного на рис. 1.

$\tilde{G}=\{((1,4)\,|\,1),((2,4)\,|\,1),((2,5)\,|\,0{,}3),((3,6)\,|\,0{,}7),((4,6)\,|\,0{,}5),((5,6)\,|\,1)\}$

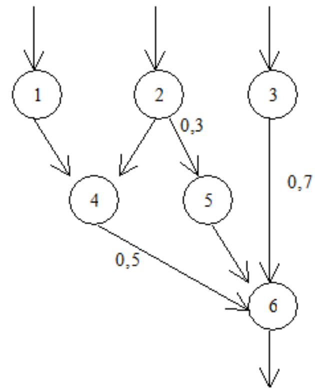

Рис. 1. Пример нечеткого упорядоченного графа

Известно исходное множество $Y = \{6\}$ точек контроля. Задано число z=2 дополнительно организуемых точек контроля, так же заданы стоимости реализации точек, претендующих на дополнительные точки контроля.

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
5 ед.	7 ед.	6 ед.	8 ед.	4 ед.

По графу построим матрицу достижимости **D**. На множестве $Y = \{6\}$ построим матрицу проверок $\tilde{\mathbf{B}}_Y$.

$$D = \begin{array}{c} \\ 1\\2\\3\\4\\5\\6 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{cccccc} 1 & & & 1 & & 0{,}5 \\ & 1 & & 1 & 0{,}3 & 0{,}5 \\ & & 1 & & & 0{,}7 \\ & & & 1 & & 0{,}5 \\ & & & & 1 & 1 \\ & & & & & 1 \end{array} \right\| \end{array} \qquad \tilde{\mathbf{B}}_Y = \begin{array}{c} \\ b(1,6)\\ b(2,6)\\ b(3,6) \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{cccccc} 0{,}5 & & & 0{,}5 & & 0{,}5 \\ & 0{,}5 & & 0{,}5 & 0{,}3 & 0{,}5 \\ & & 0{,}7 & & & 0{,}7 \end{array} \right\| \end{array}$$

Определим величину общего числа возможных дефектов кратности от 1 до n (n= 6)

$$S_n = 2^n - 1 = 63$$

Определим минимальный уровень устойчивости связи (α-уровень) α = 0,5, и построим матрицу $\mathbf{B}'_Y$. Исключим 5 столбец и получим матрицу $\mathbf{B}_Y$

$$\mathbf{B}'_Y = \begin{array}{c} \\ b(1,6)\\ b(2,6)\\ b(3,6) \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{cccccc} 1 & & & 1 & & 1 \\ & 1 & & 1 & & 1 \\ & & 1 & & & 1 \end{array} \right\| \end{array} \qquad \mathbf{B}'_Y = \begin{array}{c} \\ b(1,6)\\ b(2,6)\\ b(3,6) \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 6 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{ccccc} 1 & & & 1 & 1 \\ & 1 & & 1 & 1 \\ & & 1 & & 1 \end{array} \right\| \end{array}$$

Используя вышеприведенный алгоритм по матрице $\mathbf{B}_Y$ рассматриваемого примера, получим следующие однозначно выявляемые дефекты: b_1, b_2 , b_3, $b_1 \vee b_3$, $b_2 \vee b_3$. При этом $K_{гл}(Y) = F_n(Y)\,/\,S_n$ = 5/ 63 = 0,079.

Из множества точек P = {1, 2, 3, 4} необходимо выбрать две точки, при которых $K_{гп}$ максимален, а стоимость их реализации минимальна.

1-й шаг. За оценку на данном шаге принимаем выражение

$$F(w,Q(Y \cup Z_1)) = \max_{Z_{1j} \in P}\{F(w,Q(Y \cup Z_{1j}))\} = \max_{Z_{1j} \in P}\{0{,}7N_k(Y \cup Z_{1j}) + 0{,}3N_c(Z_{1j})\}\ . \qquad (8)$$

При этом $Y \cup Z_{11}$ = {1, 6}, $Y \cup Z_{12}$ = {2, 6}, $Y \cup Z_{13}$ = {3, 6}, $Y \cup Z_{14}$ = {4, 6}.

Определим $K_{гп}(Y \cup Z_{1j})$ и $N_K(Y \cup Z_{1j})$ ($j=\overline{1,4}$) для полученных множеств точек контроля, исходя из выше предложенных формул (7), (3).

$$K_{гп}(Y \cup Z_{11}) = 0,095;\ N_K(Y \cup Z_{11}) = 2;\ K_{гп}(Y \cup Z_{12}) = 0,095;\ N_K(Y \cup Z_{12}) = 2;$$

$$K_{гп}(Y \cup Z_{13}) = 0,079;\ N_K(Y \cup Z_{13}) = 1;\ K_{гп}(Y \cup Z_{14}) = 0,095;\ N_K(Y \cup Z_{14}) = 2.$$

Определим $N_C(Z_{1j})$, ($j=\overline{1,4}$), используя заданную стоимость реализации точек, претендующих на дополнительные точки контроля по формуле (4).

$$N_C(Z_{11}) = 1,75;\ N_C(Z_{12}) = 1,25;\ N_C(Z_{13}) = 1,5;\ N_C(Z_{14}) = 1.$$

Подставляя значения нормированных коэффициентов в выражение (8), определим значения обобщенных критериев оптимальности $F(w, Q(Y \cup Z_{1j}))$ ($j=\overline{1,4}$) ($F(w, Q(Y \cup Z_{11})) = 1,93$; $F(w, Q(Y \cup Z_{12})) = 1,78$; $F(w, Q(Y \cup Z_{13})) = 1,15$; $F(w, Q(Y \cup Z_{14})) = 1,7$; $F(w, Q(Y \cup Z_1)) = 1,93$) и первой дополнительной точкой контроля является элемент, соответствующий вершине 1.

2–й шаг. За оценку на втором шаге принимаем выражение

$$F(w,Q(Y \cup Z_2)) = \max_{Z_{2j} \in P}\{F(w,Q(Y \cup Z_{2j}))\} = \max_{Z_{2j} \in P}\{0,7N_k(Y \cup Z_{2j}) + 0,3N_c(Z_{2j})\}, \tag{9}$$

где $Y \cup Z_{21} = \{1, 2, 6\}$, $Y \cup Z_{22} = \{1, 3, 6\}$, $Y \cup Z_{23} = \{1, 4, 6\}$.

Для каждого из этих множеств определим $K_{гп}(Y \cup Z_{2j})$, $N_K(Y \cup Z_{2j})$, $N_C(Z_{2j})$ ($j=\overline{1,3}$) по формулам (7), (3), (4). $K_{гп}(Y \cup Z_{21}) = 0,143$; $N_K(Y \cup Z_{21}) = 2$; $N_C(Z_{21}) = 1$; $K_{гп}(Y \cup Z_{22}) = 0,095$; $N_K(Y \cup Z_{22}) = 1$;$N_C(Z_{22}) = 1,33$; $K_{гп}(Y \cup Z_{23}) = 0,111$; $N_K(Y \cup Z_{23}) = 1,33$;$N_C(Z_{23}) = 2$.

Определим значения обобщенных критериев оптимальности $F(w, Q(Y \cup Z_{2j}))$ ($j=\overline{1,3}$) по формуле (9) ($F(w, Q(Y \cup Z_{21})) = 1,7$; $F(w, Q(Y \cup Z_{22})) = 1,1$; $F(w, Q(Y \cup Z_{23})) = 1,53$; $F(w, Q(Y \cup Z_2)) = 1,7$) и второй дополнительной точкой контроля назначаем элемент, определяемый вершиной 2.

Таким образом, для выполнения условия задачи должно быть следующее множеств точек контроля, $Y \cup Z = \{1, 2, 6\}$. При этом $K_{гп}(Y \cup Z) = 0,14$, $C_{реал}(Z) = 12$ ед.

Заключение

Из сравнения решения задач, определение коэффициента глубины поиска дефекта любой кратности и стоимость введения дополнительных точек контроля для четкой задачи [2],[3],[6] и нечеткой задачи, рассмотренной в данной работе, видно, что решение задачи зависит от выбора уровня устойчивости связей α. Этот уровень зависит от величины некорректности внешнего воздействия на систему. При малых внешних воздействиях на техническую систему $\alpha \to 0$ и задача становится более четкой. С повышением внешнего некорректного воздействия $\alpha \to 1$ четкость задачи уменьшается. Так в приведенном примере при $\alpha=0,5$ из рассмотрения выпадает целая ветвь системы. Для распознавания дефектов необходимо повышать число точек контроля. В связи с чем, значительно возрастает стоимость диагностических систем. В рассмотренной задаче коэффициент глубины поиска не велик, что оставляет возможность для появления случая когда дефекты не будут распознаны.

Приведенные в работе методы и алгоритмы обладают высокой степенью универсальности и могут быть использованы в любых областях науки и техники, где требуются надежная диагностика и контроль работоспособности технических объектов, систем или изделий подвергшихся некорректному внешнему воздействию.

Список литературы

1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. - 431с.
2. Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем. - Н.Новгород: НГТУ, 2001. - 271 с.
3. Бушуева М.Е., Беляков В.В. Диагностика сложных технических систем / Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа // Труды 1-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductiors апрель 2001 г. Н.Новгород: (ННГУ им. Лобачевского.) ТАЛАМ,, 2001. - С. 63-98.
4. Бушуева М.Е., Беляков В.В. Многокритериальная оптимизация контролепригодности сложных систем / Разработка радиоционно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа // Труды 2-го рабочего совещании по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors, апрель 2002 г. Н.Новгород: (НГУ им. Лобачевского.) ТАЛАМ, 2002.. - С.74-84.
5. Барщдорф Д. Нейронные сети и нечеткая логика. Новые концепции для технической диагностики неисправностей /Приборы и системы управления. 1996. №2. - С.48-51.
6. Соколова Э.С., Капранов С.Н., Дмитриев Д.В. Адаптация генетических алгоритмов к решению задач назначения точек контроля в объектах с большим числом состояний/ Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2007. № 11. - С. 59-64.

Рецензенты:

Соколова Элеонора Станиславовна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информатика и системы управления», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева», г.Нижний Новгород.

Хранилов Валерий Павлович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерные технологии в проектировании и производстве», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева», г.Нижний Новгород.