

4 (77)' 2009

ІНФОРМАЦІЙНО -КЕРУЮЧІ  
СИСТЕМИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ  
ТРАНСПОРТІ

Виходить 6 разів на рік  
Видається з 23 квітня 1996 р.

INFORMACIJSNO-KERUÛCI SISTEMI  
NA ZALIZNICNOMU TRANSPORTI

Номер издан при содействии  
НТО железнодорожников  
Украины

**Твердохлебов В.А., Филиппова М.И.,**  
Сложность управления движением поездов по  
заданному маршруту \_\_\_\_\_ 4

Видання

Державної адміністрації  
залізниць України

**Скалозуб В. В., Швець О.М.,**  
Нейросетевые модели диагностики  
электродвигателей постоянного тока \_\_\_\_\_ 7

Української державної  
академії залізничного  
транспорту

**Твердохлебов В.А.,**  
Фазовые картины свойств сложных объектов  
технического диагностирования \_\_\_\_\_ 12

Міжнародна видавнична рада

Бочков К.А. (Білорусь)  
Басов В.І. (Україна)  
Данько М.І. (Україна)  
Загарій Г.І. (Україна)  
Зубко А.П. (Україна)  
Jiang Xin Hua (China)  
Кравцов Ю.О. (Росія)  
Негрей В.Я. (Білорусь)  
Остапчук В.М. (Україна)  
Сапожніков Вал.В. (Росія)  
Соболев Ю.В. (Україна)  
Таргамдзе О. (Литва)  
Христов Хр. (Болгарія)  
Шепко Н.А. (Україна)

**Серая О.В.,**  
Стохастическая транспортная задача.  
Нечетко – случайная модель \_\_\_\_\_ 16

**Бабенко А.В., Бодянский Е.В., Попов С.В.,**  
Нейро-фаззи эхо-сеть для прогнозирования  
состояний и диагностики  
электроэнергетических систем \_\_\_\_\_ 20

**Кривуля Г.Ф., Кучеренко Д.Е.,**  
Интеллектуальные средства  
диагностирования состояний  
компьютерных систем управления \_\_\_\_\_ 23

**Бритов Г.С., Мироновский Л.А.,**  
Моделирование системы функционального  
диагностирования \_\_\_\_\_ 29

<b>Бойнік А.Б., Абакумов О.А.,</b> Можливості підвищення ефективності інформаційного забезпечення систем переїзної сигналізації _____	35
<b>Гаврилюк В.И., Завгородний А.В.</b> Модель распределения гармоник тягового тока в рельсовой линии _____	40
<b>Приходько С.И., Волков А.С.,</b> Методы перекрытия с накоплением и перекрытия с суммированием для алгебраических самоортогональных сверточных кодов в частотной области _____	44
<b>Басов В.И., Герасименко О.В., Терещенко Ю.Н.,</b> Организация системы управления телекоммуникационной сетью _____	48
<b>Батаев О.П., Трубчанинова К.А.,</b> Анализ систем тактовой синхронизации в цифровых иерархиях на основе квазинепрерывного метода _____	52
<b>Богатырь Ю.И.,</b> Анализ существующих методов и средств управления стрелками и сигналами на железнодорожных станциях _____	60
<b>Чепцов М.М.,</b> Синтез поїзної та маневрової сигнальної моделі на основі безпечного функціонального елемента _____	66
<b>Соловьев В.М., Панферов А.Д.,</b> <b>Щербаков М.Г., Сперанский Д.В.,</b> Высокопроизводительный вычислительный кластер университета _____	75
<b>Приходько С.И., Безверхая Г.С.,</b> Метод построения генераторов ПСП с использованием эллиптических кривых _____	84
<b>Устенко О.В., Сушко Д.Л.,</b> До оцінки експлуатаційної надійності тягових двигунів постійного струму _____	88
<b>Гончарова Л.Л.</b> Информационные технологии мониторинга режимов электрических сетей на основе дифференциальных T-моделей _____	93

<b>Скалозуб В. В., Блохин Е.С.,</b> Автоматизированное нечетко-статистическое управление при моделировании расписания движения пассажирских поездов _____	98
<b>Смірнов В.В., Буряковський С.Г., Мойсєнко В.І.,</b> <b>Семчук Р.В., Демченко Ф.О.</b> Застосування керованого частотного електропривода в стрілочному переводі _____	105
<b>Варавін А. В., Кузьменко Д. М., Сіроклин І. М.,</b> Удосконалення засобів автоматичного контролю відсутності перешкод та рухомого складу на колійній ділянці _____	109
<b>Кошевий С.В., Кошевий М.С.,</b> Виявлення сигналів числового коду АЛСН на фоні завад з використанням статистичної теорії рішень: імовірність помилок та середній ризик _____	113
<b>Бочаров О.П. Пасечник В.І.</b> Оптимізація експлуатаційних витрат в управлінні перевізним процесом з використанням інформаційних технологій _____	121
<b>Бондаренко Б. М.,</b> Методы проверки реле с помощью измерительного диагностического комплекса _____	127
<b>Бугаева Е.В.,</b> Влияние морального старения и экономической оценки пассажирских вагонов на стратегию воспроизводства и обновления _____	134
<b>Панченко С.В., Тимошенко Е.В.,</b> Совершенствование системы управления телекоммуникационными сетями на основе Grid-технологии и компьютерных кластеров _____	138
<b>Гормакова И.В., Бережная М.А., Королева Я.Ю.,</b> Диагностические эксперименты в системах защиты информации на сетях клеточных автоматов _____	142
<b>Германенко О.А.,</b> Основные ситуации, возникающие в зоне переезда и уровни их опасности для движения железнодорожного транспорта _____	146
<b>Епифанов А.С.,</b> Метод диагностирования программируемых логических интегральных схем с использованием геометрических образов _____	152

УДК 681.3

КРИВУЛЯ Г.Ф., д.т.н., профессор,  
КУЧЕРЕНКО Д.Е, аспирант(НУРЭ)

## Интеллектуальные средства диагностирования состояний компьютерных систем управления

### Введение

Компьютерные системы управления (КСУ) являются в большинстве случаев системами жизнеобеспечения и к ним предъявляются жесткие требования к надежности работы. Однако с увеличением сложности современных КСУ повышается неустойчивость и ненадежность их функционирования. В результате ежегодные затраты на поддержку и ремонт КСУ намного превышают первоначальную общую стоимость оборудования и используемого программного обеспечения. Одно из основных требований к КСУ – это обеспечение максимально возможной бесперебойной работы в системах жизнеобеспечения.

Данное требование можно характеризовать как  $D$  - доступность технической системы, в данном случае КСУ, которая вычисляется следующим образом:

$$D = \frac{MTTF}{(MTTF+MTTR)},$$

где

$MTTF$  – Mean operating Time To Failure - средняя наработка до первого отказа (математическое ожидание наработки объекта до первого отказа, имеет смысл только для восстанавливаемых систем);

$MTTR$  – Mean Time To Repair - среднее время восстановления (математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа).

Для компьютерных систем за последние десятилетия удалось существенно повысить  $MTTF$ , и для приближения  $D$  - доступности к максимально возможной величине 100% нужно уменьшать  $MTTR$

### Постановка задачи

Целью настоящей работы является увеличение параметра доступности КСУ путем уменьшения  $MTTR$  за счет использования оперативного диагностирования состояний КСУ на основе интеллектуальных средств.

© Г.Ф. Кривуля, Д.Е. Кучеренко, 2009

### 1.Динамические экспертные системы

Надежная работа КСУ может быть реализована применением эффективных методов диагностируемости на основе современных интеллектуальных средств, в частности, диалоговых (динамических) экспертных систем (ЭС) реального времени. На их долю приходится 70 % современного рынка ЭС. Статические ЭС неспособны решать современные задачи диагностируемости, так как они не удовлетворяют следующим основным требованиям, предъявляемые к динамическим ЭС для диагностирования КСУ [1,2].

1. Представлять изменяющиеся во времени данные, поступающие от внешних источников (датчиков КСУ), обеспечивать хранение и анализ изменяющихся данных.

2. Выполнять временные рассуждения о нескольких различных асинхронных процессах одновременно (т.е. планировать в соответствии с приоритетами обработку поступивших в систему процессов).

3. Обеспечивать механизм рассуждения при ограниченных ресурсах (время, память). Реализация этого механизма предъявляет требования к высокой скорости работы системы, способности одновременно решать несколько задач (т.е. современные операционные системы UNIX, VMS, Windows NT, но не MS-DOS).

4. Обеспечивать "предсказуемость" поведения системы, т.е. гарантию того, что каждая задача будет запущена и завершена в строгом соответствии с временными ограничениями. Например, данное требование не допускает использования в ЭС реального времени механизма "сборки мусора", свойственного языку Lisp.

5. Моделировать "окружающий мир", рассматриваемый в данном приложении, обеспечивать создание различных его состояний.

6. Протоколировать свои действия и действия персонала, обеспечивать восстановление после сбоя.

7. Обеспечивать наполнение базы знаний для приложений реальной степени сложности с минимальными затратами времени и труда (необходимо использование объектно-ориентированной технологии, общих правил, модульности и т.п.).

8. Обеспечивать настройку системы на решаемые задачи (проблемная/предметная ориентированность).

9. Обеспечивать создание и поддержку пользова-

тельских интерфейсов для различных категорий пользователей.

10. Обеспечивать уровень защиты информации (по категориям пользователей) и предотвращать несанкционированный доступ.

На рисунке 1 приведена структура динамической (диалоговой) ЭС.

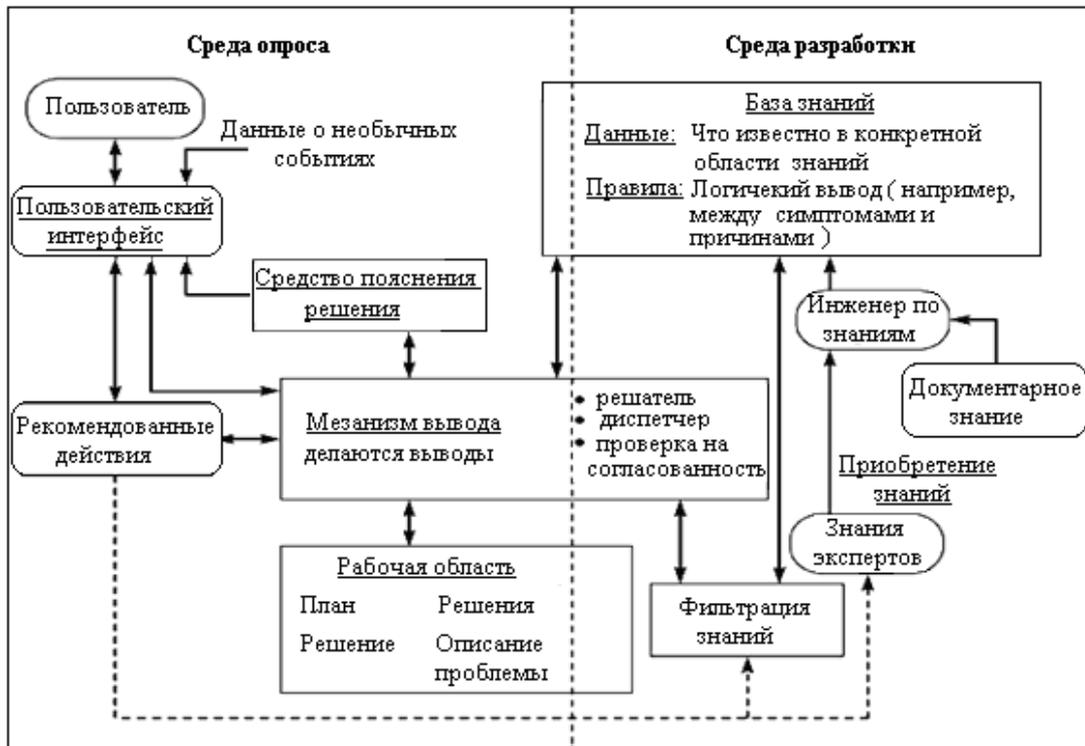


Рисунок 1 - Структура диалоговой ЭС

При использовании диалоговых ЭС для диагностики сложных технических объектов ключевое значение имеют не только точные, математически обоснованные данные, но и модели, содержащие качественную информацию, которая включает многолетний опыт эксплуатации и важные сведения о данной области знаний. В большинстве случаев эта информация предоставляется людьми – экспертами, поэтому содержит понятия естественного языка, трудно выражаемые количественными отношениями. Большое значение имеет неоднозначность воспринимаемых данных, так как эксперт при принятии решений основывается на своем субъективном представлении информации.

## 2. Нечеткие ЭС

Язык нечётких множеств является в настоящее время наиболее адекватным математическим аппаратом, который максимально сокращает переход от вербального словесного качественного описания объекта

к численным количественным оценкам его состояния и позволяет сформулировать на этой основе простые и эффективные алгоритмы, которые моделируют человеческие размышления и способность экспертов решать задачи. Диалоговая нечеткая ЭС реального времени использует язык нечётких множеств и представляет собой совокупность функций принадлежности и правил, используемых для обоснования данных[3,4].

При исследовании диагностических состояний КС одна из наиболее сложных задач заключается в количественном и качественном описании различных состояний КСУ с учетом возникших в процессе эксплуатации дефектов. При решении этой задачи многим входным данным невозможно сопоставить количественное значение, часто они определяются качественными признаками, такими как "много", "сильное" и так далее. Поэтому модели, построенные на числовых оценках входных данных, являются неточными. Входные данные также зависят от субъективной оценки экспертов и содержат в себе неопределенность и неоднозначность,

которые важно учитывать в процессе принятия решения экспертов. Для оценки состояния КС вводим лингвистическую переменную "Дефект" и термы данной переменной: {"нет", "легкий", "умеренный", "сильный", "разрушительный"}[5].

**3. Диагностические модели состояний компьютерной системы**

Пусть  $U$  – универсальное множество всех критериев (свойств), по которым оценивается состояние объекта:

$$U = \{a_i, i = \overline{0, N}\},$$

где  $a_i$  – критерий, по которому оценивается объект. В простейшем случае, это может быть числовое множество

$$U = \{a_i = i, i = \overline{0, N}\},$$

где критерий  $a_i$  – есть факт того, что объект имеет суммарный дефект значением силы  $i$ . Пусть  $B$  – нечеткое множество, определяющее степень дефектности объекта

$$B = \langle U, \mu \rangle = \{a_1 | \mu_1 + a_2 | \mu_2 + \dots + a_N | \mu_N\},$$

где  $\mu_N$  - функция принадлежности. Функция принадлежности показывает, в какой мере объект обладает выбранным свойством  $a_i$ . Например, на рис. 2 показано возможное состояние объекта:

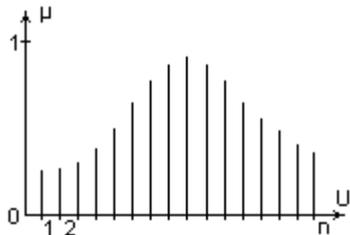


Рисунок 2 - Возможное произвольное состояние объекта

**4. Лингвистические переменные**

Лингвистическая переменная – пятерка объектов:  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , где  $\beta$  – наименование лингвистической переменной;  $T$  – множество её значений, нечеткие переменные;  $G$  – синтаксическая процедура, позволяющая генерировать новые осмысленные термы (при традиционном подходе процедура  $G$  определяет новые значения лингвистической переменной, исходя из её базового множества  $T$  и логических операций И, ИЛИ, НЕ, ОЧЕНЬ, СЛЕГКА),  $M$  – семантическая процедура, позволяющая превратить каждое новое значение лингвистической переменной в нечеткую переменную.

Относительно нечеткого множества  $B$  вводим лингвистическую переменную "Дефект" и термы данной переменной: {"нет", "легкий", "умеренный", "сильный", "разрушительный"}. Каждый терм (значение) лингвистической переменной характеризуется нечетким множеством. Например, если

$$U = \{a_i = i, i = \overline{0, N}, N = 16\},$$

то можно рассматривать следующие нечеткие множества (рис. 3 (а-д)).



Рисунок 3 - Нечеткое множество состояний объекта: а – не имеющего дефектов; б– имеющего легкий дефект; в– имеющего средний дефект; г – имеющего сильный дефект; д – имеющего разрушительный дефект

Здесь  $\mu(a_i) = c_i \cdot e^{-\frac{(a_i - b_i)^2}{d_i}}$ ,  $b_i = 16$ , то есть наиболее верно, что объект имеет дефект суммарной силы  $n=16$ , и неверно, что объект не имеет дефекта.

**5. Лингвистические переменные для описания диагностических (классификационных) признаков**

Различные виды отказов КС характеризуются классификационными признаками, которые будем рассматривать как нечеткие диагностические признаки. Рассмотрим следующие диагностические признаки, которые описывают состояние дефекта (табл. 1).

Таблица 1 - Описание диагностических признаков

№ п/п	Диагностический классификационный признак	Нечеткие значения признаков	Вид отказа	Определение
1	2	3	4	5
1	Область возникновения отказов	Значительная	Аппаратный 	Отказ, при котором объект неработоспособен по причине аппаратного отказа
		Средняя		
		Незначительная	Программный 	Отказ, при котором объект неработоспособен по причине несовершенства программного обеспечения
2	Характер изменения параметров во время отказа	Значительный (внезапный)	Внезапный 	Отказ, характеризующийся скачкообразным изменением параметров объекта
		Средний	Нарастающий 	Отказ, возникающий при изменении параметров объекта
		Незначительный (постепенный)	Постепенный 	Отказ, возникающий при изменении параметров объекта
3	Характер существования отказа во времени	Значительный (длительный)	Устойчивый 	Отказ, не прекращающийся до устранения его причин
		Средней длительности	Перемежающийся 	Множественно возникающий самоустраняющийся отказ одного характера
		Незначительный (кратковременный)	Сбой 	Самоустраняющийся или однократный отказ
4	Возможность обнаружения	Сложная	Скрытый 	Отказ, выявляемый специальными методами диагностики
		Средняя	Неявно выраженный 	Отказ, вызванный другими отказами и выявляемый методами диагностики
		Несложная	Явно выраженный 	Отказ, обнаруживаемый визуально или средствами контроля
5	Обусловленность другими отказами (зависимость)	Значительная	Независимый 	Отказ, не обусловленный другими отказами
		Средняя	Неявно зависимый 	Отказ, неявно вызванный другими отказами
		Незначительная	Зависимый 	Отказ, вызванный другими отказами

Продолжение таблицы 1 - Описание диагностических признаков

1	2	3	4	5
	Возможность восстановления работоспособности после отказа	Сложная	Неустранимый 	Отказ, устранение которого требует замены неисправной компоненты КС
		Средняя	Устранимый ремонтом 	Отказ, устранение которого требует демонтажа и ремонта неисправной компоненты КС
		Несложная	Устранимый на месте эксплуатации 	Отказ, устранение которого возможно без демонтажа
6	Причина возникновения	Сложная	Конструктивный 	Отказ, связанный с нарушением правил проектирования
		Средняя	Производственный 	Отказ, связанный с нарушением процесса изготовления или ремонта КС
		Несложная	Эксплуатационный 	Отказ, при котором возникают некритические последствия
7	Тяжесть последствий	Значительная	Критический 	Отказ, при котором возникает угроза для жизни и здоровья людей или значительные экономические потери
		Средняя	Средней тяжести 	Отказ, который может повлечь за собой значительный ущерб, но создает малую угрозу жизни и здоровью людей
		Незначительная	Некритический 	Отказ, при котором возникают незначительные последствия

Каждый рассматриваемый признак – это нечеткое множество, определено лингвистически. Функции принадлежности диагностических признаков могут быть в форме треугольника, трапеции или гауссовой кривой. Диапазон диагностических переменных задан с учетом их физической природы.

Рассмотрим параметр  $A_1$ . Пусть  $U(A_1)$  – множество действительных чисел от 0 до 100, представляющих собой процент числа

$$U(A_1) = \{r_i \in R \mid 0 < r_i < 100, i = \overline{1, N}\},$$

тогда

$$B(A_1) = \langle U(A_1), \mu^1 \rangle = \{r_1 \mid \mu_1^1 + r_2 \mid \mu_2^1 + \dots + r_N \mid \mu_N^1\}$$

– нечеткое множество, определяющее, насколько верно утверждение, что объект имеет некоторый процент повреждений.

Введем лингвистическую переменную для параметра  $A_1$  относительно нечеткого множества  $B(A_1)$ :

"Дефект" = {"нет", "мало", "средне", "много"}.

К примеру, лингвистическое значение  $A_1$  "много" есть нечеткое множество (рис. 4).

Рассмотрим параметр  $A_5$ :  $U(A_5)$  – множество характеристик отказа КС, которые определяют необходимые свойства отказа  $U(A_5) = \{b_i, i = \overline{1, N}\}$ .

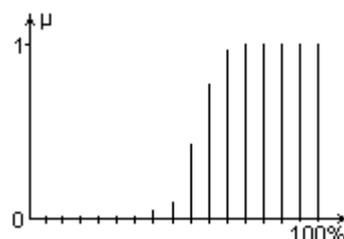


Рисунок 4 - Нечеткое множество лингвистического понятия "много" переменной "Дефект"

Тогда

$B(A_5) = \langle U(A_5), \mu^5 \rangle = \{b_1 | \mu_1^5 + b_2 | \mu_2^5 + \dots + b_N | \mu_N^5\}$  – нечеткое множество, определяющее степень обладания объектом свойствами отказа.

Пусть для параметра  $A_5$  введена лингвистическая переменная: "возможность обнаружения отказа" = {"явная", "средней сложности", "скрытая"}.

Для лингвистической переменной  $B_1$  "Общий дефект" значение "сильное" есть нечеткое множество, определенное выше:

$$B(B_1) = \langle U(B_1), \mu^b \rangle = \{a_1 | \mu_1^b + a_2 | \mu_2^b + \dots + a_N | \mu_N^b\}$$

Но так как данное утверждение "весьма" верно, то есть с вероятностью 0.5, то нечеткое множество "весьма верно, что  $B_1$  - сильное":

$$\begin{aligned} B(B_1) &= \langle U(B_1), \mu^b \rangle = \\ &= \{a_1 | 0.5\mu_1^b + a_2 | 0.5\mu_2^b + \dots + a_N | 0.5\mu_N^b\} = \\ &= \{a_1 | \mu_1^b + a_2 | \mu_2^b + \dots + a_N | \mu_N^b\} = \\ &= \langle U(B_1), \mu^b \rangle = B'(B_1). \end{aligned}$$

Рассмотрим нечеткое отношение между нечеткими множествами  $R$  с соответствующей функцией нечеткого отношения:

$$R = \langle A_1 \times A_2 \times B_1', \mu(r, b, a) \rangle.$$

Так как параметры  $r, b, a$  – независимы, то есть функция принадлежности каждого не зависит от других значений других функций принадлежности, тогда верно

$$\mu(r, b, a) = \mu^1(r) \wedge \mu^5(b) \wedge \mu^b(a),$$

где операция  $\wedge$  есть функция min.

Тогда из нечеткого отношения  $R$  для всяких нечетких множеств  $A_1, A_5$ :

$$C = A_5 \circ R,$$

$$\mu^c(r, a) = \bigvee_b (\mu^1(r) \wedge \mu(r, b, a)),$$

$$B_1 = A_1 \circ C = A_1, A_5 \circ R,$$

$$\mu^b(a) = \bigvee_r (\mu^1(r) \wedge \mu^c(r, a)) =$$

$$= \bigvee_r (\mu^1(r) \wedge \mu^5(r, b, a)),$$

где операция  $\bigvee$  есть функция max.

Рассмотрим множество правил, в которых предпосылками являются некоторые значения лингвистических переменных  $A_1, A_5$ . Для каждого правила построим нечеткое отношение  $R_i$ . Тогда результирующее нечеткое отношение на нечеткие множества  $A_1, A_5$  будет равно

$$R = R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_M$$

со следующей функцией принадлежности:

$$\begin{aligned} \mu^R(r, b, a) &= \\ &= \mu^{R_1}(r, b, a) \cup \mu^{R_2}(r, b, a) \cup \dots \\ &\cup \mu^{R_{1d}}(r, b, a). \end{aligned}$$

Таким образом, будет получено нечеткое множество, определяющее состояние общего повреждения объекта. Аналогично, выводятся формулы для других правил вывода. Окончательным правилом схемы выводятся нечеткое множество, представляющее состояние повреждения объекта

$$B = \langle U, \mu \rangle = \{a_1 | \mu_1 + a_2 | \mu_2 + \dots + a_N | \mu_N\}.$$

### Выводы

Диалоговые экспертные системы, основанные на нечеткой логике, позволяют решать сложные задачи диагностики неисправностей компьютерных систем управления. Представление множества неисправных состояний компьютерной системы и диагностических классификационных признаков в виде нечетких значений позволяет повысить быстродействие процедуры логического вывода за счет сокращения объема базы знаний в нечеткой экспертной системе.

### Резюме

Рассмотрены диалоговые нечеткие экспертные системы для диагностики неисправностей компьютерных систем управления. Множества неисправных состояний и диагностических классификационных признаков компьютера представлены в виде нечетких значений

Розглянуто діалогові нечіткі експертні системи для діагностики несправностей комп'ютерних систем управління.

Множини несправних станів і діагностичних класифікаційних ознак комп'ютера предствлені у вигляді нечітких значень

We consider interactive fuzzy expert systems for diagnostic of computer system failures. Sets of faulty states and the diagnostic classification computer values are described as fuzzy values

**Ключевые слова:** интеллектуальные средства диагностирования, компьютерные системы управления, экспертные системы, лингвистические переменные, модели

Поступила 20.06.2009 г.