ISSN 0321–2653

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Северо–Кавказский регион

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2014 3

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

Регистрационный номер 011020
Комитета Российской Федерации по печати
Научно-образовательный и прикладной журнал
Издается с 1973 г.
Периодичность серии 6 номеров в год
№ 3(178) 2014 г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

Булатникова И.Н., Гершунина Н.Н., Гершунин А.Э. Неаналитические методы вычислений для микропроцессоров 3

Круглова Т.Н., Ярошенко И.В. Применение аппарата нечеткой логики для диагностирования высоковольтных мехатронных модулей по результатам анализа электроразрядной активности 7

Кобак В.Г., Титов Д.В., Плешаков Д.В., Золотых О.А. Повышение эффективности генетического алгоритма на базе модели Голденберга за счет применения элиты 12

Першин В.А., Гугуев И.К., Ковалёв В.В. Функция чувствительности как критерий при диагностике технических систем методом подобия функционирования 16

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ефимов Н.Н., Янченко И.В., Скубиенко С.В. Оценка эффективности использования вторичной ступени промежуточного перегрева пара в схеме АЭС с абсорбционным тепловым насосом 20

Щуров А.Н., Титов Д.Е. Исследование интенсивности гололёдообразования на проводах высоковольтных линий с использованием опытных данных 25

Левкин Ю.С. Образование поверхностно-пузырьковой эмульсии в газожидкостной пробковой структуре при воздействии поперечной вибрации 30

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Заковоротный В.Л., Лапшин В.П., Туркин И.А. Управление процессом сверления глубоких отверстий спиральными сверлами на основе синергетического подхода 33

Ахверднев К.С., Мукутадзе А.М., Задорожная Н.С., Поляков Е.В. Влияние ортогональной анизотропии в проницаемом опорном слое подшипника скольжения конечной длины на устойчивый режим его работы 42

Передерий В.Г., Шкрет Л.Я., Шишов А.В., Азаренков А.А. Оценка работоспособности и эксплуатационного ресурса уплотнительных систем турбокомпрессоров автотракторных ДВС 48

МЕТАЛЛУРГИЯ

Литвинова Т.А., Гладун К.К., Егоров С.Н. Кинетика диффузионного залечивания субмикропор. Ч. 1. Аналитический расчет 51

Бессарабов Е.Н., Дорофеев Ю.Г., Дорофеев В.Ю., Ганшин А.В. Порошковые горячештампованные биметаллы железографит-карбидосталь, технология получения, структура, свойства 54

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Бурцева О.А., Кабельков В.А. Оценка ветрового воздействия и исследование устойчивости высотных сооружений 59

CONTENTS

CONTROL, COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATICS

Bulatnikova I.N., Gershanina N.N., Gershunin A.E. Non-Analytic Calculation Methods for Microprocessors 3

Kruglova T.N., Yaroshenko I.V. Use of Fuzzy Logic For Diagnosing of High-Voltage Mechatronic Modules by Results of the Analysis of Electrodischarge Activity 7

Kobak V.G., Titov D.V., Pleshakov D.V., Zolotih O.A. Improving the Effectiveness of the Goldenberg Model Based Genetic Algorithm Through the Use of Elite 12

Pershin V.A., Guguev I.K., Kovalev V.V. Function of Sensibility, as a Criterion for Diagnosing Technical Systems Method of Similarity Function 16

POWER ENGINEERING AND ELECTROTECHNICA

Efimov N.N., Yanchenko I.V., Skubienko S.V. Evaluating the Effectiveness of the Use a Secondary Reheat Steam in a Heat Scheme of NPP with a Heat Pump 20

Shchurov A.N., Titov D.E. Research Intensity of Icing on Wires of Overhead Power Lines with Using Experimental Datas 25

Levkin Y.S. Education Surfactant Emulsion in Gas-Liquid Bubble Cork Structure Under the Influence of the Lateral Vibration 30

MACHINE BUILDING

Zakovorotny V.L., Lapshin V.P., Turkin I.A. Process Control Drilling Deep Holes Twist Drills Based on the Synergetic Approach 33

Akhverdiev K.S., Mukutadze A.M. Zadorozhnaya N.S. Polyakov E.V. Influence of Orthogonal Anisotropy of the Permeable Support Layer of Finite Length Sliding Bearing on the Steady Operation Mode 42

Peredery V.G., Shkret L.Ya., Shishov A.V., Azarenkov A.A. Assessment of Working Capacity and Operational Resource of Sealing Systems of Turbokompressor of Autotractor DVS 48

METALLURGY

Litvinova T.A., Gladun K.K., Yegorov S.N. Diffusive Rebonding of Submicropores Cinematics. P. 1. Analytical Calculation 51

Bessarabov E.N. Dorofeyev Yu.G., Dorofeyev V.Yu., Ganshin A.V. Powder Hot Stamping Composite Bimetals (Graphite Iron Carbide Steel). Obtaining Technology, Structure and Properties 54

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Burtseva O.A. Kabelkov V.A. Evaluation of Wind Impact and Parametric Stability of High-Rise Constructions 59

Скибин Г.М., Кидакоев А.М. Методика расчета новой конструкции грунтоармированного основания 66

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Косиченко Ю.М., Баев О.А. Теоретическая оценка водопроницаемости противофильтрационной облицовки нарушенной сплошности 68

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

Денисова А.В., Паненко Н.Н., Скрябин А.Ю., Фесенко Л.Н. Оптимизация процесса обеззараживания в системах водоснабжения и водоотведения 75

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Каменецкий Е.С., Свердлик Г.И., Орлова Н.С., Тряпицын И.В. Определение параметров и режимов работы аппарата с виброкипящим слоем адсорбента для очистки газов 80

Популиди К.К., Манжина С.А., Денисова И.А., Денисов В.В., Антоненко Е.А. Топливная сера — перспективный сырьевой источник для производства серной кислоты 84

Галушкин Н.Е., Язвинская Н.Н., Галушкин Д.Н., Галушкина И.А. Возможность теплового разгона в никель-кадмиевых аккумуляторах фирмы SAFT 87

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ

Богуш И.А., Рябов Г.В., Шапошникова С.Д. Кобальтоносность руд медноколчеданных месторождений Северного Кавказа 91

Забабурин В.М. Информационно-аналитическая система управления безопасностью труда на шахте 94

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ

Благин А.В., Благина Л.В., Вищенко С.Н., Драка О.Е. Расчеты энергетического спектра многослойных структур на основе соединений A_3B_5 99

Середин Б.М. Исследование кинетики термомиграции при введении добавок Ga в зонообразующий материал Si-Al 103

ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Чернышева Ю.С., Поваляева В.А., Поваляев В.А. Оптимизация соотношения защитных конструктивных элементов в специальной одежде для работников лакокрасочных производств 110

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Гринченков Д.В., Кущий Д.Н. Актуальность и принципы построения интеллектуальной информационной системы формирования методического обеспечения учебных дисциплин на основе ресурсов сети интернет 114

СООБЩЕНИЯ

Хамза Н.Х., Ефимов Н.Н. Термический КПД двухвальной газовой турбины при установе регенератора 120

Юрьев Е.И. Влияние типа горелочного устройства на распределение температур и тепловых потоков в топке котла БКЗ-320-140 122

Мазурова О.К., Чебанова Т.О. Зависимость термодинамической эффективности теплонасосных установок от выбора рабочих хладагентов 125

Мурзенко К.В. Свойства электролита для получения композиционного электролитического покрытия на основе никеля 126

Skibin G.M., Kidakoev A.M. Procedure of Calculation of the New Construction of the Gruntoarmirovannogo Base 66

HYDRAULIC STRUCTURES

Kosichenko Yu.M., Baev O.A. Decision Axisymmetric Problems Water Permeability of Impervious Facing Discontinuities 68

ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Denisova A.V., Panenko N.N., Skryabin A.Y., Fesenko L.N. Disinfection Process Optimization in Water Supply and Sanitation Systems 75

CHEMICAL ENGINEERING

Kamenetsky E.S., Sverdlik G.I., Orlova N.S., Tryapitsyn I.V. Determination of Basic Parameters and Modes of the Device with Vibrofluidized Bed of Adsorbent for the Gas Cleaning 80

Populidi K.K., Manzhina S.A., Denisova I.A., Denisov V.V., Antonenko E.A. Fuel Sulfur is a Promising Source of Raw Material for the Production of Sulfuric Acid 84

Galushkin N.E., Yazvinskaya N.N., Galushkin D.N., Galushkina I.A. Possibility of Thermal Runaway in Nickel-Cadmium Accumulators of Firm SAFT 87

MINING AND GEOLOGY

Bogush I.A., Ryabov G.V., Shaposhnikova S.D. Ores Copper Pyritic Deposits North Caucasus 91

Zababurin V.M. Ihaylovichinformation and Analytical Control System of Safety of Work on Mine 94

SEMICONDUCTING MATERIALS

Blagin A.V., Blagina L.V., Vaschenko S.N., Draka O.E. Calculations of Multilayered Structures ON THE A_3B_5 Connections Basis Energy Range 99

Seredin B.M. Research of a Kinetics of Thermomigration at Introducing Ga Additives in the Zone-Making Material Si-Al 103

LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES

Chernisheva J.S., Povalyaeva V.A., Povalyaev V.A. To Optimize the Balance Protective Structural Elements in Special Clothes For Employees of Paint and Varnish Production 110

HIGHER SCHOOL PROBLEMS

Grinchenkov D.V., Kushchiy D.N. Topicality and Principles of Construction of the Intellectual Information System for Forming Methodical Support of Educational Disciplines on the Basis of Internet Resources 114

REPORTS

Hamza N.H., Efimov N.N. The Thermal Efficiency of Two-Shaft Gas Turbine Under Regeneration 120

Yuryev E.I. Influence of the Burner on the Distribution of Temperature and Heat Flux in the Furnace Boiler BKZ-320-140 122

Mazurova O.K., Chebanova T.O. The Dependence of Thermodynamic Efficiency of Heat Pump Systems From Selecting the Operation Refrigerants 125

Murzenko K.V. Rust and Wear Resistance of Electrolyte Composite Coating of Nickel-Cobalt-Fluoroplastic 126

УДК 621.865.8:004.891

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ АКТИВНОСТИ

© 2014 г. *Т. Н. Круглова, И.В. Ярошенко*

Круглова Татьяна Николаевна – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Мехатроника и гидропневмоавтоматика», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. E-mail: kruglovatanya@ rambler. ru

Ярошенко Игорь Владимирович – инженер ООО «ДИАКС» г. Москва. E-mail: i.v.yaroshenko@bk.ru

Kruglova Tatyana Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, department «mechatronics and hydropneumoautomatics». Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). E-mail: kruglovatanya@ rambler. ru

Yaroshenko Igor Vladimirovich – engineer of the «DIAKS» Moscow. E-mail: i.v.yaroshenko@bk.ru

Приводится способ решения актуальной научно-практической задачи диагностирования технического состояния высоковольтных мехатронных модулей по результатам анализа электроразрядной активности. Разработана математическая модель диагностирования с использованием аппарата нечеткой логики, позволяющая, по результатам замера электроразрядной активности, отнести текущее состояние объекта к одному из видов диагноза: «Норма», «Норма с отклонениями», «Норма со значительными отклонениями», «Ухудшенное» – что дает возможность технически планировать сроки технического обслуживания и ремонта оборудования, повысить надежность и эффективность функционирования высоковольтных мехатронных модулей.

Ключевые слова: высоковольтный мехатронный модуль; электроразрядная активность; нечеткая модель диагностирования.

The way of the solution of an actual scientific and practical problem of diagnosing of technical condition high-voltage the mechatronic modules by results of the analysis of electrodischarge activity is given. The mathematical model of diagnosing with use of the device of the fuzzy logic, allowing, by results of measurement of electrodischarge activity is developed, to refer current state of object to one of types of the diagnosis: «Norm», «Norm with deviations», «Norm with considerable deviations», «Degraded» that will allow to plan technically terms of maintenance and equipment repair, to increase reliability and efficiency of functioning high-voltage the mechatronic modules.

Keywords: high-voltage mechatronic module; electrodischarge activity; indistinct model of diagnosing.

Введение

Эксплуатационная надежность высоковольтных мехатронных модулей движения является технически и экономически важной задачей. В процессе эксплуатации могут возникать повреждения элементов модуля движения, что в свою очередь приводит к преждевременному выходу его из строя и к непоправимым последствиям. Кроме того, эксплуатация находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии мехатронных модулей движения обусловливает как прямые финансовые потери, связанные с непрогнозируемым выходом из строя оборудования и нарушением технологического процесса, так и значительные (до 5 – 7 %) косвенные непродуктивные затраты электроэнергии, вызванные повышенным электропотреблением (при той же полезной мощности). Поэтому актуальной является проблема поддержания работоспособного состояния мехатронных модулей, которую можно решить путем целенаправленных управляющих воздействий. Для эффективного управления техническим состоянием высоковольтных мехатронных модулей необходимо оперативно получать систематизированную достоверную информацию о текущем состоянии объекта, для чего целесообразно разработать модели, методы и средства диагностирования технического состояния.

Нечеткая модель диагностирования высоковольтных мехатронных модулей движения

В процессе функционирования на мехатронный модуль движения оказывают влияние различные внешние и внутренние факторы, приводящие к изменению его состояния, но учесть их в полном объеме при применении стандартных методов моделирования невозможно ввиду дефицита информации, ее неполноты, ограниченности, нечеткости и качественного неформализованного представления. Одно из направлений решения проблемы неопределенности является применение аппарата нечеткой логики, позволяющего, наряду с традиционными математическими подходами, применить «объективизацию» субъективных знаний экспертов и решать трудноформализуемые задачи.

Одним из наиболее комплексных методов диагностики высоковольтных модулей движения является метод электроразрядной активности (ЭРА), который проводится на рабочем напряжении и позволяет выявить дефекты в следующих узлах: в цепях питания электродвигателя; статорной обмотке; пакетах активной части; цепях питания ротора; щеточно-контактном аппарате; контактных соединений в клеммной коробке [1].

Проведение диагностики высоковольтных мехатронных модулей движения на рабочем напряжении сопряжено с трудностями, связанными с большим разнообразием конструктивных исполнений, фирм производителей и способов подключения их к сети. Это влечет за собой необходимость использовать различные варианты съема сигналов и типы датчиков, применительно к каждому конкретному случаю. Различные подходы к каждому двигателю соответственно затрудняют анализ их технического состояния, потому что не работает один из основных методов анализа – сравнение с однотипным оборудованием. Это затрудняет накопление данных по одинаковому оборудованию, не позволяет обобщать результаты, получать граничные критерии. Величина ЭРА в изоляции двигателей также зависит от режима работ, наибольшая активность в изоляции статора бывает при пуске двигателя, поскольку в этом случае обмотка подвергается наибольшим электродинамическим воздействиям. При выборе способа съема сигнала при измерениях ЭРА главным фактором являются габаритные размеры машины, в зависимости от которых в данных произведено условное разделение машин на два вида: с крупными габаритами (рис. 1 *а*) и малыми габаритами, обычно это двигатели с мощностью менее 3 МВА (рис. 1 *б*).

При больших габаритах двигателя может применяться методика обследования модулей с установкой датчиков по торцевым щитам. Эти двигатели имеют большое число катушек, внутренний диаметр магнитопровода статора может составлять несколько метров (рис. 2).

Обозначение точек размещения датчиков приведено на рис. 2. Размещение датчиков для проведения измерений зависит от конструктивного исполнения модуля. В остальном измерения проводятся так же, как для генераторов за исключением некоторых конструктивных особенностей, описанных ниже.

а *б*

Рис. 1. Двигатели с крупными (*а*) и малыми (*б*) габаритами

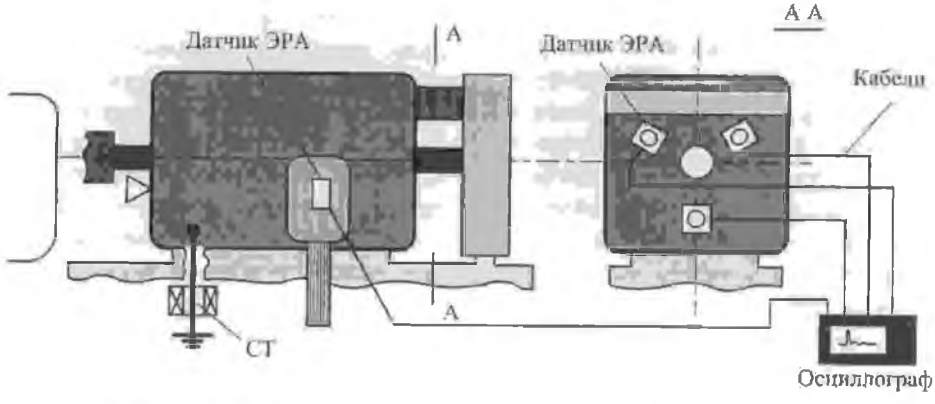

Рис. 2. Диагностика крупного электродвигателя: варианты применения датчиков при измерениях на крупном электродвигателе

При малых габаритах двигателя используется схема измерения, приведенная на рис. 3, измерения выполняются анализатором или осциллографом.

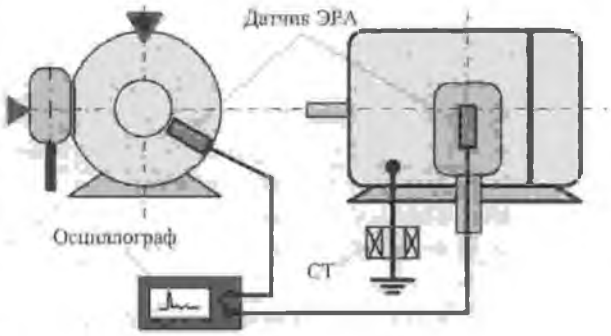

Рис. 3. Схема измерения ЭРА модуля с малыми габаритами

Для измерений используются датчики типа TMP-Y и датчики СТ-45. Датчик СТ-45 устанавливается или на шину заземления, или поводок заземления, или на кабель, а датчики TMP-Y – на корпус клеммной коробки и на боковую поверхность электродвигателя.

Учитывая большую гамму применяемых двигателей (заводов-изготовителей, тип изоляции и т.д.), невозможно дать критические величины ЭРА. По этой причине в таблице определен качественный подход к оценке технического состояния.

Задачей диагностики является определение технического состояния объекта по наблюдаемым проявлениям дефектов, следовательно, входными данными модели являются виды дефектов, а выходами – состояния объекта (рис. 4). Как видно из таблицы, все неисправности проходят одинаковые стадии развития: появление признаков, устойчивая фиксация, динамичное развития, предельное состояние, следовательно, для каждого из входов необходимо задать функции принадлежности, отражающие данные стадии (рис. 5).

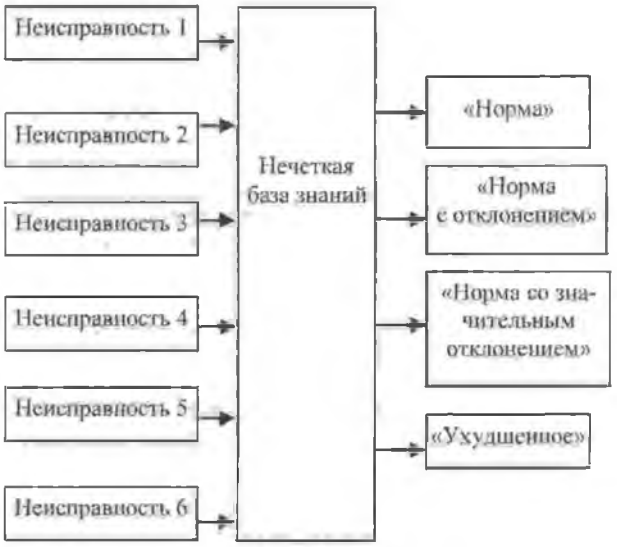

Рис. 4. Структура нечеткой системы диагностирования

Классификация технического состояния высоковольтных двигателей

Техническое состояние		Норма (Н)	Норма с отклонениями (НСО)	Норма со значительными отклонениями (НСЗО)	Ухудшенное (У)
Виды дефектов	Коронная активность в статорной обмотке	Появление признаков явления	Явление фиксируется устойчиво	Имеется динамика развития	Переход в предельное состояние
	Частичные разряды в корпусной изоляции, разряды в кабельной линии	То же	То же	То же	То же
	Искрения в контактах в районе клеммной коробки	»	»	»	»
	Пазовый разряд в обмотке статора		Появление признаков явления	Явление фиксируется устойчиво	Имеется динамика развития
	Искровые разряды в активной стали			Появление признаков явления	Явление фиксируется устойчиво
	Разряды в обмотке ротора		»	Явление фиксируется устойчиво	Имеется динамика развития

Первые два состояния позволяют дальнейшую эксплуатацию объекта, последнее требует его останова, следовательно, в качестве интервала определения функции принадлежности входов принимаем [-1 1]. Функции принадлежности «Появление» и «Фиксация» задаются на интервале [-1 0], который показывает, что объект не нуждается в немедленной остановке. Функции принадлежности «Динамика» и «Предел» задаются на интервале [0 1], что показывает необходимость останова объекта.

Рис. 5. Функции принадлежности входов нечеткой модели диагностирования

Взаимосвязь между входами и выходами нечеткой модели диагностирования (согласно таблице) описываются следующими нечеткими правилами:

R_1: если X_1 есть «Появление» и X_2 есть «Появление»…и X_6 есть «Появление», то «Норма»;

R_2: если X_1 есть «Фиксация» и X_2 есть «Фиксация»…и X_6 есть «Фиксация», то «Норма с отклонениями»;

R_3: если X_1 есть «Динамика» и X_2 есть «Динамика»...и X_6 есть «Динамика», то «Норма со значительными отклонениями»;

R_4: если X_1 есть «Предел» или X_2 есть «Предел»…или X_6 есть «Предел», то «Ухудшенное»;

R_5: если X_1 есть «Появление» или X_2 есть «Появление»… или X_6 есть «Появление», то «Норма»;

R_6: если X_1 есть «Фиксация» или X_2 есть «Фиксация»…или X_6 есть «Фиксация», то «Норма с отклонениями»;

R_7: если X_1 есть «Динамика» или X_2 есть «Динамика»...или X_6 есть «Динамика», то «Норма со значительными отклонениями»;

R_8: если X_1 есть «Предел» или X_2 есть «Предел»…или X_6 есть «Предел», то «Ухудшенное».

Для преобразования четких входных значений в четкие выходные используется *n* – входной алгоритм нечеткого логического вывода *Takagi – Sugeno* [2]. В результате компьютерного моделирования разработанной нечеткой модели диагностирования получены поверхности отклика, представленные на рис. 6, и графики зависимостей состояния объекта от уровня развития неисправностей (рис. 7).

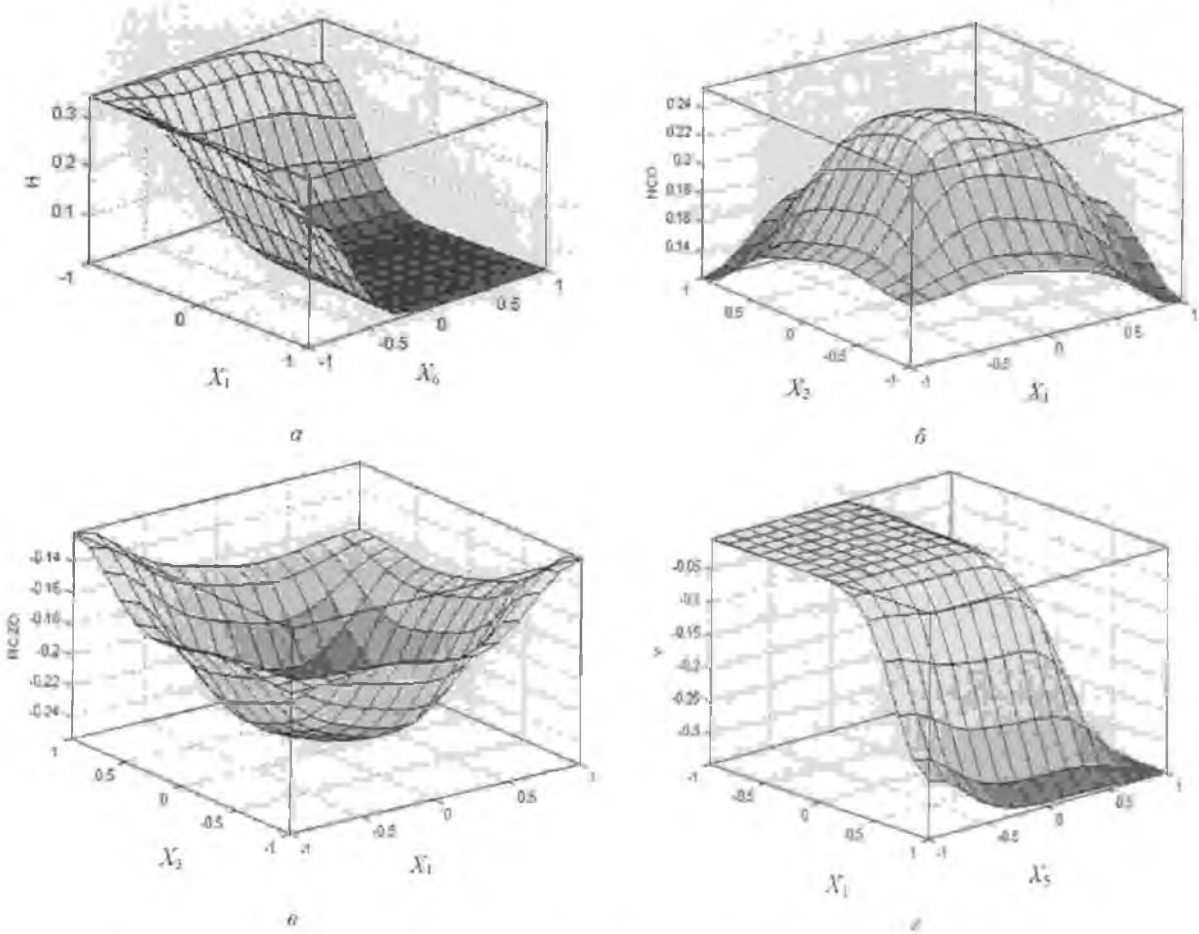

Рис. 6. Поверхности отклика нечеткой модели диагностирования: *а* – «Норма»; *б* – «Норма с отклонениями»; *в* – «Норма со значительными отклонениями»; *г* – «Ухудшенное»

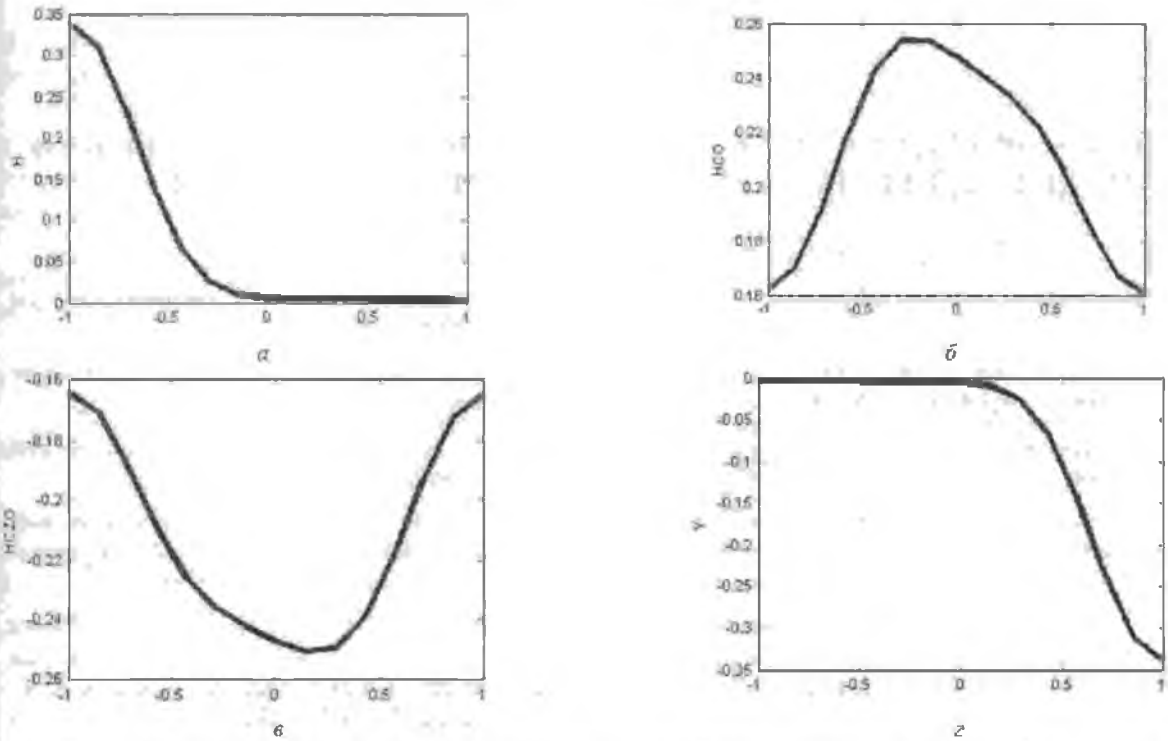

Рис. 7. Зависимости состояния объекта от уровня развития дефекта: *а* – «норма»; *б* – «норма с отклонениями»; *в* – «норма со значительными отклонениями»; *г* – «ухудшенное»

Для удобства анализа полученных результатов изобразим все графики в одной системе координат (рис. 8).

Рис. 8. Аналитические зависимости состояния объекта от уровня развития дефектов

Приведенные графики расположены в четырех квадрантах. Принадлежность текущего состояния объекта первому квадранту свидетельствует о исправном состоянии объекта и возможности его дальнейшей эксплуатации. Если текущее значение принадлежит второму квадранту, то объект работоспособен, но имеют место незначительные отклонения, необходимо наблюдение. Попадание текущего состояния в третий квадрант свидетельствует о серьезных нарушениях в работе модуля, а в четвертый – о необходимости его немедленной остановки и ремонте.

Заключение

Разработанная нечеткая модель диагностирования технического состояния высоковольтного мехатронного модуля движения позволяет по результатам контроля ЭРА определить текущее состояние объекта, отнеся его к одному из видов диагноза: «Норма», «Норма с отклонениями», «Норма со значительными отклонениями», «Ухудшенное», – а также спланировать сроки технического обслуживания и ремонта, что позволит значительно повысить надежность и эффективность функционирования высоковольтных мехатронных модулей.

Литература

1. МУ 0633-06. Методические рекомендации по диагностике изоляции статорных обмоток вращающихся машин классов напряжения 3.15 – 24 кВ по характеристикам частичных разрядов.
2. *Анисимов Д.Н.* Нечеткие алгоритмы управления: учеб. пособие. М., 2004. 80 с.

Поступила в редакцию *9 января 2014 г.*