

621.311  
Б81

В.Е. Бондаренко, О.В. Шутенко, Д.Н. Баклай

# **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**Часть вторая**

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ, ТЕОРИИ ГРАФОВ,  
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Учебное пособие  
для студентов специальности  
«Электроэнергетика, электротехника и электромеханика»,  
в том числе для иностранных студентов**

Харьков  
2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

В. Е. Бондаренко, О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Часть вторая

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ЛОГИЧЕСКИХ  
МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ, ТЕОРИИ ГРАФОВ,  
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Учебное пособие  
для студентов специальности  
«Электроэнергетика, электротехника и электромеханика»,  
в том числе для иностранных студентов

Рекомендовано ученым советом  
Национального технического университета  
«Харьковский политехнический институт»

Харьков

2019

УДК 621.31 1.1(075)

Б 81

Рецензенты:

*Ю. Ф. Павленко*, д-р техн. наук, проф., гл. н.с., ННЦ «Институт метрології»;

*О. О. Мирошник*, д-р техн. наук, проф. ХНТУСХ им. П. Василенко

Рекомендовано ученым советом  
Национального технического университета  
«Харьковский политехнический институт»  
как учебное пособие для студентов специальности  
«Электроэнергетика, электротехника и электромеханика»,  
протокол № 4 от 28 апреля 2017

У другій частині навчального посібника розглянуто основні методи діагностики стану об'єктів електричних мереж, засновані на використанні алгебри логіки, теорії графів, нечіткої логіки і нейронних мереж. Наведено практичні приклади діагностики стану високовольтного обладнання на основі викладених методів.

Призначено як для студентів та магістрів спеціальності № 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за спеціалізацією «Техніка високих напруг та діагностика об'єктів електричних мереж», так і для здобувачів, аспірантів і дослідників, що працюють у сфері діагностики стану високовольтного електроенергетичного обладнання.

### **Бондаренко В. Е.**

**Б81** Математические основы технической диагностики объектов электрических сетей : учеб. пособ. : в 2-х ч. Часть II / В. Е. Бондаренко, О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай. Харьков : ФЛП Панов А.Н., 2019. 262 с. Русск. яз.

**ISBN 978-617-7771-96-7**

Во второй части учебного пособия рассмотрены основные методы диагностики состояния объектов электрических сетей, основанные на использовании алгебры логики, теории графов, нечеткой логики и нейронных сетей. Приведены практические примеры диагностики состояния высоковольтного оборудования на основе изложенных методов.

Предназначено как для студентов и магистров специальности № 141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика» по специализации «Техника высоких напряжений и диагностика объектов электрических сетей», так и для соискателей, аспирантов и исследователей, работающих в области диагностики состояния высоковольтного электроэнергетического оборудования

Ил. 103. Табл. 21 Библиогр. 85 назв

УДК 621.311.1(075)

**ISBN 978-617-7771-96-7**

© В. Е. Бондаренко, О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай 2018  
© НТУ «ХПИ», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ.....	7
1.1. Основные понятия алгебры логики.....	7
1.2. Булевы функции.....	10
1.3. Базис булевой функции и изображающие числа.....	11
1.4. Использование булевых функций для построения диагностических устройств.....	12
1.5. Использование булевых функций для задач распознавания. Метод сокращенного базиса.....	14
1.6. Построение диагностических тестов на основе булевых матриц.....	16
Вопросы для самоконтроля.....	31
Литература к разделу.....	32
2. МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ, ПОСТРОЕННЫЕ НА ТЕОРИИ ГРАФОВ.....	33
2.1. Алгоритм определения состояния объекта, представленного графом.....	34
2.2. Построение тестов для систем, функциональная модель которых может быть представлена ориентированным графом.....	38
2.3. Оценка технического состояния опорно-стержневых изоляторов.....	52
Вопросы для самоконтроля.....	61
Литература к разделу.....	62
3. РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.....	63
3.1. Возможности применения теории нечетких множеств для описания различных видов неопределенности.....	63

3.2. Нечеткие множества.....	65
3.3. Нечеткая и лингвистическая переменные.....	75
3.4. Алгоритм формирования нечеткого вывода.....	75
3.5. Алгоритмы нечеткого вывода.....	82
3.6. Интерпретация результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов с использованием аппарата нечеткой логики.....	87
Вопросы для самоконтроля.....	113
Литература к разделу.....	113
4. РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	
4.1. Биологический нейрон и его кибернетическая модель.....	115
4.2. Биологические нейронные сети.....	118
4.3. Искусственный нейрон.....	120
4.4. Перцептроны.....	139
4.5. Многослойный перцептрон.....	141
4.6. Обучение нейронных сетей.....	151
4.7. Нейронные сети с алгоритмом самообучения.....	171
4.8. Сети с обратными связями.....	176
4.9. Нейронные сети ассоциативной памяти.....	182
4.10. Адаптивные резонансные нейронные сети.....	187
4.11. Нейронная сеть встречного распространения.....	191
4.12. Нечеткие нейронные сети.....	194
4.13. Прогнозирование значений показателей качества трансформаторных масел с помощью нейро-нечеткой системы <i>ANFIS</i> .....	217
4.14. Оценка возможностей нечетких нейронных сетей для интерпретации результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов.....	227
Вопросы для самоконтроля.....	249
Литература к разделу.....	251
Предметный указатель.....	257