

УДК 621.315.3: 621.316.99

ББК 31.19

П536

*Печатается по решению экспертной группы комитета  
по инженерному направлению науки и образования при Ученом совете  
Южного федерального университета (протокол № 7 от 17 апреля 2019 г.)*

**Рецензенты:**

главный инженер производственного отделения  
"Юго-Западные электрические сети филиала  
ПАО "Россети Юг" – "Ростовэнерго" *И. М. Токарев*  
доктор технических наук, профессор РГУПС *А. Н. Чукарин*

**Полуянович, Н. К.**

П536 Прогнозирование ресурса электроизоляционных материалов силовых кабелей с использованием метода искусственных нейронных сетей : монография / Н. К. Полуянович, М. Н. Дубяго, Н. В. Азаров, А. В. Огреничев ; под редакцией Н. К. Полуянович ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 116 с.

ISBN 978-5-9275-4057-0

DOI 10.18522/801287349

Монография посвящена исследованиям термофлуктуационных процессов для решения задач диагностики и прогнозирования остаточного ресурса изоляционных материалов на основе неразрушающего температурного метода. Рассматриваются вопросы создания диагностики и прогнозирования термофлуктуационных процессов изоляционных материалов силовых кабельных линий (СКЛ) на основе таких методов искусственного интеллекта, как нейронные сети. Разработана нейросеть для определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля и проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных характеристик.

Книга предназначена для специалистов и исследователей, занимающихся вопросами неразрушающего контроля изоляции и прогнозирования ресурса силовых кабельных линий с учетом режимных параметров сети.

УДК 621.315.3: 621.316.99

ББК 31.19

ISBN 978-5-9275-4057-0

© Южный федеральный университет, 2022

© Полуянович Н. К., Дубяго М. Н.,

Азаров Н. В., Огреничев А. В., 2022

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ .....	9
1.1. Задачи диагностики и прогнозирования .....	9
термофлуктуационных процессов СКЛ.....	9
1.2. Анализ систем прогнозирования термофлуктуационных процессов ...	11
1.3. Разработка тепловой схемы замещения СКЛ .....	16
1.4. Интеллектуальная система мониторинга силовых .....	20
кабельных линий .....	20
Выводы по главе 1 .....	23
2. РАССМОТРЕНИЕ МЕТОДОВ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	25
2.1. Требования к краткосрочному прогнозированию .....	25
2.2. Классификация методов краткосрочного .....	25
прогнозирования .....	25
2.3. Методы искусственного интеллекта .....	28
2.4. Обзор и выбор программных средств для разработки ИНС .....	33
Выводы по главе 2.....	36
3. СИНТЕЗ КОНФИГУРАЦИИ ИНС ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	38
3.1. Математическая модель искусственного нейрона .....	38
3.1.1. Нейросеть с одним слоем.....	39
3.1.2. Многослойный персептрон.....	41
3.2. Анализ и выбор структуры нейросети .....	42
3.2.1. Выбор архитектуры нейросети .....	42
3.2.2. Выбор передаточной функции нейросети и оценка прогнозирования термических процессов .....	46
3.3. Синтез структуры нейронной сети, применяемой для прогнозирования.....	53
3.3.1. Разработка и описание нейросетевой системы .....	53
3.3.2. Расчет и выбор количества скрытых слоев и нейронов в них .....	56

3.4. Разработка алгоритма определения и подстройки весовых коэффициентов .....	60
3.4.1. Процесс обучения нейронной сети .....	62
3.4.2. Сравнительный анализ алгоритмов обучения ИНС .....	63
3.4.3. Метод обратного распространения ошибки .....	67
Выводы по главе 3 .....	72
4. РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИЛЫ СКЛ .....	74
4.1. Структурная схема микроконтроллерного устройства согласования и обработки данных .....	76
4.2. Экспериментальные исследования по обучающей выборки .....	78
4.2.1. Алгоритм работы базы экспериментальных данных для обучения ИНС .....	79
4.2.2. Ускоренное старение изоляции кабеля .....	87
4.3. Экспериментальные исследования контрольной выборки состаренных образцов СКЛ .....	91
Вывод по главе 4 .....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	100
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	115