

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ ПЕТРА ВАСИЛЕНКО

На правах рукописи

**Мирошник Александр Александрович**

УДК 681.5:621.311.1

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ  
ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Специальность 05.13.03 – системы и процессы управления

**Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук**

Научный консультант  
Фурман Илья Александрович  
доктор технических наук, профессор

**Харьков – 2015**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
Раздел 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	16
1.1 Общая характеристика проблемы управления качеством процесса распределения электрической энергии.....	16
1.2 Анализ методов и технических средств для снижения неоднородности режимов в системах управления распределением электрической энергии (СУРЭ).....	18
1.2.1 Анализ методов и технических средств для снижения несимметрии токов и напряжений в СУРЭ.....	18
1.2.2 Анализ методов и технических средств для снижения несинусоидальности тока и напряжения в СУРЭ .....	24
1.3 Анализ методов структурной организации СУРЭ.....	33
1.4 Анализ методов оценки качества электрической энергии в СУРЭ в условиях неопределенности .....	37
Формулирование цели и задач исследования .....	47
Раздел 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕОДНОРОДНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	48
2.1 Разработка вероятностно-статистических методов оценки неоднородности режимов в СУРЭ .....	48
2.1.1 Разработка метода оценки вероятностной неоднородности режимов СУРЭ на основе использования графиков нагрузки и кривых распределения плотности вероятностей токов.....	48
2.1.2 Разработка метода оценки вероятностной неоднородности в СУРЭ на основе нормального закона распределения токов нагрузки.....	61
2.2 Разработка методов оценки детерминированной неоднородности	

	3
режимов в СУРЭ .....	63
2.2.1 Разработка матричного метода оценки детерминированной неоднородности режимов в СУРЭ .....	63
2.2.2 Разработка метода оценки распределения симметричных составляющих при детерминированной неоднородности режимов в СУРЭ .....	70
2.3 Разработка метода определения потерь мощности и энергии в элементах неоднородно нагруженной СУРЭ .....	75
2.4 Вейвлет-анализ неоднородных режимов в СУРЭ .....	86
2.4.1 Выбор вейвлета для анализа неоднородных режимов в СУРЭ .....	90
2.4.2 Кратномасштабный дискретный вейвлет-анализ неоднородных режимов в СУРЭ .....	97
Выводы по разделу 2 .....	102
Раздел 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	104
3.1 Разработка методики статистического исследования неоднородных режимов в СУРЭ .....	104
3.2 Статистическое исследование основных и дополнительных показателей качества электрической энергии в СУРЭ .....	107
3.3 Моделирование неоднородных режимов в традиционной СУРЭ .....	126
3.4 Моделирование структуры и режимов работы энергосберегающей СУРЭ .....	140
3.5 Разработка модели нейронной сети для распознавания искажений при неоднородных режимах в СУРЭ .....	147
3.6 Идентификация искажений при неоднородных режимах в СУРЭ с помощью адаптивной резонансной теории (АРТ) .....	149
3.6.1 Разработка модели специализированной нейронной сети на базе АРТ .....	149
3.6.2 Разработка алгоритма нейросетевой идентификации искажений	

	4
в СУРЭ .....	153
3.6.3 Компьютерное моделирование нейронной сети АРТ .....	160
Выводы по разделу 3 .....	164
<b>Раздел 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....</b>	<b>167</b>
4.1 Разработка метода принятия решений по равномерному распределению нагрузок с использованием генетических алгоритмов .....	167
4.1.1 Постановка оптимизационной задачи .....	169
4.1.2 Разработка генетического алгоритма для равномерного распределения нагрузки в СУРЭ .....	171
4.1.3. Реализация разработанного генетического алгоритма для СУРЭ .....	176
4.2 Разработка метода принятия решений по управлению качеством электрической энергии с использованием нейронной сети .....	183
4.2.1 Разработка метода равномерного распределения нагрузок в СУРЭ и определение целевых функций .....	183
4.2.2 Разработка структуры нейронной сети для равномерного распределения нагрузок в СУРЭ .....	189
4.2.3 Реализация разработанной нейронной сети для СУРЭ .....	195
4.3 Снижение неоднородности режимов СУРЭ в условиях эксплуатации .....	200
Выводы по разделу 4 .....	212
<b>Раздел 5 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СУРЭ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ .....</b>	<b>214</b>
5.1 Использование нечеткой логики для оценки показателей качества электрической энергии в СУРЭ .....	214
5.1.1 Представление качества электрической энергии в нечеткой форме в СУРЭ .....	214
5.1.2 Разработка метода определения качества электрической энергии	

	5
в нечеткой форме в СУРЭ .....	218
5.2 Разработка интегрального показателя качества электрической энергии в нечеткой форме в СУРЭ .....	221
5.3 Нечеткая оценка качества электрической энергии в СУРЭ .....	224
5.3.1 Фаззификация и нечеткая оценка исходных данных .....	224
5.3.2 Оценка неоднородности режимов с помощью интегрального показателя .....	231
5.4 Оценка потерь электрической энергии для СУРЭ в нечетком виде.....	232
5.4.1 Получение нечетких значений неоднородности режимов в СУРЭ.....	232
5.4.2 Нечеткая оценка потерь электрической энергии для объектов электроснабжения.....	234
Выводы по разделу 5 .....	248
<b>6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>249</b>
6.1 Разработка технических средств мониторинга неоднородности режимов в СУРЭ .....	249
6.1.1 Разработка устройства мониторинга показателей неоднородности режимов в СУРЭ и определение допустимой нагрузки электрооборудования .....	250
6.1.2 Разработка устройства мониторинга параметров качества электрической энергии и коэффициента увеличения потерь мощности в неравномерно нагруженной СУРЭ.....	252
6.2 Разработка технических средств снижения неоднородности режимов в СУРЭ .....	255
6.2.1 Разработка устройства компенсации неоднородности режимов в СУРЭ .....	255
6.2.2 Разработка устройства автоматического управления пятипроводной СУРЭ.....	227
6.3 Разработка технических средств симметрирования неоднородных нагрузок фаз в СУРЭ .....	258

6.3.1 Разработка устройства автоматического симметрирования неоднородности трехфазной СУРЭ .....	258
6.3.2 Разработка устройства автоматического подключения объекта электропотребления к СУРЭ с учетом неоднородности режимов .....	260
6.3.3 Разработка устройства автоматического регулирования неоднородности режимов в СУРЭ с односторонним питанием .....	262
6.3.4 Разработка устройства бесконтактного регулирования неоднородных режимов в СУРЭ .....	264
6.4 Разработка комплексного устройства снижения неоднородности режимов в СУРЭ .....	265
Выводы по разделу 6 .....	268
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	269
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	275
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	305
Приложение А. Моделирование режимов СУРЭ методом Монте-Карло с помощью компьютерной программы Electronics Workbench .....	306
Приложение Б. Статистическая обработка результатов моделирования режимов СУРЭ и проверка гипотезы закона распределения по критерию Пирсона с помощью компьютерной программы Mathcad .....	332
Приложение В. Фрагмент программы для распознавания вейвлет-образов несинусоидальных искажений напряжения в СУРЭ .....	345
Приложение Г. Варианты решений равномерному распределению нагрузок в СУРЭ с использованием генетических алгоритмов .....	361
Приложение Д. Фрагмент программы по равномерному распределению нагрузок в СУРЭ на базе нейронной сети .....	371
Приложение Е. Акты внедрения результатов диссертационной работы .....	383