

УДК 621.311.245:004.8
М 241

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор СГУВТ *С.В. Горелов*
д-р техн. наук, доцент НГТУ *А.Г. Русина*

Манусов В.З.

М 241 Применение методов искусственного интеллекта в задачах управления режимами электрических сетей Smart Grid : монография / В.З. Манусов, Н. Хасанзода, П.В. Матренин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 240 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-3911-1

Рассматриваются методы искусственного интеллекта в задачах управления и оптимизации режимов электрических интеллектуальных сетей (Smart Grid) с альтернативными и возобновляемыми источниками энергии. Введены и обоснованы понятия генерирующих потребителей (холонов) и иерархической структуры в виде холархии для сетей с двусторонним потоком энергии и информации. Применены различные алгоритмы роевого интеллекта и их сравнительный анализ с методом градиентного спуска. Рассмотрены принципы *Q*-обучения с подкреплением.

Книга может представлять интерес для студентов, магистров и аспирантов высших учебных заведений, а также научных работников и инженеров-электриков проектных и производственных предприятий, в том числе и для широкого круга читателей.

УДК 621.311.245:004.8

ISBN 978-5-7782-3911-1

© Манусов В.З., Хасанзода Н.,
Матренин П.В., 2019
© Новосибирский государственный
технический университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	7
Введение	8
1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КОНЦЕПЦИИ SMART GRID И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ.....	9
1.1. Исторический экскурс возникновения термина Smart Grid и его роль в развитии электрических сетей.....	9
1.2. Технология Smart Grid и ее атрибуты	11
1.3. Краткий исторический экскурс в развитие ветроэнергетики.....	14
1.4. Управление альтернативными ветровыми источниками энергии	19
1.5. Обоснование применения нечеткой логики при проектировании и эксплуатации ветроэнергетических установок.....	22
1.6. Нормативно-правовая база использования альтернативных источников энергии.....	25
2. ПОСТРОЕНИЕ ХОЛОНИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ДВУСТОРОННЕГО ПОТОКА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ	31
2.1. Развитие теории холонов.....	31
2.2. Холоническая интеллектуальная сеть	33
2.3. Формирование инфраструктуры интеллектуальной сети.....	35
2.4. Управление в системе со структурой холархии	37
3. РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	43
3.1. Особенности задач оптимизации электроэнергетических систем	44
3.2. Стохастические метаэвристические методы.....	47
3.3. Алгоритм имитации отжига	49
3.4. Эволюционные методы, генетический алгоритм	51
3.5. Алгоритмы роевого интеллекта	54



3.6. Обозначения, введенные для описания роевых алгоритмов	56
3.7. Обобщенная схема работы роевого алгоритма.....	57
3.8. Взаимодействие роевого алгоритма и решаемой задачи	58
3.9. Алгоритм роя частиц.....	59
3.10. Алгоритм роя светлячков	62
3.11. Алгоритм роя пчел	64
3.12. Адаптация стохастических метаэвристических алгоритмов.....	67
4. ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....	71
4.1. Климат и география побережья Дальнего Востока	71
4.2. Ветровые ресурсы островов Русский и Попова.....	74
4.3. Описание системы электроснабжения острова Русский	78
4.4. Выбор гибридного накопителя электроэнергии.....	79
4.5. Математическая модель и оптимизация энергетического баланса генерирующего потребителя.....	85
4.6. Алгоритм и программная реализация предложенного метода оптимизации.....	95
4.7. Минимизация негативного влияния ветроустановок на окружающую среду	101
5. НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	105
5.1. Нечеткая модель скорости ветра.....	106
5.2. Нечеткая регрессионная модель прогнозирования скорости и направления ветра	114
5.3. Оценка мощности ветроустановки на основе прогноза ветрового потока	117
5.4. Результаты прогнозирования	121
6. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА	129
6.1. Сравнительный анализ алгоритмов роевого интеллекта и градиентного спуска.....	134
6.2. Алгоритм и программная реализация предложенного метода оптимизации.....	142



7. ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	147
7.1. Влияние потребления реактивной мощности в потери электроэнергии	147
7.2. Постановка задачи оптимизации источников реактивной мощности.....	155
7.3. Применение адаптивных роевых алгоритмов для оптимизации источников реактивной мощности.....	157
7.4. Вычислительные эксперименты в задаче оптимизации источников реактивной мощности.....	158
7.5. Оптимизация размещения установок компенсации реактивной мощности в сетях 0,4 кВ электроснабжения АО «УЭХК»	161
7.6. Оперативное управление источниками реактивной мощности	163
7.7. Двухкритериальная задача оптимальной компенсации реактивной мощности	168
7.8. Использование программного комплекса «Rastr Win» для моделирования и оптимизации СЭС	172
8. ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ.....	177
8.1. Понятие оптимального управления	178
8.2. Виды машинного обучения	182
8.3. Понятия и принципы Q -обучения.....	187
8.4. Алгоритм и пример Q -обучения	189
8.5. Основы искусственных нейронных сетей.....	202
8.6. Нейросетевое Q -обучение	207
Заключение.....	213
Библиографический список	216
Приложение. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.....	229