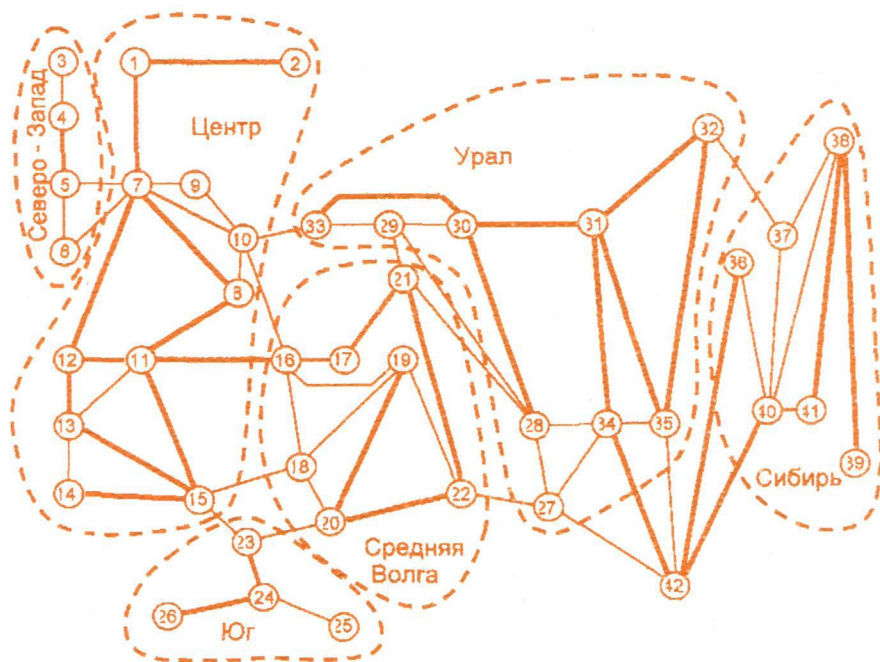


# МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Российская академия наук  
Уральское отделение  
Коми научный центр  
Институт социально-экономических  
и энергетических проблем Севера

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ  
ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Ответственный редактор  
кандидат технических наук Н.А. Манов

Сыктывкар 2010

Коллектив авторов. **Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем.** – Сыктывкар, 2010. – 292 с. (Коми научный центр УрО РАН).

Монография посвящена оценке и обеспечению режимной и балансовой надежности электроэнергетических систем. Дана оригинальная трактовка структуры свойства надежности ЭЭС, приведены данные по адекватности и оперативной надежности зон Единой ЭЭС США и Канады за 2002-2007 гг., рассмотрены задачи управления статической и динамической надежностью ЭЭС в увязке с их информационным обеспечением, раскрыты методы и модели исследования балансовой надежности многозонных ЭЭС с учетом рыночных отношений в электроэнергетике.

Книга может представлять интерес для лиц, занимающихся теоретическими проблемами надежности электроэнергетических систем и практическими приложениями их решений.

#### Авторы

к.т.н. Н.А. Манов, к.т.н. М.В. Хохлов, д.т.н. Ю.Я. Чукреев,  
к.т.н. Г.П. Шумилова, к.т.н. М.И. Успенский, к.т.н. М.Ю. Чукреев,  
Д.В. Полуботко, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева

#### Рецензенты

д.т.н. Б.В. Папков, д.т.н. В.П. Обоскалов, к.т.н. П.А. Малкин

ISBN 978-5-89606-409-1

© Н.А. Манов, М.В. Хохлов,  
Ю.Я. Чукреев и др., 2010

© Коми научный центр  
УрО РАН, 2010

2.3.2.2. Нелинейный анализ главных компонент с использованием автоассоциативных нейронных сетей . . . . .	89
2.3.3. Сравнение методов выбора оптимальной комбинации входных параметров модели оценки динамической надежности ЭЭС . . . . .	95
2.3.4. Алгоритм определения близости текущего режима ЭЭС к границе динамической надежности . . . . .	99
2.4. Управляемое деление ЭЭС при системных авариях . . . . .	112
2.4.1. Проблема восстановления ЭЭС при системных авариях . . . . .	112
2.4.2. Примеры некоторых системных аварий . . . . .	121
2.4.3. Управляемое деление ЭЭС при системной аварии . . . . .	125
<b>Глава 3. Информационное обеспечение оперативного управления режимной надежностью ЭЭС . . . . .</b>	<b>130</b>
3.1. Исследование надежности информационно-измерительных систем ЭЭС на основе анализа локальной избыточности телеизмерений . . . . .	130
3.1.1. Постановка задачи . . . . .	130
3.1.2. Разработка понятийного аппарата . . . . .	133
3.1.2.1. Топологические показатели локальной избыточности . . . . .	133
3.1.2.2. Алгебраические показатели локальной избыточности . . . . .	136
3.1.2.3. Критические группы измерений . . . . .	138
3.1.3. Разработка методов и алгоритмов анализа локальной топологической избыточности измерений ЭЭС . . . . .	140
3.1.3.1. Получение критических групп измерений . . . . .	140
3.1.3.2. Определение локальной избыточности измерений на основе критических групп. . . . .	145
3.1.3.3. Определение локальной избыточности измерений на графе измерений . . . . .	147
3.1.3.4. Визуальный анализ больших систем . . . . .	151
3.1.4. Надежность наблюдаемости ЭЭС . . . . .	151
3.1.4.1. Оценка надежности системной наблюдаемости . . . . .	153

3.1.4.2. Оценка надежности локальной наблюдаемости . . . . .	159
3.1.4.3. От оценки надежности наблюдаемости к ее повышению . . . . .	163
3.1.5. Идентифицируемость неверных измерений в ЭЭС .	165
3.1.5.1. Топологическая идентифицируемость неверных измерений . . . . .	166
3.1.5.2. Алгебраическая идентифицируемость неверных измерений . . . . .	169
3.1.6. Анализ надежности информационно-измерительной системы на примере IEEE 14-узловой ЭЭС . . . . .	172
3.2. Прогнозирование активной и реактивной нагрузок узлов региональной ЭЭС с использованием искусственных нейронных сетей . . . . .	177
3.3. Использование новых компьютерных технологий в оперативном управлении ЭЭС . . . . .	187
3.3.1. Система мониторинга переходных режимов ЭЭС . . . . .	187
3.3.2. Архитектура современного программного средства моделирования и ведения режимов ЭЭС . . . . .	189
3.3.3. Современные подходы в представлении оперативной информации при управлении режимами региональной ЭЭС . . . . .	201
<b>Глава 4. Методы и модели исследования балансовой надежности многозонной ЭЭС . . . . .</b>	<b>207</b>
4.1. Характеристика проблемы и существующие модели исследования надежности многозонных ЭЭС . . . . .	209
4.2. Методика оценки показателей надежности многозонной ЭЭС для условий рыночных отношений в электроэнергетике . . . . .	213
4.2.1. Модель формирования случайных состояний системы . . . . .	215
4.2.2. Модель оценки случайного состояния системы . .	221
4.2.3. Показатели балансовой надежности ЭЭС . . . . .	226

4.3. Особенности обоснования уровня резервирования ЭЭС для условий рыночных отношений . . . . .	227
4.4. Расчеты показателей и параметров средств обеспечения балансовой надежности ЭЭС России . . . . .	231
Приложения . . . . .	240
П1. Классификация терминов, характеризующих свойство надежности в энергетике . . . . .	240
П2. Пример расчета деления ЭЭС на зоны по когерентности . . . . .	252
П3. Доказательства утверждений, сформулированных в разделе 3.1. . . . .	255
П4. Подключение расчетного модуля оценивания состояния ЭЭС в программно-вычислительном комплексе «Корнет» . . . . .	264
П5. Шейдер построения контурной раскраски на языке GLSL . . . . .	270
Литература . . . . .	271