

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ им. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.Н. НАЗАРЫЧЕВ
Д.С. КРУПЕНЁВ

НАДЁЖНОСТЬ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рекомендовано Федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненным группам специальностей и направлений подготовки 13.00.00 «Электро- и теплоэнергетика» в качестве учебного пособия для реализации основных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»

НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
2020

УДК 621.311.1
ББК 31
Н19

Назарычев А.Н. Надёжность и оценка технического состояния оборудования систем электроснабжения: учебное пособие / А.Н. Назарычев, Д.С. Крупенёв. — Новосибирск: Наука, 2020. — 224 с.
ISBN 978–5–02–038810–9.

В учебном пособии рассмотрены особенности современных систем электроснабжения, основные причины отказов и проблемы, возникающие при эксплуатации электрооборудования, существующие подходы к оценке фактического состояния и совершенствованию формирования программы технических воздействий для поддержания надёжности оборудования систем электроснабжения.

Издание предназначено для студентов старших курсов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также может быть использовано слушателями курсов повышения квалификации — работниками сетевых, генерирующих и других энергетических компаний, аспирантами и научными работниками.

Ил. 41. Табл. 22. Библиогр.: 112 назв.

Рецензенты

член-корреспондент РАН, доктор технических наук,
профессор *Н.И. Воронай*
доктор технических наук, профессор *Б.В. Папков*
доктор технических наук, профессор *А.В. Шунтов*

Утверждено к печати Учеными советами
Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
Петербургского энергетического института
повышения квалификации Минэнерго России,
Иркутского национального исследовательского технического университета

ISBN 978–5–02–038810–9

© А.Н. Назарычев, Д.С. Крупенёв, 2020
© ИСЭМ, 2020
© ПЭИПК, 2020
© ИРНТУ, 2020
© Редакционно-издательское оформление. Новосибирский филиал ФГУП «Издательство «Наука», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1	
ПОНЯТИЕ НАДЁЖНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ . . .	12
1.1. Краткая характеристика систем электроснабжения	12
1.2. Историческая справка о развитии теории надёжности в технических системах	15
1.3. Основные понятия в области надёжности систем электроснабжения	18
1.4. Надёжность как комплексное свойство. Структуризация надёжности	22
1.5. Жизненный цикл объекта с позиции надёжности	28
1.6. Вопросы для самоконтроля	29
Глава 2	
ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ИХ ОБОРУДОВАНИЯ	30
2.1. Причины снижения надёжности систем электроснабжения	30
2.1.1. Старение энергетического оборудования	30
2.1.2. Неудовлетворительное состояние системы поддержания надёжности действующего энергетического оборудования	32
2.1.3. Дефицит инвестиций на ввод нового оборудования, модернизацию и продление срока службы действующего электрооборудования	33
2.1.4. Проблемы развития энергетического машиностроения, электротехнической промышленности и энергостроительной отрасли	33
2.1.5. Проблемы образования и кадровой политики в энергетической отрасли	34
2.1.6. Отсутствие полной и непротиворечивой системы национальных стандартов, технических регламентов и стандартов организаций	35
2.1.7. Система сбора информации об аварийности и техническом состоянии электрооборудования	36
2.1.8. Проблема ответственности за обеспечение надёжности в электроэнергетике	37
	3

2.2. Современные тенденции в электроэнергетике, влияющие на надёжность систем электроснабжения и их электрооборудования . . .	38
2.2.1. Развитие распределенной генерации	38
2.2.2. Развитие возобновляемых источников электроэнергии . . .	41
2.2.3. Увеличение сложности систем электроснабжения и экстремальные условия эксплуатации электрооборудования . .	42
2.2.4. Кибератаки на системы электроснабжения	43
2.3. Вопросы для самоконтроля	45
Глава 3	
ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОТКАЗОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	46
3.1. Отказы генерирующего оборудования	47
3.2. Отказы воздушных линий электропередачи	56
3.3. Отказы кабельных линий электропередачи	62
3.4. Отказы электрооборудования на подстанциях	64
3.4.1. Отказы силовых трансформаторов	64
3.4.2. Отказы коммутационного оборудования	67
3.5. Отказы электрооборудования системы электроснабжения собственных нужд электростанций	69
3.6. Вопросы для самоконтроля	72
Глава 4	
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	73
4.1. Общие положения технического диагностирования электрооборудования	73
4.2. Методы диагностирования электрооборудования	79
4.3. Средства технического диагностирования и неразрушающего контроля электрооборудования	97
4.4. Автоматизированные системы диагностирования электрооборудования	104
4.5. Методы прогнозирования технического состояния электрооборудования	109
4.6. Вопросы для самоконтроля	111
Глава 5	
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	113
5.1. Интегральная оценка технического состояния электрооборудования на основе определения индекса состояния	113
5.2. Определение ресурса оборудования с учетом его технического состояния	119
5.3. Методика определения вероятности отказа оборудования с учетом его технического состояния	132

5.4. Определение предельного срока эксплуатации оборудования с учетом его технического состояния	145
5.5. Вопросы для самоконтроля	151
Глава 6	
ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	154
6.1. Общие положения	154
6.2. Виды технических воздействий и их характеристика	159
6.2.1. Техническое обслуживание	160
6.2.2. Аварийный ремонт	160
6.2.3. Планово-предупредительный ремонт	161
6.2.4. Ремонт по техническому состоянию	166
6.2.5. Техническое перевооружение и реконструкция	169
6.3. Оценка последствий отказов для формирования программы технических воздействий	173
6.3.1. Последствия отказов на основе балльной оценки	175
6.3.2. Последствия отказов в стоимостном выражении	180
6.4. Приоритизация электрооборудования для формирования программ технических воздействий	185
6.5. Вопросы для самоконтроля	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	193
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	196
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	
Параметр потока отказов электрооборудования 6—220 кВ	205
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	
Перечень приборов, наиболее часто применяемых для диагностирования электрооборудования	206
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	
Перечень основных работ по техническому обслуживанию линий электропередачи и оборудования подстанций	212
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	
Классификатор потребителей и их значимость в балльном выражении с позиции надёжности	216
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	
Периодичность проведения работ по ремонту оборудования подстанций	220