

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

<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> . . . . .	6
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	8
<b>Глава 1</b>	
<b>ПОНЯТИЕ НАДЁЖНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</b> . . .	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
<b>Глава 2</b>	
<b>ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ИХ ОБОРУДОВАНИЯ</b> . . . . .	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
<b>Глава 3</b>	
<b>ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОТКАЗОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ . . . . .</b>	<b>46</b>
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
<b>Глава 4</b>	
<b>МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ . . . . .</b>	<b>73</b>
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
<b>Глава 5</b>	
<b>МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ . . . . .</b>	<b>113</b>
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
<b>Глава 6</b>	
<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ . . . . .</b>	<b>154</b>
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
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .</b>	<b>193</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК . . . . .</b>	<b>196</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b>	
Параметр потока отказов электрооборудования 6—220 кВ . . . . .	205
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b>	
Перечень приборов, наиболее часто применяемых для диагностирования электрооборудования . . . . .	206
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3</b>	
Перечень основных работ по техническому обслуживанию линий электропередачи и оборудования подстанций . . . . .	212
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4</b>	
Классификатор потребителей и их значимость в балльном выражении с позиции надёжности . . . . .	216
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5</b>	
Периодичность проведения работ по ремонту оборудования подстанций . . . . .	220