

Б. В. Папков
В. Л. Осокин

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
НАДЁЖНОСТИ
И ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Б. В. ПАПКОВ, В. Л. ОСОКИН

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рекомендовано Научно-методическим советом по технологиям,
средствам механизации и энергетическому оборудованию
в сельском хозяйстве Федерального УМО по сельскому, лесному
и рыбному хозяйству в качестве учебного пособия
для формирования профессиональных компетенций
при подготовке бакалавров и магистров
по направлению «Агроинженерия»

Старый Оскол
ТНТ
2019

Папков, Б. В. Теоретические основы надежности и эффективности электроснабжения : учебное пособие / Б. В. Папков, В. Л. Осокин. — Старый Оскол : ТНТ, 2019. — 590, [1] с. : ил., табл. — Библиогр. : с. 587—591.

УДК 621.311.031-192(075.8)

ББК 31

Абонемент №1 — 3 экз.

Чит. зал №1 — 2 экз.

В учебном пособии излагаются основы фундаментальной классической и специальной теории систем и теории надёжности, которые наиболее часто используются в электроэнергетике. Приведены основные понятия, предложения по оценке надёжности электроэнергетических систем и систем электроснабжения, технико-экономической оценке последствий нарушений электроснабжения потребителей и основам принятия инженерных решений по управлению электропотреблением в условиях аварийных ситуаций в энергосистемах. Рассмотрены методы анализа, особенности функционирования и развития больших технических систем с приложениями и примерами из электроэнергетики.

Материалы пособия отражают современное состояние теории надёжности в области электроэнергетики, иллюстрируются наглядными практическими примерами, решение которых доведено до численного результата.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ	12
1.1. Наука и системы	12
1.2. Развитие системных представлений	22
1.3. Роль математических методов	28
1.4. Общие понятия системного представления процессов и явлений	30
1.5. О методах системного познания	32
1.6. Проблемы надёжного и безопасного функционирования больших технических систем	39
Контрольные вопросы	55
ГЛАВА 2. БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	56
2.1. Основные определения понятия «система»	56
2.2. Подсистема, элемент, компонент	61
2.3. Связи между элементами	65
2.4. Характеристики функционирования и развития систем	72
2.5. Структура системы	81
2.6. Возможности формального описания систем	94
2.7. Основы классификации систем	100
2.8. Электроэнергетический объект как система	109
Контрольные вопросы	112
ГЛАВА 3. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ОБЩЕСИСТЕМНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ	113
3.1. Системные признаки, свойства, характеристики	113
3.2. Основные положения системного анализа	132
3.3. Особенности анализа редких событий	140
3.4. Системное мышление и управление	144
3.5. Эффективность функционирования и развития систем	151
3.6. Основные принципы системного управления	156
3.7. Энтропийные закономерности	164
Контрольные вопросы	170
ГЛАВА 4. ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ К ЗАДАЧАМ НАДЁЖНОСТИ	171
4.1. Основные понятия	171
4.2. Способы задания множеств	172
4.3. Операции над множествами	174

4.4. Отношения на множествах	179
4.5. Отображения множеств	183
4.6. Соответствия между множествами	185
4.7. Пространство состояний	187
4.8. Пространство входных, выходных и управляющих сигналов ...	190
4.9. Элементы математической логики	192
Контрольные вопросы	195

ГЛАВА 5. ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ГРАФОВ К ТЕОРИИ НАДЁЖНОСТИ

НАДЁЖНОСТИ	196
5.1. Вводные замечания	196
5.2. Неориентированные графы	197
5.3. Маршрут, путь, цепь, цикл	200
5.4. Изоморфизм графов и инварианты	202
5.5. Деревья, двудольные графы, разделяющие множества и разрезы	204
5.6. Ориентированные графы	207
5.7. Отношения на графах	208
5.8. Теоретико-множественное представление графов	210
5.9. Матричное представление графов	211
5.10. Порядковая функция на графе	214
5.11. Прикладные задачи теории графов	218
Контрольные вопросы	231

ГЛАВА 6. НЕЧЁТКИЕ МНОЖЕСТВА, НЕЧЁТКИЕ ГРАФЫ И НЕЧЁТКИЕ ОТНОШЕНИЯ

И НЕЧЁТКИЕ ОТНОШЕНИЯ	232
6.1. Вводные замечания	232
6.2. Основные понятия	236
6.3. Операции над нечёткими множествами	246
6.4. Виды функций принадлежности и показатели размытости нечётких множеств	249
6.5. Нечёткие графы и нечёткие отношения	252
6.6. Методы приведения к чёткости	255
6.7. Приложение к проблеме оценки надёжности	258
Контрольные вопросы	262

ГЛАВА 7. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ В ТЕОРИИ НАДЁЖНОСТИ

НАДЁЖНОСТИ	263
7.1. Роль вероятностных и статистических методов в системном анализе	263
7.2. Понятие пространства элементарных событий	265
7.3. Случайные события	269
7.4. Классическое определение вероятности	272
7.5. Основные теоремы теории вероятностей	276

7.6. Случайные величины и их числовые характеристики	289
7.7. Основные законы распределения дискретных случайных величин	295
7.8. Основные законы распределения непрерывных случайных величин	299
7.9. Предельные теоремы теории вероятностей	309
7.10. Зависимость и коррелированность случайных величин	312
7.11. Случайные функции, процессы и потоки случайных событий	316
Контрольные вопросы	329

ГЛАВА 8. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ, АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ НАДЁЖНОСТИ	331
8.1. Система основных показателей надёжности	331
8.2. Количественная оценка показателей надёжности	332
8.3. Сбор информации об отказах элементов технических систем	343
8.4. Состав фиксируемой информации	344
8.5. Особенности обработки статистических данных о надёжности элементов и систем	347
8.6. Принципы статистической проверки гипотез	351
8.7. Проверка однородности статистического материала и гипотез о законе распределения случайной величины	352
8.8. Точность оценки, доверительный интервал, доверительная вероятность	358
8.9. Практические методы контроля надёжности	364
8.10. Основы ускоренных испытаний на надёжность	368
Контрольные вопросы	372

ГЛАВА 9. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ В ПРИЛОЖЕНИЯХ К НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	374
9.1. Модели и моделирование. Общие понятия	374
9.2. Модели отказов невосстанавливаемых систем	381
9.3. Модели надёжности установок с восстановлением	399
9.4. Модели надёжности электроустановок с профилактикой	405
9.5. Модели надёжности установок с восстановлением и профилактикой	408
9.6. Основы статистического моделирования	411
Контрольные вопросы	418

ГЛАВА 10. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ	419
10.1. Оценка вероятностей состояний системы	419
10.2. Логико-вероятностный метод	428

10.3. Расчёт надёжности электрической сети на основе построения дерева отказов	430
10.4. Аналитический метод расчёта надёжности электроустановок	436
10.5. Таблично-логические методы расчёта надёжности	440
10.6. Оценка надёжности схем электрических соединений	451
Контрольные вопросы	463
ГЛАВА 11. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ НАРУШЕНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	464
11.1. Вводные замечания	464
11.2. Оценка ущерба методами макро моделирования	467
11.3. Оценка ущерба методами микро моделирования	470
11.4. Технико-экономическая оценка последствий нарушений нормального режима электроснабжения объектов производственных систем	472
11.5. Составляющие ущерба	488
11.6. Упрощённые модели оценки последствий нарушения электроснабжения	491
11.7. Нормирование надёжности при управлении режимами электропотребления	494
11.8. Управление электропотреблением	505
11.9. Анализ живучести производственных систем в задачах электроснабжения	509
Контрольные вопросы	514
ГЛАВА 12. ОСНОВЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА В ЗАДАЧАХ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	515
12.1. Проблема рискованных ситуаций	515
12.2. Основы классификации рисков	521
12.3. Формальная постановка задачи оценки рисков	530
12.4. Основы управления рисками	541
12.5. Возможности оценки технологического риска	552
12.6. Возможности практической реализации задач риск-менеджмента	560
12.7. Особенности информационного обеспечения риск-менеджмента	567
12.8. Вопросы страхования рисков	573
Контрольные вопросы	585
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	586
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	587