

УДК 621.311-192
Л 363

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор НГТУ *Ю. А. Секретарев*
д-р техн. наук, профессор СГУВТ *С. В. Горелов*

Левин В. М.

Л 363 Управление надежностью и техническим состоянием оборудования в задачах эксплуатации электрических сетей: монография / В. М. Левин, Д. В. Танфильева. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. – 240 с. (Монографии НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4880-9

В работе рассмотрены методы анализа и синтеза моделей для оценки показателей эксплуатационной надежности и технического состояния оборудования электрических сетей и систем электроснабжения, применяемые в задачах управления процессами технического обслуживания и ремонта. Предложены оптимизационные процедуры и алгоритмы принятия решений по предотвращению нежелательных последствий от нарушений электроснабжения потребителей при отказах электрооборудования и снижению рисков возникновения последних.

Работа, как глубоко обобщающий многочисленные исследования труд, имеет теоретическую и практическую значимость и будет весьма полезна широкому кругу научных работников, аспирантов, магистрантов и инженеров-электриков, работающих в области эксплуатации электросетевого оборудования объектов электроэнергетики.

УДК 621.311-192

DOI 10.17212/978-5-7782-4880-9
ISBN 978-5-7782-4880-9

© Левин В. М., Танфильева Д. В., 2023
© Новосибирский государственный
технический университет, 2023

УДК 621.311-192
Л 363

Reviewers:

Professor *Yu. A. Secretarev*, D.Sc. (Eng.), NSTU

Professor *S. V. Gorelov*, D.Sc. (Eng.), SSUWT

Levin V.M.

Л 363 Management of the power equipment reliability and technical condition for the operation of electrical grids: monograph / V. M. Levin, D. V. Tanfilieva. – Novosibirsk : NSTU Publisher, 2023. – 240 p. (NSTU Monographs).

ISBN 978-5-7782-4880-9

The paper considers methods of analysis and synthesis of models for assessing the indicators of operational reliability and technical condition of equipment of electrical grids and power supply systems used in the tasks of managing maintenance and repair processes. The proposed optimization procedures and decision-making algorithms are proposed to prevent undesirable after-effects of consumer power supply interruptions in case of failure of electrical equipment and to reduce risks of their accidents.

The work, as a deeply generalizing work studied extensively and being of theoretical and practical significance, will be of great use to a wide range of scientists, graduate students, undergraduates and electrical engineers working in the field of operation of electrical grid equipment of electric power facilities.

УДК 621.311-192

DOI 10.17212/978-5-7782-4880-9
ISBN 978-5-7782-4880-9

© Levin V. M., Tanfilieva D. V., 2023
© Novosibirsk State
Technical University, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	7
Предисловие	8
Введение	9
Глава 1. Задачи управления надежностью и эффективностью эксплуатации оборудования электрических сетей	11
1.1. Состояние электросетевого комплекса РФ в свете смены парадигмы в управлении эксплуатацией оборудования.....	11
1.2. Эффективность эксплуатации оборудования электрических сетей.....	14
1.3. Идентификация технического состояния и надежности оборудования при управлении эксплуатацией энергообъектов.....	17
1.4. Методы, модели и критерии принятия решений при управлении эксплуатацией оборудования электрических сетей.....	35
Выводы.....	45
Глава 2. Идентификация технического состояния и надежности оборудования при управлении эксплуатацией энергообъектов	47
2.1. Основные задачи при классификации состояний электрооборудования	47
2.2. Разработка моделей статистической классификации дефектного состояния на основе байесовского классификатора	50
2.3. Байесовское решающее правило для трехмерного признакового пространства	63
2.4. Определение вида поверхности байесовского решающего правила для трехмерного признакового пространства	68
Выводы.....	76

Глава 3. Исследование надежности электрических сетей с учетом технического состояния оборудования	77
3.1. Связь надежности сложной восстанавливаемой технической системы с характеристикой состояния ее элементов.....	77
3.2. Вероятностные модели и методы оценки эксплуатационной надежности оборудования электрических сетей (анализ и обобщение).....	81
3.3. Разработка методов моделирования потока отказов и потока дефектов в элементах электрической сети с учетом эксплуатационных факторов	90
3.4. Методические аспекты анализа и прогнозирования надежности элементов электрической сети на основе статистики внеплановых простоев и аварийных отключений	101
Выводы.....	111
Глава 4. Моделирование процессов технического обслуживания оборудования электрических сетей	113
4.1. Стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей.....	113
4.2. Теоретические основы синтеза моделей технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей	118
4.3. Синтез математических моделей надежности электрооборудования для актуальных стратегий управления их техническим состоянием.....	122
4.4. Методология управления случайными процессами технического обслуживания и ремонта по параметру состояния ЭО.....	133
Выводы.....	144
Глава 5. Повышение эффективности эксплуатации оборудования и надежности электрических сетей	145
5.1. Выбор и принятие решений по повышению эффективности эксплуатации электрооборудования сетей на основе оптимизационных моделей.....	145
5.2. Управление риском отказов оборудования в электрической сети.....	160
5.3. Повышение надежности электрической сети за счет управления техническим обслуживанием и ремонтами ее элементов.....	167
5.4. Поддержка принятия решений по управлению техническим обслуживанием и ремонтом оборудования электрических сетей.....	175
Выводы.....	185

Глава 6. Методология риск-ориентированного подхода в управлении эксплуатацией оборудования сетей и систем электроснабжения с монопотребителем	187
6.1. Критерии принятия решений на основе нормативно-технических документов в сфере эксплуатации электрооборудования	187
6.2. Интегральная оценка технического состояния оборудования в распределительных сетях и системах электроснабжения 6(10)–35–110 кВ	190
6.3. Методика расчета показателей надежности промышленной системы электроснабжения с учетом топологии схемы и технического состояния оборудования	196
Выводы	207
Заключение	209
Библиографический список	211
Приложение. Расчеты интенсивностей потока отказов оборудования РСК	225

CONTENTS

Abbreviation List	7
Preface	8
Introduction	9
Chapter 1. Management of reliability and operational efficiency of electrical grid equipment	11
1.1. The state of the RF power grid complex in the light of a paradigm shift	11
1.2. Operational efficiency of electrical grid equipment	14
1.3. Identification of the technical condition and reliability of equipment in managing power facilities	17
1.4. Methods, models and criteria for decision-making in managing electrical grid equipment operation	35
Conclusions	45
Chapter 2. Identification of the technical condition and reliability of equipment in managing power facilities operation	47
2.1. The main tasks in the classification of electrical equipment conditions	47
2.2. Development of models for statistical classification of a defective condition based on the Bayesian classifier	50
2.3. The Bayesian decision rule for the 3D feature space	63
2.4. Determining the surface type of the Bayesian decision rule for the 3D feature space	68
Conclusions	76
Chapter 3. Study of the reliability of electrical grids based on the technical condition of the equipment	77
3.1. Relationship between the reliability of a complex recoverable technical system with a description of the condition of its elements	77

3.2. Probabilistic models and methods for assessing operational reliability of electrical grid equipment (analysis and generalization)	81
3.3. Development of methods for modeling the flow of failures and the flow of defects in the elements of the electrical grid taking into account operational factors.....	90
3.4. Methodological aspects of the analysis and prediction of the reliability of electrical grid elements based on statistics of unscheduled downtime and emergency blackouts.....	101
Conclusions	111
Chapter 4. Modeling the processes of electrical grid equipment maintenance.....	113
4.1. Strategies for the maintenance and repair of electrical grid equipment.....	113
4.2. Theoretical foundations for the synthesis of models of maintenance and repair of electrical grid equipment	118
4.3. Synthesis of mathematical models of electrical equipment reliability for the current strategies for managing their technical condition	122
4.4. Methodology for managing random maintenance and repair processes based on the EE condition parameter	133
Conclusions	144
Chapter 5. Improving the equipment operational efficiency and the reliability of electrical grids	145
5.1. Choice and decision-making to improve the efficiency of grid electrical equipment operation based on optimization models.....	145
5.2. Managing the risk of equipment failures in the electrical grid	160
5.3. Improving the reliability of the electrical grid by managing the maintenance and repairs of its elements	167
5.4. Decision-making support for the management of maintenance and repair of electrical grid equipment.....	175
Conclusions	185
Chapter 6. Methodology of the risk-based approach in managing the grid equipment and power supply system operation with a single consumer.....	187
6.1. Criteria for decision-making based on the regulatory and technical documents in the field of electrical equipment operation	187

6.2. Integrated assessment of the technical condition of equipment in distribution networks and power supply systems 6(10)–35-110 kV	190
6.3. Methodology for calculating the reliability indicators of an industrial power supply system taking into account the topology of the circuit and the technical condition of the equipment	196
Conclusions	207
Concluding remarks	209
Bibliographic list	211
Appendix. Calculations of the flow rate of GDC equipment failures	