

Т.А. ФИЛИППОВА, А.Г. РУСИНА,
Ю.В. ДРОНОВА

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ

Монография

НОВОСИБИРСК
2009

УДК 621.311.004.13
Ф 534

Рецензенты:

Г.И. Самородов д-р техн. наук, профессор, начальник отдела экспертов, заместитель директора СибНИИ Энергетики;
Ю.А. Секретарев, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой систем электроснабжения предприятий, НГТУ

Филиппова Т.А.

Ф 534 Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем : монография / Т.А. Филиппова, А.Г. Русина, Ю.В. Дронова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 368 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-1235-0

В энергетике прогнозированию всегда уделяется большое внимание. В работе рассматриваются основные задачи прогнозирования при управлении режимами энергосистем и их формализации на основе сочетания математических и практических методов, а также задачи долгосрочного и краткосрочного планирования и адаптации планов. Даются общие методологические принципы моделирования задач прогнозирования. Основное внимание уделяется статистическим моделям и математическим методам прогнозирования. В различных задачах используются методы временных рядов, регрессионного анализа, ранговые модели, методы вероятностного и статистического анализа. Приводятся методики и численные примеры решения различных задач прогнозирования. Все модели ориентированы на применение компьютерных технологий.

УДК 621.311.004.13

ISBN 978-5-7782-1235-0

© Филиппова Т.А., Русина А.Г.,
Дронова Ю.В., 2009
© Новосибирский государственный
технический университет, 2009

Ministry of Education and Science of the Russian Federation

NOVOSIBIRSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY

T.A. FILIPPOVA, A.G. RUSINA,
YU.V. DRONOVA

**MODELS AND METHODS
OF ELECTRIC ENERGY AND POWER
FORECASTING IN POWER SYSTEM
OPERATION MANAGEMENT**

Monograph

NOVOSIBIRSK
2009

UDC 621.311.004.13
F 534

Reviewers:

Prof. *G.I. Samorodov*, D.Sc. (Eng.), Department of Experts, head,
Siberian Research Institute of Energy, Deputy Director;
Prof. *Yu.A. Secretarev*, D.Sc. (Eng.), NSTU Department of Enterprise Power Supply Systems, Head

Filippova T.A.

F 534 Models and methods of electric energy and power forecasting in power system operation management: monograph / T.A. Filippova, A.G. Rusina, Yu.V. Dronova. – Novosibirsk : NSTU publisher, 2009. – 368 pp. (NSTU Monographs series)

ISBN 978-5-7782-1235-0

Much attention has always been paid to forecasting in power engineering. Major problems of forecasting in power system operation management and their formalization based on both mathematical and practical methods as well as problems of long-term and short-term planning and adaptation of plans are considered in the monograph. General methodological principles of the simulation of forecasting problems are presented. Main attention is given to statistical models and mathematical methods of forecasting. Methods of time series, regression analysis, probabilistic and statistical analyses and rank models are used to solve various problems. Methods and numerical examples of solving numerous problems of forecasting are described. All the models are based on computer technologies.

UDC 621.311.004.13

ISBN 978-5-7782-1235-0

© Filippova T.A., Rusina A.G.,
Dronova Yu.V., 2009
© Novosibirsk State Technical
University, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Раздел 1. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	9
Глава 1. Прогнозирование в управлении производством	11
1.1. Прогнозирование в управлении	11
1.2. План и прогноз	13
1.3. Процесс планирования	18
1.4. Стратегическое планирование	22
1.5. Особенности бизнес-процесса предприятия	24
1.6. Деловая среда	28
1.7. Комплекс планирования	34
1.8. Роль прогнозирования в управлении предприятием	36
Глава 2. Научные основы прогнозирования	39
2.1. Методологические принципы	39
2.2. Основы моделирования задач	45
2.3. Структурные модели ЭЭС при решении режимных задач прогнозирования	47
2.4. Математическая модель задачи	54
2.5. Информация и ее свойства	58
2.6. Исследование систем в условиях неопределенности	62
Глава 3. Методы прогнозирования	67
3.1. Общая характеристика методов прогнозирования	67
3.2. Краткие положения теории вероятностей	68
3.3. Экспертные методы	77
3.4. Регрессионный анализ	84
3.5. Модель временного ряда	88
3.6. Ранговые модели	91
3.7. Технологический метод прогнозирования	92
3.8. Применение искусственных нейронных сетей при прогнозировании в электроэнергетике	93
3.9. Статистический анализ	99
Глава 4. Прогнозирование электропотребления и мощности при перспективном планировании развития энергетики	103
4.1. Энергетика в общей хозяйственной структуре государства	103
4.2. Общие положения по прогнозированию развития энергетики	110
4.3. Математическая модель прогнозирования и оптимизации энергетических систем	116
4.4. Методика долгосрочного прогнозирования электропотребления	120
4.5. Методика прогнозирования электропотребления по региону на перспективу 5 лет	122

4.6. Методика прогнозирования электропотребления по региону на перспективу 10 лет	129
4.7. Методика прогнозирования электропотребления по региону на перспективу 20 лет	137
Раздел 2. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ	141
Глава 5. Прогнозирование электропотребления при текущем планировании производственной деятельности электроэнергетической системы	143
5.1. Производственная деятельность энергосистемы	143
5.2. Модели и методы прогнозирования электропотребления при текущем планировании	147
5.3. Моделей прогнозирования электропотребления системы для годового периода	150
5.4. Модель прогноза электропотребления для сезонного периода	154
5.5. Моделирование электропотребления для месячного периода	156
5.6. Информационные технологии прогнозирования сальдо-перетока электроэнергии	158
5.7. Ожидаемое месячное электропотребление при расчетах по типовым суткам	162
Глава 6. Принципы статистического моделирования и прогнозирования графиков нагрузки ЭЭС, их структуры и параметров	165
6.1. Особенности использования статистических моделей графиков нагрузки в энергосистемах	165
6.2. Параметрические свойства графиков нагрузки энергосистемы	168
6.3. Структурная модель ГН ЭЭС по составляющим нагрузки	175
6.4. Прогнозирование графиков нагрузки ЭЭС с учетом их свойств	180
Глава 7. Методика прогнозирования графиков нагрузки	183
7.1. Прогнозирование графика нагрузки ЭЭС при решении оперативных задач	183
7.2. Многолетний и годовой прогнозы характерных показателей графика нагрузки	189
7.3. Моделирование графиков нагрузки для годовых и месячных периодов	193
Глава 8. Адаптивность статистических моделей прогноза графиков нагрузки	197
8.1. Процесс адаптации	197
8.2. Общие положения расчета и порядок внесения поправок в статистические прогнозы ГН	200
8.3. Влияние температуры наружного воздуха на нагрузку	203
8.4. Методика внесения поправок на температуру наружного воздуха в статистический график нагрузки	206
8.5. Модель поправок на состояние облачности и методика ее использования при прогнозах нагрузки	212
8.6. Поправки в прогноз нагрузки на изменение частоты системы	220

8.7. Влияния электрических режимов работы межсистемных электрических сетей на потери мощности при прогнозах графиков нагрузки	221
8.8. Тестирование статистических моделей прогнозирования графиков нагрузки	225
Глава 9. Вероятностный анализ случайной составляющей при прогнозировании графиков нагрузки и электропотребления предприятий	232
9.1. Особенности прогнозирования ГН и электропотребления на предприятиях	232
9.2. Применение вероятностного анализа для процесса электропотребления и мощности нагрузки потребителей	235
9.3. Методические принципы применения положений теории вероятностей для анализа электропотребления и нагрузки	241
Глава 10. Ранговые модели структурного моделирования и прогнозирования мощностей сетевой компании	246
10.1. Основные положения рангового моделирования	246
10.2. Методика разработки ранговых моделей для прогнозирования нагрузок в узлах электрической сети	251
10.3. Ранговые модели мощностей электростанций, расположенных в генераторных узлах сетевой компании	259
10.4. Использование ранговых моделей для задач прогнозирования	260
Глава 11. Прогнозирование потерь электроэнергии в электрических сетях	264
11.1. Особенности прогнозирования потерь электроэнергии мощности в электрических сетях	264
11.2. Имитационные модели прогнозирования потерь электроэнергии и мощности в электрических сетях	271
11.3. Имитационная модель прогнозирования потерь мощности для сетевой компании	279
Глава 12. Прогнозирование выработки электроэнергии гидроэлектростанций в условиях неопределенности	289
12.1. Принципы прогнозирования при неопределенной информации о гидроресурсах	289
12.2. Вероятностная природа стока	293
12.3. Прогноз и адаптивное уточнение планов использования водных ресурсов ГЭС	298
12.4. Схема прогнозных расчетов по рациональному использованию гидроэнергетических ресурсов	303
Глава 13. Учет риска при прогнозировании	306
13.1. Неопределенность и риск	306
13.2. Факторы риска прогноза электропотребления	311
13.3. Основные виды рисков	315
13.4. Оценка рисков	319
13.5. Основные положения теории принятия решений	322
13.6. Риск-менеджмент	329

Глава 14. Примеры учета рисков при прогнозировании энергетических параметров	332
14.1. Пример идентификации факторов риска	332
14.2. Пример оценки рисков	336
14.3. Пример выбора решения с учетом величины риска	342
14.4. Пример оценки риска для разработки методов защиты	348
Заключение	352
Библиографический список	354
Предметный указатель	358

CONTENTS

Introduction	7
Section 1. METHODOLOGY OF ELECTRIC ENERGY AND POWER FORECASTING IN POWER SYSTEMS.....	9
Chapter 1. Forecasting in Production Management	11
1. Forecasting in management	13
Plans and forecasts 18	
The process of planning 22	
Strategic planning 24	
Peculiarities of an enterprise business process	28
Business environment 34	
The planning complex 36	
General notions of the role of forecasting in enterprise management	39
Chapter 2. Scientific Grounds of Forecasting	39
2.1. Methodological principles.....	39
2.2. Fundamentals of problem modeling.....	45
2.3. Structural models of a power system in solving problems of operation forecasting	47
2.4. A mathematical model of a problem	54
2.5. Information and its properties	58
2.6. Study of systems under uncertainty conditions	62
Chapter 3. Methods of Forecasting	67
3.1. General characteristics of forecasting methods.....	67
3.2. Brief statements of the probability theory	68
3.3. Expert techniques 77	
3.4. Regression analysis	84
3.5. A time series model	88
3.6. Rank models 91	
3.7. A technological method of forecasting	92
3.8. Application of artificial neural networks in power engineering	93
3.9. Statistical analysis 99	
Chapter 4. Forecasting of Power Consumption and Capacity in Long-Term Planning of Power Engineering Development	103
4.1. The role of power engineering in the country's economy.....	103
4.2. General notions of forecasting power engineering development	110
4.3. A mathematical model of forecasting and optimization of power systems	116
4.4. Methods of long-term forecasting of power consumption	120
4.5. Methods of forecasting power consumption in the region for the period of 5 years	122

4.6. Methods of forecasting power consumption in the region for the period of 10 years	129
4.7. Methods of forecasting power consumption in the region for the period of 20 years	137
Section 2. METHODS AND MODELS OF FORECASTING IN POWER SYSTEM OPERATION MANAGEMENT	141
Chapter 5. Forecasting Power Consumption in Current Planning of Power System Production Activity	143
5.1. Power system production activity	143
5.2. Models and methods of power consumption forecasting in current planning	147
5.3. Models of power consumption for the period of 1 year	150
5.4. A model of power consumption forecasting in a power system for a seasonal period.....	154
5.5. Modeling of power consumption for a 1 month period.....	156
5.6. Information technologies for forecasting net power flow	158
5.7. Expected monthly power consumption calculated based on a standard day	162
Chapter 6. Principles of Statistical Modeling and Forecasting of Power System Load Demands, Their Structure and Parameters	165
6.1. Peculiarities of using statistical models of load demands in power systems	165
6.2. Parametric properties of power system load demands	168
6.3. Methods of modeling of load demands and power consumption	175
6.4. A structural model of power system load demands based on load components	180
Chapter 7. Methods of Load Demand Forecasting	183
7.1. Power system load demand forecasting in solving operation problems	183
7.2. Annual and long-term forecasting of characteristic load demand parameters	189
7.3. Modeling of load demands for annual and monthly periods	193
Chapter 8. The Adaptability of Statistical Models of Load Demand Forecasting	197
8.1. The process of adaptation	197
8.2. General notions of load demand calculation and making corrections in statistical forecasts	200
8.3. Influence of the outer air temperature on the load.....	203
8.4. Methods of applying corrections for the outer air temperature to statistical load demands.....	206
8.5. A model of corrections for cloudiness and methods of its application to load forecasting	212
8.6. Corrections for power system frequency variations in load forecasts	220
8.7. Influence of electric operation conditions of intersystem electric networks on power losses in forecasting load demands	221
8.8. Testing statistical models of load demand forecasting	225
Chapter 9. The Probabilistic Analysis of a Random Component in Enterprise Load Demand and Power Consumption Forecasting	232
9.1. Peculiarities of forecasting enterprise load demand and power consumption	232
9.2. The application of a probabilistic analysis for the process of power consumption and load power of consumers	235

9.3. Methodological principles of using the probability theory in power consumption and load analysis	241
Chapter 10. Rank Models of Structural Modeling and Forecasting of a Network Company Capacity	246
10.1. Basic concepts of rank modeling	246
10.2. Methods of developing rank models to forecast loads in power network nodes	251
10.3. Methods of developing rank models based on the example of forecasting power in load nodes in a power network	259
10.4. Rank models of capacities of power plants located in generator sets of network companies	260
Chapter 11. Forecasting Electric Losses in Electric Networks	264
11.1. Peculiarities of forecasting electric and power losses in electric networks	264
11.2. Simulation models of forecasting electric and power losses in electric networks	271
11.3. Simulation models of forecasting power losses for network companies	279
Chapter 12. Forecasting Power Generation at Hydropower Plants under Uncertainty Conditions	289
12.1. Principles of forecasting capacities based on uncertain information about water resources	289
12.2. A stochastic nature of a power flow	293
12.3. Forecasting and adaptive updating of plans of using hydropower plant water resources	298
12.4. A predictive calculation pattern of hydropower resource rational use	303
Chapter 13. Risk Analysis in Focasting	306
13.1. Assessment of uncertainty in management	306
13.2. Risk factors in forecasting power consumption	311
13.3. Major risk types	315
13.4. Risk assessment	319
13.5. Basic concepts of the decision making theory	322
13.6. Risk management	329
Chapter 14. Practical Examples of Risk Analysis in Forecasting Power Parameters	332
14.1. An examples of risk factor identification	332
14.2. An example of risk assessment	336
14.3. An example of decision making with an allowance for a risk level	342
14.4. An example of risk assessment for protection method development	348
References	354
Subject Index	358