

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

А.В. ЛЫКИН

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

3-е издание

Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2013

УДК 621.311.001.57(075.8)  
Л 883

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.Я. Любченко*;  
канд. техн. наук, доцент *А.Г. Русина*

Работа подготовлена на кафедре  
автоматизированных электроэнергетических систем для студентов,  
обучающихся по направлению 140200 «Электроэнергетика»

**Лыкин А.В.**

Л 883 Математическое моделирование электрических систем и их элементов : учеб. пособие / А.В. Лыкин. – 3-е изд. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – 227 с.

ISBN 978-5-7782-2262-5

В учебном пособии изложены методологические основы моделирования объектов и процессов при решении задач электроэнергетики. Рассматриваются три уровня представления математических моделей: микро- макро- и метауровень. Приводятся примеры моделирования основных объектов электроэнергетических систем в задачах, связанных с анализом установившихся режимов электрических сетей. Дано описание подходов к прогнозированию электропотребления и нагрузки энергосистем с использованием различных моделей. Приводятся методы построения математических моделей, выбора их структуры и вычисления параметров моделей. Примеры использования и исследования математических моделей даны в системе Mathcad.

Пособие может быть полезно студентам, обучающимся по другим направлениям.

УДК 621.311.001.57(075.8)

ISBN 978-5-7782-2262-5

© Лыкин А.В., 2003, 2009, 2013

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2003, 2009, 2013

## Оглавление

Предисловие .....	3
1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.....	5
1.1. Решение задач и моделирование .....	5
1.2. Классификация моделей .....	7
1.3. Переменные в математических моделях .....	10
1.4. Адекватность и эффективность математических моделей .....	15
1.5. Свойства объектов моделирования.....	18
1.6. Математические модели на микроуровне .....	22
1.7. Моделирование на макроуровне .....	25
1.8. Моделирование на метауровне.....	29
2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС.....	32
2.1. Линия электропередачи .....	32
2.1.1. Конструктивное выполнение и свойства линии электропередачи.....	32
2.1.2. Математическая модель линии с распределенными параметрами.....	34
2.1.3. Математические модели линии в виде схем замещения.....	40
2.1.4. Упрощенные модели ЛЭП.....	48
2.2. Силовой трансформатор .....	53
2.2.1. Конструктивное выполнение и принцип действия силового трансформатора.....	53
2.2.2. Электрические и магнитные свойства и параметры силового трансформатора.....	56

2.2.3. Математические модели силового трансформатора.....	58
2.2.4. Г-образная и П-образная схемы замещения силового трансформатора.....	61
2.2.5. Построение внешней характеристики трансформатора.....	64
2.3. Электрическая нагрузка.....	71
2.3.1. Статические характеристики электрической нагрузки.....	71
2.3.2. Моделирование электрических нагрузок.....	77
<b>3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....</b>	<b>87</b>
3.1. Основы теории графов.....	87
3.2. Применение теории графов для моделирования электрических сетей.....	92
3.3. Матричные формы моделей электрических сетей и их режимов.....	96
3.4. Узловые уравнения установившегося режима.....	98
3.5. Формы линейных уравнений установившегося режима и их решение.....	105
3.6. Нелинейные уравнения установившегося режима.....	109
3.7. Моделирование генераторных узлов электрической сети.....	116
3.8. Эквивалентирование схем электрических сетей.....	123
3.9. Моделирование схем электрических сетей с помощью четырех- полюсников.....	129
3.10. Использование четырехполюсников для эквивалентирования схем электрических сетей.....	132
<b>4. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ.....</b>	<b>145</b>
4.1. Процесс описания объектов моделирования.....	145
4.2. Аналитический метод построения математических моделей.....	149
4.3. Методы идентификации технических объектов.....	151
4.4. Выбор структуры математической модели и вычисление ее параметров.....	157
<b>5. МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....</b>	<b>169</b>
5.1. Физические процессы и их характеристики.....	169
5.1.1. Классификация физических процессов.....	169

5.1.2. Детерминированные процессы.....	171
5.1.3. Случайные процессы.....	176
5.2. Методологические основы прогнозирования .....	180
5.3. Экспоненциальная модель прогнозирования.....	183
5.4. Логистическая модель прогнозирования.....	185
5.5. Прогнозирование случайных процессов .....	196
5.6. Прогнозирование суточных графиков нагрузки.....	201
5.7. Анализ временных рядов .....	205
Библиографический список.....	214
Приложение 1. Глоссарий .....	216
Приложение 2. Таблицы соотношений коэффициентов четырехполосников, параметров элементов ЭЭС и параметров П-образной схемы замещения.....	222