

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**



**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

Ставрополь  
«АГРУС»  
2014

УДК 621.311.001.57(07)

ББК 22.1

М74

**Авторский коллектив:**

*А. Ф. Шаталов, И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко,  
И. К. Шарипов, С. В. Аникуев*

**Рецензенты:**

доцент кафедры автоматизации, электроники и метрологии  
Ставропольского ГАУ, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

*Ш. Ж. Габриелян;*

доцент кафедры применения электрической энергии  
в сельском хозяйстве Ставропольского ГАУ,  
кандидат технических наук, доцент

*С. Н. Антонов*

**М74 Моделирование в электроэнергетике** : учебное пособие / А. Ф. Шаталов, И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко и др. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. – 140 с.

ISBN 978-5-9596-1059-3

Изложены основные принципы построения математических моделей в задачах исследования физических процессов, решение задачи расчета установившихся режимов и анализа статической устойчивости электроэнергетических систем, а также задач синтеза и анализа логических схем, практические навыки использования современных методов компьютерного моделирования, в частности в программных системах Mathcad, Microsoft Excel, Electronics Workbench.

Подготовлено в соответствии с основной образовательной программой подготовки бакалавра по направлениям 140400 «Электроэнергетика и электротехника» и 110800 «Агроинженерия».

Курс рассчитан на студентов всех форм обучения, его информационное содержание достаточно для изучения дисциплины в объеме, предусмотренном стандартами высшего профессионального образования.

**УДК 621.311.001.57(07)**

**ББК 22.1**

**ISBN 978-5-9596-1059-3**

© ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный  
аграрный университет, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение курса «Моделирование в электроэнергетике» позволяет сформировать у студентов целостное представление о моделировании как методе познания окружающего мира.

В данном курсе изучаются основные разделы прикладной математики, которые находят наибольшее применение при решении базовых задач электроэнергетики. Это позволяет связать математику как общетеоретическую науку с ее применением в инженерной практике и научных исследованиях, сформировать грамотный технический подход к решению инженерных и научных проблем, а также подготовить студента к более глубокому и критическому восприятию специальных дисциплин.

В пособии изложены основные принципы построения математических моделей в задачах исследования физических процессов, а также проектирования и управления техническими объектами. В частности, к ним относятся исследование физических процессов в длинных линиях на основе моделей микроуровня, решение задачи расчета установившихся режимов и анализа статической устойчивости ЭЭС на основе моделей макроуровня, а также задач синтеза и анализа логических схем с использованием моделей метауровня.

Особое внимание уделено получению практических навыков использования современных методов компьютерного моделирования, в частности в программных системах *Mathcad*, *Microsoft Excel*, *Electronics Workbench*.

# 1. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

**Цель работы.** Применение различных видов моделей при решении электротехнических задач в среде *Mathcad* и *Electronics Workbench*. Исследование возможностей графического моделирования для представления процессов и функций в среде *Mathcad* и *Excel*.

## 1.1. Краткие теоретические сведения

Моделирование представляет собой универсальный и эффективный метод познания окружающего мира. Процесс решения любой задачи неразрывно связан с формированием того или иного вида модели [1, 2].

*Модель* – это материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя при этом наиболее типичные его черты, характерные для решаемой задачи.

При построении модели учитываются только те факторы, которые наиболее существенны для проводимого исследования. Следовательно, *фундаментальным свойством модели* является то, что она всегда беднее объекта-оригинала.

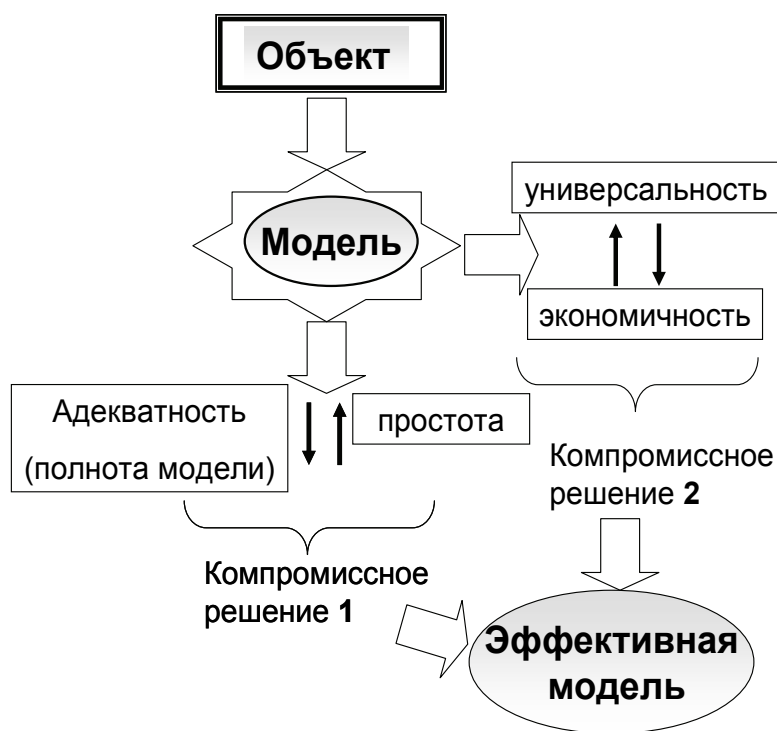
*Использование модели позволяет:*

- понять, как устроен реальный объект, каковы его структура, свойства, законы развития и взаимодействия с окружающим миром;
- научиться управлять объектом (процессом), выбрать наилучший способ управления при заданных целях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект.

Эффективная модель должна обладать рядом свойств, таких как [4]:

- *адекватность* – степень соответствия объекту-оригиналу (полнота модели);
- *универсальность* – применимость модели к анализу многочисленной группы объектов и решения широкого класса задач;
- *экономичность* – количество вычислительных ресурсов, которые необходимы для реализации модели.

Формирование модели – сложный творческий процесс, который требует от исследователя опыта, интуиции, глубокого знания предметной области и возможностей современной компьютерной техники для принятия компромиссных решений и получения эффективной модели (рис. 1.1).



**Рис. 1.1 - Процедура формирования эффективной модели**

Модели можно классифицировать по ряду признаков, например по способу представления модели подразделяются на материальные и идеальные [1, 2, 4, 5].

К *материальным* можно отнести, в частности, *физические модели*, которые представляют собой увеличенную или уменьшенную копию объекта-оригинала. При этом допускается исследование свойств с последующим переносом их на реальный объект на основе теории подобия.

*Идеальные* включают в себя образные (иконические), вербальные (словесные), знаковые модели. К *знаковым*, в частности, относятся графические и математические модели. *Графические модели* позволяют с помощью графики отобразить существенные свойства объекта. *Математические модели* позволяют описать свойства объекта на языке математики для решения различных исследовательских задач.

В лабораторной работе исследуются возможности применения различных форм моделей для решения электротехнических задач с помощью универсальных и специализированных программных систем, таких как *Mathcad*, *Electronics Workbench* и *Microsoft Excel*.

## **1.2. Задание на выполнение лабораторной работы**

1. В качестве исходных данных задана схема электрических соединений по вариантам (табл. 1.1, рис. 1.2.1 и 1.2.2).

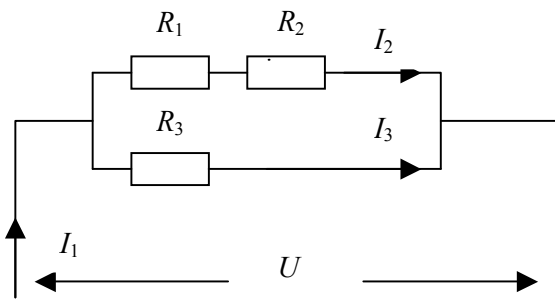
- Сформировать физическую модель в виде электрической схемы в *Electronics Workbench* и измерить значения токов  $I_1, I_2, I_3$ . Краткое описание принципов работы в среде *Electronics Workbench* представлено в приложении 1.

- Сформировать математическую модель, используя законы Ома и Кирхгофа и рассчитать значения токов  $I_1, I_2, I_3$  (в письменной форме) и в среде *Mathcad* (приложение 4).

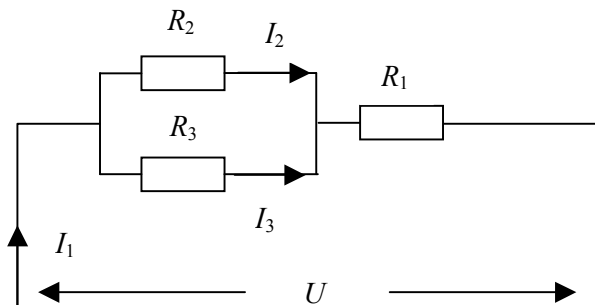
- Сравнить результаты, полученные с помощью физической и математической моделей.

**Таблица 1.1 – Варианты индивидуальных заданий**

Номер варианта	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$U$	Номер схемы
1	10	15	20	220	1.2.1
2	8	16	5	32	1.2.2
3	9	14	19	220	1.2.1
4	7	15	4	32	1.2.2
5	11	16	21	220	1.2.1
6	10	18	7	32	1.2.2
7	10	17	12	220	1.2.1
8	5	8	15	32	1.2.2
9	12	17	22	220	1.2.1
10	6	14	3	32	1.2.2
11	3	4	5	220	1.2.1
12	10	11	7	32	1.2.2



**Рис. 1.2.1**



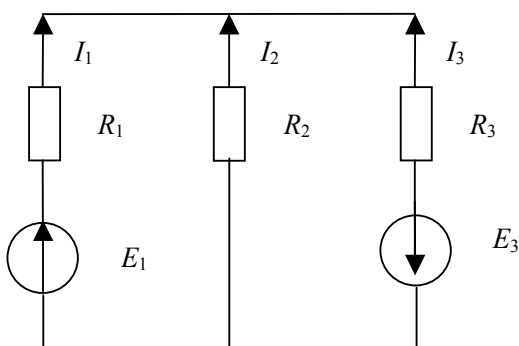
**Рис. 1.2.2**

2. В качестве исходных данных задана схема электрических соединений (табл. 1.2, рис. 1.2.3, 1.2.4).

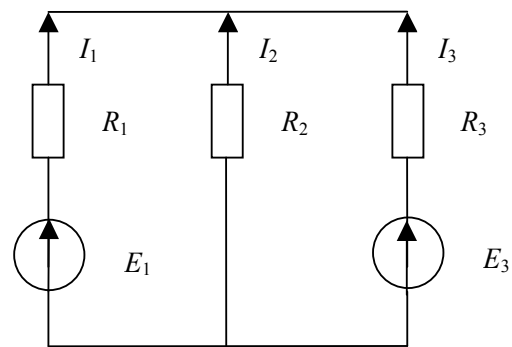


**Таблица 1.2 – Варианты индивидуальных заданий**

Номер варианта	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$E_1$	$E_3$	Номер схемы
1	7	4	8	20	15	1.2.3
2	2	6	3	12	15	1.2.4
3	6	3	7	20	15	1.2.3
4	4	8	5	12	15	1.2.4
5	8	5	9	20	15	1.2.3
6	3	7	4	12	15	1.2.4
7	5	2	6	20	15	1.2.3
8	3	2	7	12	15	1.2.4
9	9	6	10	20	15	1.2.3
10	4	5	8	12	15	1.2.4
11	11	10	7	20	15	1.2.3
12	4	9	5	12	15	1.2.4



**Рис. 1.2.3**



**Рис. 1.2.4**

• Сформировать математическую модель в виде системы уравнений на основе первого и второго законов Кирхгофа и рассчитать значения токов  $I_1, I_2, I_3$  в среде Mathcad двумя способами:

⇒ с использованием конструкции  $\{Given.....Find\}$ ;

⇒ с использованием матричного метода (принцип работы изложен в приложении 4).

- Сформировать физическую модель в виде электрической схемы в *Electronics Workbench* и измерить значения токов  $I_1, I_2, I_3$ .

3. Задано уравнение, моделирующее переходные процессы в электрической системе:

$$f(t) = \frac{k \cdot \exp(0.11t + 2)}{(13 + t)} \sin(t) \quad (1.1)$$

$$f1(t) = \frac{k \cdot \exp(0.11t + 2)}{(10 + t)} \sin(t) \quad (1.2)$$

- Сформировать графическую модель в среде *Mathcad*, построив графики переходных процессов на интервале времени  $t=0...10$ , если коэффициент  $k$  принимает два возможных значения:  $k_1 = 20, k_2 = 50$ .

4. Заданы статистические данные о нагрузке предприятия (табл. 1.3).

**Таблица 1.3 – Варианты индивидуальных заданий**

**Вариант № 1**

Час	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Р, МВт	112	15 4	13 6	174	20 5	27 5	19 0	25 4	26 9	210	17 3	157	14 8

**Вариант № 2**

Час	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	2 2	24
Р, МВт	80	87	82	103	127	134	115	140	143	124	109	93	89

- Построить график нагрузки в среде *Microsoft Excel*. Проанализировать возможности работы с графическими моделями, которые предоставляет *Microsoft Excel*.

- Определить значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения нагрузки на заданном интервале, используя встроенные функции *Microsoft Excel*.

### **Вопросы к лабораторной работе:**

1. Определение математического моделирования.
2. Что такое математическая модель?
3. Что такое физическая модель?
4. Отличие материальных и идеальных моделей.
5. Свойства эффективной модели.
6. Процедура формирования эффективной модели.

## 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ И УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

**Цель работы:** научиться моделировать свободные и вынужденные установившиеся процессы в линейной цепи первого порядка используя пакет MathCAD. На основании полученной модели выяснить влияние параметров цепи на режим ее работы. Сделать выводы о погрешностях моделирования и об адекватности модели.

### 2.1. Краткие теоретические сведения

Под **переходным (динамическим, нестационарным) процессом или режимом** в электрических цепях понимается процесс перехода цепи из одного установившегося состояния (режима) в другое. При установившихся, или стационарных, режимах в цепях постоянного тока напряжения и токи неизменны во времени, а в цепях переменного тока они представляют собой периодические функции времени. Установившиеся режимы при заданных и неизменных параметрах цепи полностью определяются только источником энергии. Следовательно, источники постоянного напряжения (или тока) создают в цепи постоянный ток, а источники переменного напряжения (или тока) – переменный ток той же частоты, что и частота источника энергии.

Переходные процессы возникают при любых изменениях режима электрической цепи: при подключении и отключении цепи, при изменении нагрузки, при возникновении аварийных режимов (короткое замыкание, обрыв провода и т.д.). Изменения в электрической цепи можно представить в виде тех или иных переключений, называемых в общем случае коммутацией. Физически переходные процессы представляют

## ОГЛАВЛЕНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Применение математического моделирования для решения электротехнических задач .....	4
2 Моделирование переходных и установившихся режимов в электрической цепи первого порядка.....	11
3 Моделирование процессов в зарядки конденсатора в цепи однополупериодного выпрямителя.....	18
4 Расчет установившегося режима электроэнергетических систем на основе линейных математических моделей.....	24
5 Простейшие модели случайных и детерминированных систем .....	33
6 Математические методы анализа статической устойчивости установившихся режимов ЭЭС.....	49
7 Математические модели метауровня. Синтез и анализ логических схем.....	60
8 Моделирование процессов в электрической цепи с нелинейным элементом.....	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	77
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	79
<i>Приложение 1. Основные приемы работы с программой Electronics Workbench.</i> .....	80

<i>Приложение 2. Пример классического метода расчета переходных процессов.....</i>	85
<i>Приложение 3. Включение цепи с резистором и катушкой на синусоидальное напряжение.....</i>	88
3.1 Включение цепи с резистором и конденсатором на синусоидальное напряжение.....	90
<i>Приложение 4. Система Mathcad. Назначение и состав системы. Входной язык и язык реализации системы. Основные объекты входного языка системы Mathcad.....</i>	92

---

Подписано в печать 10.11.2014. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Bookman». Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,1. Тираж 200 экз. Заказ № 460/1.

*Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93-953000*

Издательство Ставропольского государственного аграрного университета «АГРУС»,  
355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина,15. Тел/факс: (8652) 35-06-94. E-mail: agrus2007@mail.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии  
издательско-полиграфического комплекса СтГАУ «АГРУС», г. Ставрополь, ул. Пушкина, 15.