

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВПО «АмГУ»)

Методы моделирования и оптимизации в задачах электроэнергетики

Учебное пособие

составитель Л.А. Гурина

БЛАГОВЕЩЕНСК 2012

ББК 31я73

М 54

Методы моделирования и оптимизации в задачах электроэнергетики:
учебное пособие/ сост. Л.А. Гурина. – Благовещенск, 2012. – 91 с.

В учебном пособии приведены краткие теоретические сведения по видам обеспечения задач электроэнергетики, необходимые для выполнения практических заданий, а также контрольных работ по дисциплине «Основы научных исследований». Приведены примеры задач и даны их решения.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Рецензент: Н.В. Савина, д.т.н., профессор.

©Гурина Л.А., составитель, 2012

©Амурский государственный университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	6
1.1. Уровни абстрагирования и аспекты описаний исследуемых объектов.	6
1.2. Задачи научных исследований в электроэнергетике.....	11
Упражнения и задачи для самопроверки.....	113
2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	14
2.1. Информационная модель электроэнергетической системы.....	15
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	24
3.1. Математические модели объектов исследования.....	25
3.2. Методы и алгоритмы анализа	29
3.3. Математические модели элементов энергосистемы	30
3.4. Схемотехническое проектирование	36
3.5. Метод планирования эксперимента и обработка его результатов.....	40
3.5.1. Основные понятия и определения.....	40
3.6. Общие вопросы оптимизационных задач.....	52
3.6.1. Задача оптимизации.....	52
3.6.2. Методы дифференцирования целевой функции.....	54
3.6.3. Методы линейного программирования	59
3.6.4. Методы нелинейного программирования	71
Упражнения и задачи для самопроверки.....	77
4.УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	82

4.1. Пример комплексного решения задачи на практических занятиях.....	84
4.2. Контрольные задания.....	84
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91

Введение

Традиционная инженерная деятельность по проведению анализа функционирования объектов электроэнергетики связана с решением совокупности разнообразных задач по исследованиям, расчету, проведению экспериментов, оформлению конструкторской документации и т.п. При этом инженер должен научиться пользоваться всей совокупностью современных информационных и математических технологий. Следовательно, изучение основ научных исследований должно включать в себя приобретение студентами навыков выбора и использования моделей, алгоритмов, методов, языков, программ и технических средств обработки информационных потоков. Данное учебно-методическое пособие предназначено для выполнения этой задачи в процессе практических занятий, а также и самостоятельной работы студентов.

Успешная инженерная деятельность при автоматизированном управлении функционированием электроэнергетических систем, в первую очередь, подразумевает знание математического обеспечения. От инженера требуется умение сформулировать задачу, выделить исходные данные и результаты выполнения вычислительных процедур, принять решение по использованию той или иной модели из имеющихся библиотек математических моделей элементов и узлов, того или иного метода из библиотек численных методов анализа и синтеза, установить приемлемость полученных решений.

В пособии дано краткое, но систематическое изложение сведений о методах и средствах, относящихся к различным иерархическим уровням и аспектам автоматизированного управления в электроэнергетике. Особое внимание уделено прикладному математическому обеспечению решения задач в электроэнергетике, имеющему свои индивидуальные и характерные особенности.

Для развития соответствующих навыков в учебное пособие включены задачи и упражнения по использованию численных методов анализа и оптимизации, по постановке задач и формулировке исходных данных для выполнения операций и процедур по разработке математических моделей исследуемых объектов.

1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

1.1. Уровни абстрагирования и аспекты описаний исследуемых объектов.

Большинство видов вопросов, рассматриваемых в электроэнергетике, относятся к сложным системам, их исследование характеризуется высокой размерностью задач, наличием большого числа возможных вариантов решения, необходимостью учета разнообразных влияющих факторов. Исследование сложных систем основано на блочно - иерархическом подходе, сущность которого состоит в расчленении представлений об объекте изучения, включая модели, постановки задач, необходимую информационную базу и т.п., на ряд *иерархических уровней*, иначе называемых *уровнями абстрагирования*. Цель расчленения - замена малого числа задач чрезмерной сложности большим числом задач допустимой сложности.

Кроме декомпозиции представлений об объекте по степени детализации на иерархические уровни, применяют расчленение представлений об объекте по характеру отражаемых свойств объекта на ряд *аспектов*. Аспект, связанный с описанием принципов действия и процессов функционирования объекта, называют *функциональным*.

В *технологическом* аспекте рассматриваются иерархические уровни описания технологических процессов в виде принципиальных схем, маршрутов, совокупности операций и переходов.

Алгоритм научного исследования. Термин «научные исследования» (НИ) охватывает все процессы: от зарождения идеи до ее воплощения в виде

новых теорий, веществ, материалов, продуктов, процессов, технологий, устройств, образцов техники и является синонимом термина «научная деятельность».

Выполнение научных исследований - это, образно говоря, элементарный акт в науке, так как только с их помощью может произойти переход от более низкого уровня знаний к более высокому.

Научные исследования - это постоянный вид человеческой деятельности, так как законы философии говорят, что мир познаваем, а наши научные знания его, несмотря на их истинность, являются относительными.

С философских позиций все **методы научных исследований** можно условно разделить на следующие группы: **всеобщие** (действующие во всех областях науки и на всех этапах научных исследований), **общенаучные** (т.е. для всех отраслей науки), **частные** (т.е. для определенных наук), **специальные** или **специфические** (для данной науки). Такое разделение методов всегда условно, так как по мере развития метода он может переходить из одной категории в другую.

К всеобщему методу научных исследований относят материалистическую диалектику, а к общенаучным методам - *наблюдение, сравнение, счет, измерение, эксперимент, обобщение, абстрагирование, формализацию, анализ, синтез, индукцию, дедукцию, аналогию, моделирование, идеализацию и др.*

Большинство методов научных исследований можно подразделить на *теоретические* и *эмпирические* [1].

К **эмпирическим методам** относят **наблюдение** и **эксперимент**.

Процесс научного исследования всегда проходит определенные этапы вне зависимости от содержания, области деятельности и личных склонностей исследователя. В этом смысле говорится об алгоритме научного исследования (рис.1.1).

Рис. 1.1. Алгоритм научного исследования

Рассмотрим сущность каждого из этого этапов.

1. Объект. Имеется в виду выбор объекта с возможными ограничениями с учетом двух обстоятельств:

- практическая необходимость или важность определенных объектов;
- ограничение времени.

Важно осознать, что под объектом научного исследования не следует понимать предмет или вещь, которую можно «подержать руками». Предметом науки может быть весьма нематериальная «субстанция», например, алгоритм, метод, принцип.

2. Задача. Имеется в виду выбор задачи. Число различных задач, которые можно выделить даже на уже выбранном объекте исследования, практически не ограничено. Однако, существует четыре типа задач, в чем не трудно убедиться, если обратить внимание на то, что любой объект исследования что-либо потребляет и что-либо вырабатывает. Этими «что-либо» могут быть вещество, энергия или информация. Любой объект исследования (рис. 2) имеет «входы» $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$, «выходы» $(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_M)$, внешние воздействия $(T_1, T_2, T_3, \dots, T_K)$ и правило F преобразования входных величин в выходные.

Рис. 1.2. Объект исследования

Обозначив соответствующие совокупности через X, Y, T , работу любого объекта можно записать в виде

$$Y = F(X, T).$$

Определим четыре основные задачи при исследовании любого объекта.

В задаче *анализа* даны входные воздействия и правило их переработки. Необходимо найти выходной результат.

В задаче *синтеза* даны входные воздействия и необходимый выходной результат. Необходимо определить правило и структуру объекта.

В задаче *коррекции* даны X и требуемые «выходы» Y . Требуется определить только некоторые поправки к X .

Задача *устойчивости* состоит в определении работоспособности системы в реальных условиях.

3. Модель. Объекты природы слишком сложны, чтобы производить на них непосредственно теоретические или экспериментальные исследования. Наука работает не с объектами, а с их моделями, и лишь результаты научных исследований проверяются на объектах.

4. Формулировка задачи. Сформулировать или поставить задачу – значит строго определить систему количественных взаимосвязей между заданными и искомыми переменными. При этом некоторые взаимосвязи, вид которых не ясен, допустимо обозначать в виде функций и функционалов.

5. Решение. Решение задачи состоит в раскрытии взаимосвязей переменных, которые на этапе постановки были обозначены неопределенными

зависимостями, а также в фактическом решении системы уравнений, полученных на этапе постановки.

6. Экспериментальная проверка. Никакое научное исследование не может считаться завершенным без экспериментальной проверки результатов.

Основными причинами этого являются:

- отсутствие уверенности в достаточной полноте принятой нами модели объекта;
- отсутствие уверенности в допустимости пренебрежений, сделанных на этапах постановки задачи и ее решения;
- возможность появления ошибок при выполнении этапа решения.

Экспериментальная проверка может дать два принципиальных различных результатов.

В первом случае результаты эксперимента подтверждают теорию с достаточной для практики точностью. Исследование при этом может считаться законченным, а его результаты передаваться для использования, что обозначено на рис. 1.2 словом «да».

Во втором случае может иметь место неприемлемое расхождение. При этом необходимо повторить цикл исследований, что отражено на рис. 2 стрелкой по этапу уточнения модели.

Классификация параметров исследуемых объектов. В описаниях исследуемых объектов фигурируют параметры и переменные, которые делятся на следующие группы:

фазовые переменные - величины, характеризующие физическое или информационное состояние объекта;

выходные параметры - величины, характеризующие свойства системы;

внутренние параметры - величины, характеризующие свойства элементов;

внешние параметры - величины, характеризующие свойства внешней по отношению к исследуемому объекту среды;

ограничения выходных параметров - граничные значения допустимых по ТЗ диапазонов изменения выходных параметров.

Примерами переменных и параметров перечисленных групп применительно к электроэнергетической системе (ЭЭС) могут служить: фазовые переменные - напряжения и токи всех ветвей, рассматриваемые как функции времени и частоты; выходные параметры - потребляемая мощность, коэффициент мощности, динамический диапазон нагрузки; внутренние параметры - сопротивления элементов сети, проводимости; внешние параметры - напряжения источников питания, температура окружающей среды, климатические условия; ограничения - верхняя граница допустимого диапазона значений потребляемой мощности, нижняя граница тока возбуждения генератора [1].

1.2. Задачи научных исследований в электроэнергетике

Ниже приводятся общие сведения о назначении и составе нескольких из числа наиболее значимых решаемых научно-исследовательских задач в электроэнергетике (табл. 1.1) [1].

Таблица 1.1. Примерный обобщенный перечень научно-исследовательских задач в электроэнергетике

№ п/п	Наименование выполняемых функций	Исполнитель
1	2	3
1	Получение ситуационного плана, генерального плана, технических условий энергосистемы, электрических нагрузок, категорий производств, условий окружающей среды и других исходных данных	инженер
2	Анализ, дополнение и уточнение исходной информации (принятия напряжений для электроприемников, распределение электроприемников по категориям и т.п.)	инженер
3	Предварительное определение годового расхода электроэнергии и максимальных нагрузок	ЭВМ
4	Выбор напряжений питающих и распределительных электрических сетей	ЭВМ
5	Распределение нагрузок по подстанциям (п/ст)	инженер
6	Автоматизированное формирование вариантов схемы сети	ЭВМ,

		инженер
7	Задание местоположения источников питания системы, способа передачи электроэнергии, задание трассы линий, технических ограничений	ЭВМ
8	Расчет электрических нагрузок по подстанциям, решение вопроса о необходимости применения промежуточных трансформаций	ЭВМ
9	Выбор числа и мощности трансформаторов, выбор числа подстанций	ЭВМ
10	Определение теоретических координат местоположения подстанций на генплане	ЭВМ
11	Формирование графа схемы сети	ЭВМ
12	Определение реальных координат подстанций по условиям генплана и ввод их в ЭВМ	инженер
13	Формирование схемы замещения сети, определение длин и выбор сечений линий	ЭВМ
14	Предварительный расчет токов к.з., выбор токоограничивающих реакторов	ЭВМ
15	Выбор марок линий, корректировка сечений линий по условию термической стойкости	ЭВМ
16	Окончательный расчет токов к.з., выбор основного оборудования	ЭВМ
17	Расчет потоков мощностей и уровней напряжения в точках схемы в нормальном и послеаварийном режимах работы системы	ЭВМ
18	Определение границ действия РПН трансформаторов или АРН ТЭЦ	ЭВМ
19	Определение показателей качества напряжения. Разработка мероприятий по доведению показателей качества до нормируемых ГОСТом	ЭВМ
20	Расчет потерь мощности и электроэнергии в сетях энергосистем и предприятий	ЭВМ
21	Выбор средств и мест расположения компенсирующих устройств	ЭВМ
22	Расчет капитальных и приведенных затрат по рассматриваемым вариантам	ЭВМ
23	Расчет надежности систем электроснабжения	ЭВМ
24	Расчет ущерба от перерыва электроснабжения, расчет приведенных затрат с учетом ущерба	ЭВМ
25	Вычерчивание вариантов схем	ЭВМ
26	Технико - экономическое сравнение вариантов схем и выбор оптимального	инженер
27	Разработка компоновок, электротехнических помещений	ЭВМ

28	Вычерчивание схемы выбранного варианта	ЭВМ
29	Расчет однофазного тока к.з. на землю и выбор способа заземления нейтрали	ЭВМ
30	Выбор мощности, определения места установки и типа устройств компенсации емкостного тока	ЭВМ
31	Расчет релейной защиты	ЭВМ
Функциональная схема проектирования электрических сетей		
32	Определение сметной стоимости строительства	ЭВМ
33	Согласование размещения электропомещений и трасс электроэнергии на плане	инженер
34	Вычерчивание генерального плана с расположением подстанций	ЭВМ, инженер
35	Вычерчивание ситуационного плана района, энергосистемы с размещением подстанций и линий	ЭВМ, инженер

Упражнения и задачи для самопроверки.

1. Дайте определение понятий “научное исследование”, “уровень описания объекта”, “аспект описания объекта”, “этапы алгоритма научного исследования”.
2. Приведите пример иерархической структуры представлений о сложном техническом объекте (например, трансформаторе, генераторе, ЭВМ, ЛЭП, энергосистеме).
3. К какой группе параметров (выходных, внутренних или внешних) относятся следующие величины, фигурирующие в описании:

электрического генератора: мощность, диаметр проводника обмотки возбуждения, КПД, нагрузка генератора;

ЛЭП: пропускная способность, сопротивление, протяженность, напряжение, нагрузка.
4. В чем состоит отличие фазовых переменных от выходных параметров? Приведите примеры отношений между фазовыми переменными и выходными параметрами.
5. Что называют структурой объекта?