**Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева**

**Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова**

Диссертационный совет **Д 05.18.584**

На правах рукописи

УДК: 681.5

**Осмонова Рима Чынарбековна**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ**

Специальность **05.13.16 - применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям наук)**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Бишкек – 2019**

**Работа выполнена** в Институте физико-технических проблем и материаловедения Национальной академии наук Кыргызской Республики

**Научный руководитель: Оморов Туратбек Турсунбекович**, доктор технических наук, член-корреспондент НАН КР, лауреат Государственной премии КР, Заслуженный деятель науки КР, заведующий лабораторией «Адаптивные и интеллектуальные системы» Института машиноведения и автоматики НАН КР

**Официальные оппоненты:** **Бийбосунов Бекболот Ильясович**, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой информатики КГУ им.И.Арабаева,

**Уралиев Алымбек Асиевич,** к. ф.-м.н., доцент кафедры дифференциальных уравнений КНУ им.Баласагына.

**Ведущая организация:** Ошский государственный университет, кафедра информатики, 723500, г. Ош, ул. Ленина, 331.

Защита состоится 15 ноября 2019 года в 1600 часов на заседании Межведомственного диссертационного совета Д 05.18.584 при Кыргызском государственном университете им. И. Арабаева и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова по адресу: 720026, г. Бишкек, ул. Раззакова, 51, корпус №1, зал заседаний, веб-сайт: [www.arabaev.kg](http://www.arabaev.kg).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного университета имени И. Арабаева и Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова по адресам: 720026, г. Бишкек, ул. Раззакова, 51 и 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66.

Автореферат разослан 14 октября 2019 г.

Ученый секретарь Межведомственного

диссертационного совета Д 05.18.584,

кандидат технических наук, доцент  Исраилова Н.А.

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы**. Проектирование и создание широкого класса управляемых технических и технологических объектов различного назначения в качестве основных этапов предусматривает этап идентификации их математических моделей. Последние при этом используются для решения большого круга задач на основе данных «вход-выход». В частности, при проектировании систем автоматического управления (САУ) модели объектов автоматизации используются для: исследования устойчивости проектируемых САУ; синтеза регуляторов систем управления; компьютерного моделирования совместного функционирования объекта управления и синтезированного регулятора; анализа качества процесов управления. При создании АСУ ТП на основе математического описания объектов автоматизации, например, решаются задачи: разработки алгоритмического и специального программного обеспечения функциональных подсистем АСУ ТП; идентификации параметров и переменных состояния управляемых объектов, недоступных для измерения и контроля; проведения вычислительных экспериментов по оценке показателей качества и эффективности проектируемых систем управления.

В диссертационной работе в качестве объектов исследования рассматриваются динамические управляемые системы, модели которых определяются на основе данных «вход-выход», а также распределительные электрические сети (РЭС), которые являются конечными звеньями при передаче электроэнергии ее потребителям. Предполагается, что РЭС функционируют в условиях несимметрии токов и напряжений, что приводит к определенным сложностям при построении их моделей и идентификации их параметров. Модели трехфазной РЭС, учитывающие фактор несимметрии, в настоящее время разработаны в недостаточной степени, что не позволяет диагностику состояний проводов трехфазной сети с целью определения уровня их износа. В связи с изложенным разработка методов и алгоритмов идентификации моделей указанного класса объектов управления является актуальной задачей.

**Связь темы диссертации с научными программами (проектами).** Диссертационная работа выполнена в Институте физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской Республики в рамках проектов фундаментальных исследований:

1. «Разработка инновационных технологий для создания автоматических и информационных систем управления и контроля».

2. «Методы и технологии автоматического управления и информационной системы энергоучёта».

3. «Разработка методов управления и информационных технологий для создания автоматизированных систем».

**Цель и задачи исследований. Целью** диссертационной работы является развитие методов и алгоритмов параметрической идентификации управляемых систем и их использование в задачах автоматизации технических объектов.

**Задачи исследований:**

* + - * анализ современного состояния проблемы идентификации моделей управляемых технических систем;
* формализация подхода к параметрической идентификации управляемых динамических систем на основе заданных критериальных условий;
* разработка моделей и методов параметрической идентификации линейных непрерывных и дискретных стационарных объектов управления, описываемых передаточными функциями и импульсными переходными функциями (ИПФ) на основе разработанного подхода;
* разработка методов идентификации параметров трехфазной распределительной электрической сети (РЭС) напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в ней по данным АСКУЭ;
* разработка программных средств для целей параметрической идентификации параметров РЭС и их применение для решения прикладных задач.

**Методы исследования.** В работе использованы методы математического анализа, дифференциальных уравнений, теории автоматического управления и электротехники. Для исследования эффективности разработанных методов и алгоритмов параметрической идентификации управляемых систем использованы технологии компьютерного моделирования.

**Научная новизна полученных результатов** состоит в разработке новых конструктивных методов и алгоритмов параметрической идентификации технических объектов, направленных на развитие теории идентификации управляемых систем и их использование в задачах автоматизации и управления техническими объектами.

**Практическая значимость результатов работы.** Разработанные в диссертации модели, методы и алгоритмы позволяют выполнить:

* идентификацию моделей объектов управления для динамического проектирования регуляторов систем управления техническими объектами;
* идентификацию параметров (сопротивлений) и диагностику состояний межабонентских участков магистральной линии распредсети 0,4 кВ в составе АСКУЭ, обеспечивающей оценку уровня износа проводов линий электропередач.

Результаты работы также могут быть использованы при создании алгоритмического и специального программного обеспечения систем автоматизации научных исследований и управления технологическими процессами в различных отраслях экономики.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Новый подход к решению задач парамерической идентификации управляемых динамических технических систем.
2. Методы и алгоритмы параметрической идентификации моделей линейных стационарных объектов управления, описываемых импульсными переходными функциями (ИПФ) и разностными уравнениями на основе предложенного подхода.
3. Методы и алгоритмы идентификации параметров несимметричных распредсетей напряжением 0,4 кВ с использованием предложенного подхода.
4. Методика идентификации потерь электроэнергии в распредсети напряжением 0,4 кВ в условиях несимметрии токов и напряжений по данным АСКУЭ.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований использованы в ОАО «Северэлектро» и учебном процессе Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором под руководством научного руководителя.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на:

* XXVIII Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы технических наук», г. Москва, 2014г.;
* Международной конференции «Современное состояние и перспективы развития горнодобывающей отрасли» (КГТУ им.И.Раззакова), г.Бишкек, 2014г.;
* Международной научно-практической конференции «Строительное образование и наука Кыргызстана: перспективы интеграции, инновации и партнерства» (КГУСТА), г.Бишкек, 2014г.;
* Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной техники и технологии», г.Липецк, 2015;
* Международной конференции «Инновации в науке, производстве и образовании», г.Калининград, 2015;
* Международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании» (КГТУ им.И.Раззакова), г.Бишкек, 2016г;
* XXVI Международной научно-практической конференции [«Актуальные проблемы в современной науке и пути их решения»](http://euroasia-science.ru/ru/conference/), г.Москва, 2016г;
* XIII Международной научно-технической конференции «Виртуальные и интеллектуальные системы», г. Барнаул, 2018г.
* научных семинарах лаборатории «Адаптивные и интеллектуальные системы» и Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР.

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 23 научные работы, в том числе в периодических изданиях (журналах), включенных в международные базы цитирования (РИНЦ, Web of Science, Scopus и др.).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 125 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, который включает 91 наименование, приложения, содержит 33 рисунка и 15 таблиц. Приложения содержат тексты программных средств, предназначенных для идентификации параметров магистральной линии распредсети, а также акты использования результатов работы.

**Основное содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована основная цель и задачи исследований, изложены научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов, а также краткое содержание работы.

**В первой** **главе** сформулирована общая проблема идентификации моделей управляемых технических систем. Дается обзор методов параметрической идентификации (метод наименьших квадратов, градиентные алгоритмы, спектральные методы, частотные методы и др.). Отмечается, что существенный вклад в развитие теории идентификации внесены известными учеными В.В.Солодовниковым, А.Н.Дмитриевым, Е.П.Эйхов, К.Спиди, Н.Д.Егуповым, Э.П.Сейдж, а также учеными нашей Республики – В.П.Живоглядовым, Ж.Ш.Шаршеналиевым, У.Н.Бримкуловым, Т.Т.Оморовым, Ж.И.Батыркановым. Рассматриваются особенности структурной и параметрической идентификации объектов. Анализ показал, что в настоящее время актуальной является проблема разработки эффективных методов и алгоритмов параметрической идентификации управляемых динамических систем.

**Во второй главе** динамические управляемые технические системы рассматриваются как **объект исследования**. При этом **предметом исследований** являются модели динамических объектов управления заданных структур, а также методы и алгоритмы определения их параметров. Дано описание нового подхода к параметрической идентификации динамических управляемых систем на основе данных «вход-выход». Рассматривается одномерный динамический объект управления, на входе которого действует сигнал , а на его выходе протекает переходный процесс . Идентификация параметров объекта осуществляется по схеме настраиваемой модели, показанной на рис. 1.

*y(t)*

Идентифицируемый объект управления

Модель объекта

КС

*u(t)*

*e(t)*

-

+

Рис.1. Общая схема идентификации объекта

Считается, что выход объекта (переходный процесс) является известной функцией, определяемой на основе экспериментальных данных. При этом идентифицируемая динамическая характеристика (импульсная переходная функция, разностные уравнения и др.) объекта, т.е. его неизвестная модель представляется в параметрической форме, в частности, в виде

, , (1)

где -мерный вектор, составленный из настраиваемых параметров модели; – начальный и конечный моменты процесса управления. Ошибка идентификации определяется выражением

.

Предварительно осуществляется дискретизация функций по времени:

,

где (N+1) – количество дискретных точек. Тогда ошибки идентификации (невязки) в дискретных точках:

Для оценки качества идентификации на основе невязок вводится следующая критериальная (штрафная) функция:

обладающая тем свойством, что при имело место и где .

В качестве критериальной функции , в частности, можно использовать квадратическую или модульную штрафные функции:

В процессе идентификации контур самонастройки (КС) осуществляет:

1) формирование критериальной функции ;

2) настройку элементов вектор-параметра модели объекта путем решения следующей экстремальной задачи:

где – значение вектор – параметра , который принимается в качестве решения задачи параметрической идентификации; - m-мерное арифметическое пространство.

Таким образом, задача идентификации модели управляемого объекта сводится к определению такого вектор-параметра , доставляющего минимальное значение штрафной функции и обеспечивающего близость выхода модели объекта и выхода объекта . При этом вводится переменная , которая характеризует процесс идентификации, т.е. решение задачи минимизации (2) во времени. Решение сформулированной задачи основывается на следующей теореме.

**Теорема.**  Пусть начальное значение штрафной функции и для каждого и при малом значении выполняется условие:

Тогда штрафная функция убывает во времени и

Соотношение (3) можно рассматривать как критериальное условие, выполнение которого обеспечивает гарантированное уменьшение значений штрафной функции по времени . Контур самонастройки (КС) выполняет функцию поддержания критериального соотношения (3), обеспечивая целенаправленное изменение элементов вектор – параметра модели объекта в желаемом направлении.

В целях использования критериального соотношения (3) для параметрической идентификации необходимо определить производную штрафной функции по времени :

* Далее путем подстановки в левую часть соотношения (3) выражения для производной выводится система дифференциальных уравнений, определяющая процесс самонастройки (адаптации) элементов вектор-параметра:

где – функции, определяемые из условия обеспечения критериального соотношения (3). Установившиеся решения системы уравнений (4) и определяют оценку элементов искомого вектор параметра :

В практических расчетах в качестве решения задачи параметрической идентификации можно взять и вектор – параметр , обеспечивающий выполнение следующего условия:

где – достаточно малое положительное число.

Полученные результаты позволяют сформулировать общий алгоритм параметрической идентификации моделей управляемых систем на основе критериального условия (3). Основные этапы этого алгоритма состоит в следующем:

1. Получение экспериментальных данных в форме «вход-выход» для идентифицируемого объекта управления.
2. Выбор структуры и вектор-параметра модели объекта.
3. Построение штрафной функции
4. Формирование уравнений адаптации (4) компонентов вектор-параметра .
5. Решение уравнений самонастройки (4) параметров модели управляемого объекта.
6. Определение искомой оценки компонентов вектор-параметра как установившиеся решения уравнений самонастройки (4) или вектор–параметра , удовлетворяющего условию (5).

Далее рассматривается задача параметрической идентификации динамической характеристики объекта управления, заданной в параметрической форме (1):

где – установившееся значение управляемой переменной *y(t)*; – параметрические функции:

, – неизвестные параметры модели, составляющие -мерный вектор– параметр n – порядок модели (количество функций ).

Предполагается, что в дискретные моменты времени с шагом получены экспериментальные данные реакции выхода объекта *y(t)* на входное ступенчатое воздействие *u(t)=A∙1(t):*

, (7)

где *A –* амплитуда ступенчатого входного сигнала *u(t)*;(*N+*1) – количество дискретных точек.

Для формирования штрафной функции осуществляется дискретизация модели выхода объекта (6) по времени:

 (8)

где .

В каждый момент времени между соответствующими значениями рядов (7) и (8) существуют невязки (ошибки идентификации):

, .

При этом штрафная функция представляется в виде выражения

Задача идентификации управляемого объекта состоит в определении такого вектор – параметра на основе решения экстремальной задачи (2). В процессе идентификации вектор-параметр изменяется во времени *t* , следовательно, варьируется и значение функции , т.е.. При этом используется сформулированная выше теорема, а решение сформулированной задачи идентификации дается на основе следующего утверждения.

**Утверждение 1.** Пусть заданы данные по выходу объекта в виде ряда (7), структура его модели в форме (6), а штрафная функция *I(p)* задается выражением (9). Тогда уравнения самонастройки (адаптации) элементов вектор-параметра определяются следующими соотношениями:

где

 , , .

Установившиеся решения системы уравнений (10) являются оценкой параметров модели объекта (6). Алгоритм параметрической идентификации объекта включает следующие основные этапы:

1. Проведение эксперимента и получение данных по переходному процессу на выходе объекта в виде вектора .
2. Задание структуры модели объекта в форме (6).
3. Определение выражений для невязок, .
4. Составление выражений для функций и по формулам (11).
5. Формирование уравнений самонастройки (10) элементов вектор-параметра .
6. Решение уравнений самонастройки (10) и определение вектор-параметра , элементы которого являются оценкой параметров модели объекта (6).

В целях иллюстрации эффективности вышеизложенного алгоритма идентификации рассматривается модельная задача с одномерным объектом. Полученные экспериментальные данные переходного процесса с дискретным шагом при N=6 приведены в табл.1.

Таблица 1- Экспериментальные данные переходного процесса

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| , сек | 0 | 0.75 | 1.5 | 2.25 | 3.0 | 3.75 | 4.5 |
|  | 0 | 0.75 | 1.03 | 1.15 | 1.2 | 1.23 | 1.24 |

Непрерывная модель неизвестного объекта представляется в форме (6):

где *n*=2; 1.25;

При этом искомый вектор–параметр выбранной модели . Уравнения контура самонастройки (КС) параметров модели, полученные на основе утверждения 1, имеют вид:

где

Динамика самонастройки компонентов вектора в процессе идентификации показана на рис.2-5.

Для решения системы дифференциальных уравненеий (12) использован программный комплекс Matlab, при следующих значениях параметров:

=-150, =-200, =-500, =-800.

Как видно из графиков установившиеся решения системы (12):

-0.762, =-0.487, =-0.949, =-1.748

составляют искомый вектор–параметр = [-0.762, -0.487, -0.949, -1.748].

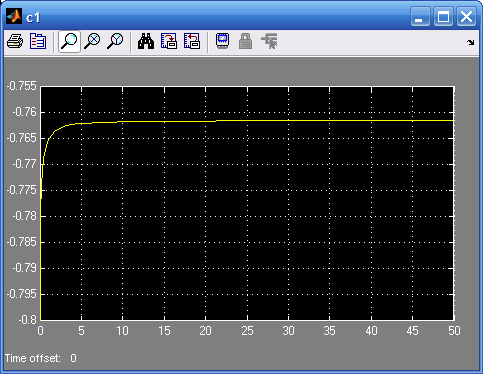
 

Рис. 2. Динамика параметра *с1* Рис. 3. Динамика параметра *с2*

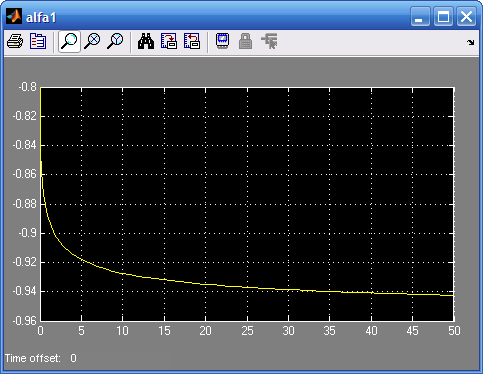
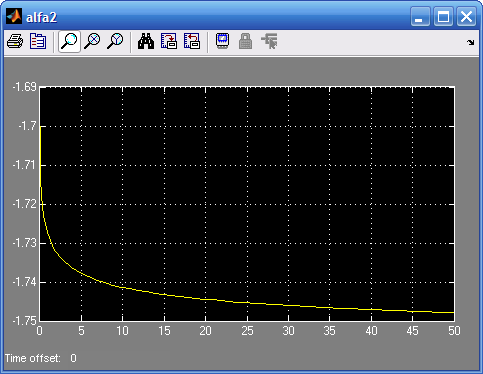
 

Рис.4. Динамика параметра *a1* Рис.5. Динамика параметра *a2*

Для оценки качества идентификации в табл.2 приведены исходные экспериментальные данные из табл.1 и результаты, полученные в конце процедуры идентификации модели объекта.

Таблица 2 - Данные, полученные в результате идентификации модели объекта

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| , сек | 0 | 0.75 | 1.5 | 2.25 | 3.0 | 3.75 | 4.5 |
|  | 0 | 0.75 | 1.03 | 1.15 | 1.2 | 1.23 | 1.24 |
|  | 0 | 0.745 | 1.032 | 1.151 | 1.202 | 1.227 | 1.239 |
|  | 0 | -0.005 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | -0.003 | -0.001 |

Переходный процесс *y(t)* на выходе объекта и динамика штрафной функции показаны соответственно на рис.6 и 7.

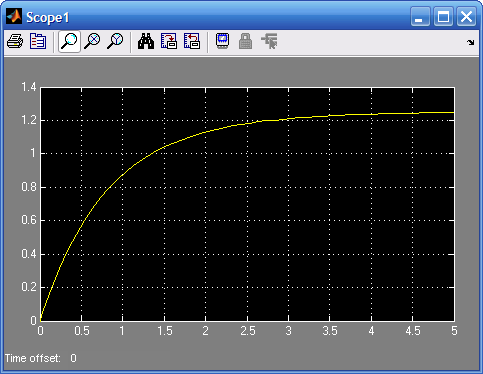
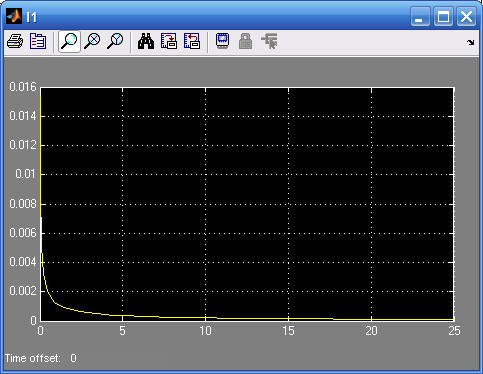
 

Рис.6. Переходный процесс *y(t)* Рис.7. Динамика штрафной функции *I(t)*

Сравнение выходов рассматриваемого объекта управления и его модели с найденными параметрами показывает достаточную их близость, что свидетельствует об эффективности разработанного метода идентификации.

Далее решается задача идентификации линейного дискретного объекта управления. Предполагается, что для этого объекта экспериментальным путем в дискретные моменты времени получены данные «вход - выход»:

,

где – шаг дискретизации по времени; *N*+1 – количество точек дискретизации.

Структура модели для этого объекта задается следующим линейным разностным уравнением:

(12)

где , – вещественные параметры объекта, которые образуют -мерный вектор – параметр , ; *n* и *r* – целые положительные числа. Считается, что *n* > r.

Задача идентификации состоит в определении такого вектор – параметра , обеспечивающего достаточную близость переменной *y*(*k*) модели (12) и выхода объекта в дискретные моменты времени . Для решения сформулированной задачи используется критериальное условие (3). Вначале вводятся невязки:

, ,

где

.

Оценка качества идентификации осуществляется на основе штрафной функции в виде (9).

Решение сформулированной задачи дается на основе следующего утверждения.

**Утверждение 2.** Пусть заданы структура модели дискретного объекта разностным уравнением (12), а оценочная функция *I(p)* по формуле (9). Тогда уравнения самонастройки (адаптации) элементов вектор-параметра модели объекта определяются соотношениями

где – переменная, которая характеризует процесс идентификации; , – вещественные отрицательные числа; *,* функции, определяемые формулами

В результате установившиеся решения системы уравнений (13):

являются оценками параметров разностного уравнения (12), т.е. вектор-параметр *.*

Для иллюстрации процедуры идентификации рассматривается модельная задача, в которой структура модели объекта имеет вид:

(15)

т.е. *n*=2, а *r*=0. Процесс самонастройки компонентов вектора после идентификации показан на рис. 8-11.

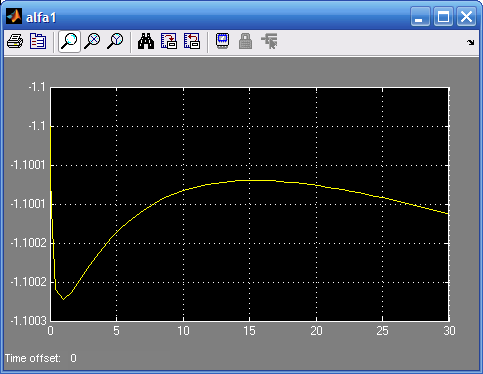
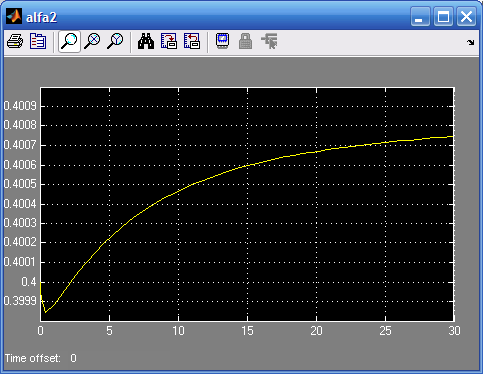
 

Рис.8. Процесс самонастройки Рис.9. Процесс самонастройки

параметра параметра

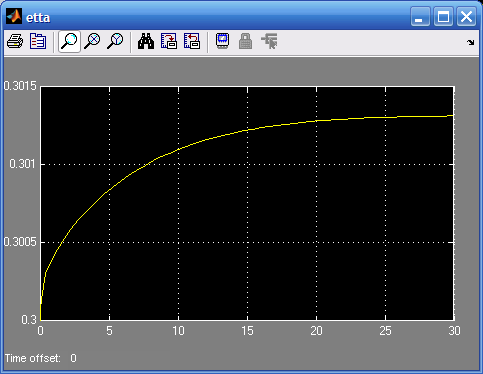
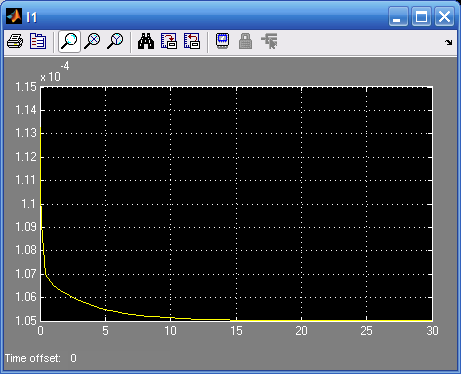
 

Рис.10. Процесс самонастройки Рис.11. Динамика штрафной

параметра функции

Анализ полученных графиков показывает, что в качестве оценки вектор-параметра модели объекта (15) можно принять [-1.10015, 0.40076, 0.3013].

**В третьей главе** исследуется проблема идентификации неизмеряемых (неконтролируемых) параметров и потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях (РЭС) с напряжением 0,4 кВ. В разделе 3.1 дается общая характеристика современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), которые в настоящее время внедряются в РЭС Республики в целях автоматизации и информатизации процессов энергопотребления.

Основные достоинства АСКУЭ заключаются в полной автоматизации процессов сбора данных со счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети, и коммерческого учета электроэнергии в РЭС, что позволяет устранить коррупционные схемы за счет исключения человеческого фактора при сборе данных об энергопотреблении.

Главный недостаток существующих АСКУЭ заключается в том, что они являются информационно-измерительными системами и поэтому, в основном, предназначены для коммерческого учета электроэнергии. Следовательно, они по существу не имеют технических и программных средств для решения ряда важных функциональных задач, таких как диагностика состояний распределительных сетей и оптимизация их режимов работы, что является причиной их низкой эффективности. Для решения указанных задач необходимо предварительно идентифицировать параметры и неизмеряемые (неконтролируемые) переменные РЭС, к которым относятся комплексные сопротивления межабонентских участков магистральной линии и действующие значения межабонентских токов и напряжений в трехфазной сети.

Актуальной проблемой является также проблема раздельной оценки технических и коммерческих потерь электроэнергии в РЭС, так как в существующих АСКУЭ такая функция отсутствует, в них формируется лишь информация об общих – суммарных потерях электроэнергии.

В разделе 3.2 исследуется проблема идентификации параметров распределительных электрических сетей (РЭС) с напряжением 0,4 кВ, в качестве которых рассматриваются комплексные сопротивления межабонентских участков (МАУ) распредсети. Расчетная схема трехфазной РЭС показана на рис.12, где обозначения имеют следующий смысл: - индексные переменные, обозначающие соответственно номера фаз А, В, С и электрических контуров сети ; ЭДС -ой фазы; , – мгновенные синусоидальные напряжения и токи соответственно на входах соответствующих фаз;, – синусоидальные мгновенные ток, напряжение и сопротивление нагрузки (электроприемника) с координатой ; – мгновенный ток и комплексное сопротивление -го межабонентского участка (МАУ) -ой фазы; , – напряжения соответственно на -ом МАУ -й фазы и нейтрального провода; *, –* мгновенный ток и комплексное сопротивление -го участка нейтрального провода.

Предполагается, что фазные и нейтральные провода сети имеют одинаковые сечения , и со счетчиков электроэнергии () в базу данных АСКУЭ по каналам связи в дискретные моменты времени с шагом дискретизации ( поступают действующие значения токов и напряжений на нагрузках сети, а также коэффициенты мощности , определяемые фазовыми сдвигами между соответствующими напряжениями и токами ().

В существующих АСКУЭ межабонентские токи  и напряжения , не идентифицируются и не контролируются. В диссертационной работе показано, что в АСКУЭ имеется возможность их определения по данным со счетчиков электроэнергии системы. Для этой цели синусоидальные токи, напряжения и сопротивления , в установившемся режиме представляются в комплексной форме:

*, ,*

где модули и аргументы соответствующих комплексных переменных; приращения соответствующих фазовых сдвигов относительно их номинальных значений .

. . .

. . .

**~**

**~**

**~**

Рис.12. Расчетная схема трехфазной сети

При этом

*,*

Задача заключается в том, чтобы на основе данных АСКУЭ, полученных со счетчиков электроэнергии, идентифицировать параметры – сопротивления межабонентских участков несимметричной трехфазной сети в режиме реального времени. Для решения сформулированной задачи в работе получена система уравнений

где , , , , – комплексные коэффициенты, определяемые по определенной методике. Соотношения (16) представляют собой систему алгебраических уравнений относительно компонентов вектор-параметра . Для ее решения используется сформулированная выше теорема, т.е. критериальное условие (2), полученное в 2.1. Результаты решения системы (16) позволили идентифицировать искомые параметры сети .

В подразделе 3.3 решается задача идентификации действующих токов и напряжений на участках фазных и нулевого проводов, которые в АСКУЭ не измеряются и не контролируются. Рассматривается расчетная схема трехфазной распределительной сети, показанной на рис.12 и электрические контуры исходной трехфазной сети, имеющие координаты (2). Как видно из рис.12 межабонентские комплексные токи определяются по формулам

Показано, что для квадратов модулей этих токов справедливы выражения:

где разности фазовых сдвигов определяются по аналогичной методике, предложенной в 3.2.

При этом последовательно рассматриваются электрические контуры с координатами , , …, . На основе указанной выше вычислительной процедуры определяются действующие значения токов , , …, . При этом . Модули соответствующих межабонентских напряжений можно определить на основе закона Ома: , где – модуль сопротивления .

Далее решается задача идентификации действующих токов и напряжений на участках нулевого провода. Показано, что искомые величины определяются по следующим формулам:

,

,

где – модуль комплексного сопротивления ; разности фазовых сдвигов , , определяются формулами:

В разделе 3.4 решается задача оценки потерь электроэнергии в трехфазной распределительной сети. Как известно, энергобаланс в распределительной сети определяется выражением

где – количество электроэнергии, поступающей из источника питания на вход сети в интервале наблюдения ; – суммарное количество электроэнергии, потребляемой всеми абонентами сети; – технические потери электроэнергии на МАУ; – коммерческие потери, вызванные наличием в сети несанкционированного потребителя. Количество электроэнергии измеряется счетчиками, установленными соответственно на выходе трансформаторной подстанции и у абонентов сети. Эти данные передаются в базу данных концентратора и являются известными величинами, а величины технических и коммерческих потерь электроэнергии не доступны для измерения. Для оценки величины используются результаты, полученные в разделах 3.2 и 3.3. В результате на основе соотношения энергобаланса (17) можно определить оценку коммерческих потерь электроэнергии в сети за время *Т*:

Точность идентификации технических и коммерческих потерь электроэнергии на основе изложенных выше методов, в основном, зависит от величин шагов дискретизации и погрешностей вычисления действующих значений токов , и напряжений , .

**В** **четвертой главе** дано описание программного обеспечения комплекса задач идентификации параметров межабонентских участков магистральной линии трехфазной распредсети с использованием программной системы Matlab. Разработанные программные средства использованы для решения модельной задачи идентификации параметров РЭС. Фрагменты исходных данных задачи для фазы А представлены в таблицах 3 – 6.

Таблица 3 - Измеренные данные, полученные со счетчиков абонентов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование**  **фаз** | **Номер**  **абонента нагрузки** | ,  **А** | ,  **В** |  |
| **Фаза А** | =1 | 3.9 | 224.0 | 0.81 |
| =2 | 5.0 | 222.1 | 0.85 |
| **...** | **...** | **...** | **...** |
| =11 | 5.9 | 192.5 | 0.89 |
| =12 | 6.2 | 190.8 | 0.94 |

Таблица 4 - Данные трехфазного счетчика, установленного

в трансформаторной подстанции (ТП)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Наименование**  **фаз** | **Показания трехфазного счетчика** | | |
| ,  А | ,  В |  |
| **Фаза А** | 60.6 | 230.0 | 0.9 |

Таблица 5 - Идентифицированные параметры (сопротивления)

межабонентских участков трехфазной сети

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Номера межабонентских участков (МАУ) сети** | **Вещественная и мнимая части сопротивления** | | **Модуль сопротивления** , **Ом** |
|  |  |
| =1 | 0.235 | 0.018 | 0.2369 |
| =2 | 0.221 | 0.015 | 0.2369 |
|  | ... | ... | ... |
| **=11** | 0.242 | 0.021 | 0.2466 |
| **=12** | 0.244 | 0.023 | 0.2466 |

Анализ полученных численных результатов показывает, что найденные оценки сопротивлений межабонентских участков исследуемой трехфазной сети соответствуют реальным их значениям, вычисленным по паспортным данным проводов магистральной линии, что свидетельствует о достаточной эффективности разработанного метода параметрической идентификации распредсети напряжением 0,4 кВ по данным АСКУЭ.

**ВЫВОДЫ**

Диссертационная работа посвящена задачам параметрической идентификации моделей управляемых технических систем. Решение этих задач осуществляется на основе критериального условия, полученного для целей идентификации. Применение этого критериального соотношения позволило разработать новые методы и алгоритмы построения моделей управляемых технических объектов.

Основные научные результаты работы заключаются в следующем:

1. Предложен новый подход к параметрической идентификации управляемых технических и технологических объектов.
2. Разработаны алгоритмы идентификации моделей линейных стационарных объектов управления, описываемых импульсными переходными функциями и разностными уравнениями.
3. Предложены методы и алгоритмы идентификации параметров распределительных электрических сетей, функционирующих в условиях несимметрии токов и напряжений.
4. Разработаны модели и методы идентификации недоступных для измерения и контроля переменных состояния несимметричной трехфазной распределительной сети напряжением 0,4 кВ.
5. Разработана методика идентификации и мониторинга потерь электроэнергии в трехфазной распределительной сети.

По результатам исследований опубликовано 23 научной работы в периодических изданиях, включенных в международные базы цитирования (РИНЦ, Scopus, Web of Science). Методы и алгоритмы, полученные в диссертационной работе, применены для идентификации моделей управляемых объектов, описываемых импульсными переходными функциями и разностными уравнениями. На основе результатов диссертации разработан комплекс программных средств, который использован для идентификации параметров и недоступных для измерения и контроля переменных состояния распределительной сети в условиях несимметрии токов и напряжений. Разработанные модели и алгоритмы использованы в ОАО «Северэлектро» и учебном процессе Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова для подготовки бакалавров и магистров по направлениям: электроснабжение и энергосбережение; управление в технических системах.

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. **Осмонова, Р.Ч.** Идентификация координаты несанкционированного отбора электроэнергии в распределительной сети в составе АСКУЭ [Текст]/ Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К.,, Койбагаров Т.Ж. // Контроль. Диагностика. 2019. № 1. С. 50-55.
2. **Осмонова, Р.Ч.** К проблеме построения математической модели трехфазной распределительной электрической сети [Текст] / Оморов Т.Т., Койбагаров Т.Д., Джолдошев Б.О. // Ползуновский альманах. 2018. № 4. С.48-52.
3. **Осмонова, Р.Ч.** К проблеме идентификации технических и коммерческих потерь электроэнергии в составе АИИС КУЭ [Текст] / Оморов Т.Т., Койбагаров Т.Ж., Эралиева А.Ш. // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 5 (50). С. 56-60.
4. **Осмонова, Р.Ч.** Краткий обзор методов идентификации управляемых динамических систем [Текст] / Оморов Т.Т. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. 2018. № 1 (45). С. 46-58.
5. **Осмонова, Р.Ч.** Оценка потерь электроэнергии в условиях неопределенности в составе АСКУЭ [Текст] / Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 126-135.
6. **Осмонова, Р.Ч.** Диагностика состояний электрических линий распределительных сетей в составе АСКУЭ [Текст] / Оморов Т.Т., , Такырбашев Б.К. // Контроль. Диагностика. 2017. № 5. С. 44-48.
7. **Осмонова, Р.Ч.** К расчёту трёхфазных распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учёта электроэнергии [Текст] / Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К. // Энергетик. 2017. № 4. С. 28-31.
8. **Осмонова, Р.Ч.** Определение параметров распределительных сетей 0,4 кв по данным АСКУЭ [Текст] / Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К.// Энергетик. 2017. № 6. С. 37-40.
9. **Osmonova, R.Ch.** Synthesis of the managing director of the subsystem for optimization of the operating mode of the distributive electric network [Text] / Omorov T.T., Takyrbashev B.K. // Engineering Studies. 2016. № 3. С. 606.
10. **Осмонова, Р.Ч.** Параметрическая идентификация линейной модели управляемой системы в форме "вход - выход" [Текст] / Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н. // Автоматизация и управление в технических системах. 2016. № 1 (18). С. 8.
11. **Осмонова, Р.Ч.** К проблеме идентификации состояний распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии [Текст] / Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н., Такырбашев Б.К. // Автоматизация и управление в технических системах. 2016. № 3 (20). С. 5.
12. **Осмонова, Р.Ч.** Об идентификации параметров распределительной сети в системах автоматизации процессов энергопотребления [Текст] / Оморов Т.Т., , Такырбашев Б.К. // Евразийский союз ученых. 2016. № 5-2 (26). С. 63-66.
13. **Осмонова, Р.Ч.** Моделирование распределительных сетей в АСКУЭ [Текст] / Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. 2016. № 3-1 (39). С. 427-435.
14. **Осмонова, Р.Ч.** Метод идентификации состояний распределительных сетей в условиях неопределенности [Текст] / Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. 2016. № 3-2 (39). С. 126-131.
15. **Осмонова, Р.Ч.** Идентификация параметров распределительной сети в системах автоматизации процессов энергопотребления [Текст] / Такырбашев Б.К., Дуйшенкулова Ы.С., Оморов Т.Т. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2016. № 3. С. 15-19.
16. **Осмонова, Р.Ч.** Синтез импульсной характеристики управляемого объекта [Текст] / Оморов Т.Т. // В сборнике: Актуальные вопросы современной техники и технологии Сборник докладов XXI-й Международной научной конференции. 2015. С. 9-15.
17. **Осмонова, Р.Ч.** К проблеме идентификации модели управляемой системы по экспериментальным данным [Текст] / Курманалиева Р.Н., Оморов Т.Т. // Universum: технические науки. 2015. № 6 (18). С. 3.
18. **Осмонова, Р.Ч.** Синтез регулятора для объекта управления с особенностями [Текст] // Вестник КГУСТА. 2015. № 1. С. 176-178.
19. **Осмонова, Р.Ч.** Параметрическая идентификация линейного дискретного объекта управления [Текст] / Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н. // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1. № 3. С. 68-73.
20. **Осмонова, Р.Ч.** К построению динамической характеристики объекта управления [Текст] // Новости науки Казахстана. 2015. № 3 (125). С. 9-22.
21. **Осмонова, Р.Ч.** Проектирование дискретного закона управления для непрерывного объекта [Текст] // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2015. № 1. С. 30-33.
22. **Осмонова, Р.Ч.** Идентификация передаточной функции управляемой системы [Текст] / Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н., Кожекова Г.А. // Universum: технические науки. 2014. № 11 (12). С. 6.
23. **Осмонова, Р.Ч.** Идентификация передаточной функции стационарного объекта управления [Текст] / Курманалиева Р.Н., , Оморов Т.Т. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. 2014. № 33. С. 592-596.

**КЫСКАЧА МАЗМУНУ**

**Осмонова Рима Чынарбековна**

**«Башкарылуучу системалардын математикалык моделдерин параметрдик идентификациялоо ыкмаларын иштеп чыгуу жана изилдөө»**

*аталыштагы 05.13.16 – автоматташтыруу жана өндүрүштөрдү жана технологиялык процесстерди башкаруу адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаттыгын жактоо диссертациясы*

**Негизги сөздөр:** башкаруунуавтоматташтыруу,башкаруу объектиси, жөнгө салгыч, автоматтык башкаруу системасы, ыкмалар, алгоритмдер, адапташтыруу, эталондук модель, математикалык моделдер, идентификациялоо, туруктуулук, башкаруунун сапаты, электр кыймылдаткычы, синхрондук генератор, компьютердик моделдештирүү.

**Изилдөө объектилери:** динамикалык башкаруу объектилери; автоматтык башкаруу системасы (АБС); электр кыймылдаткычы.

**Изилдөөнүн негизги максаттары:** маалыматтын толук жана толук эмес шартында көп өлчөмдүү техникалык объектилердин АБСын структуралык жана параметрдик синтездөө ыкмаларын жана алгоритмдерин иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн ыкмалары:** автоматтык башкаруу теориясынын ыкмалары,компьютердикмоделдештирүүнүн ыкмалары.

**Изилдөөнүн негизги жыйынтыктары:** төмөдөгүдөйжаңы ыкмалар жана алгоритмдер иштелип чыккан: көп өлчөмдүү объектилердин автоматттык башкаруу системаларын структуралык жана параметрдик синтездөө; белгисиз шарттарда көп өлчөмдүү системаларды адаптивдүү жөнгө салгычтарды синтездөө; көп өлчөмдүү автоматттык системалардын абалын жана сызыктуу стационардык башкаруу объектилеринин динамикалык мүнөздөмөлөрүн идентификациялоо.

**Изилдөөнүн жыйынтыктарын колдонуу:** иштелип чыккан жаңы ыкмалар жана алгоритмдер электр кыймылдаткычтарынын жана синхрондук генератордун автоматтык башкаруу системаларын динамикалык долбоорлоодоо жана окуу процесстеринде колдонулган.

**Колдонуу областы:** изилдөөнүн жыйынтыктары экономиканын ар түрлүү тармактарында техникалык объектилердин АБСин динамикалык долбоорлоодо пайдаланууга болот.

**РЕЗЮМЕ**

диссертации Осмоновой Римы Чынарбековны на тему:

**«Разработка и исследование методов параметрической идентификации математических моделей управляемых систем»**

*на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.16 - применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям)*

**Ключевые слова:** управляемые системы, математические модели, методы параметрической идентификации, алгоритмы, распределительная электрическая сеть, параметры сети, компьютерное моделирование.

**Объекты исследования:** динамические объекты управления; распределительная электрическая сеть (РЭС) напряжением 0,4 кВ.

**Основная цель исследования:** разработка методов и алгоритмов параметрической идентификации моделей динамических управляемых систем и их применение в задачах автоматизации управления техническими объектами.

**Методы исследований:** методы математического анализа, дифференциальных уравнений, идентификации систем, электротехники, технологии компьютерного моделирования.

**Основные результаты работы.**  Разработаны новые методы и алгоритмы:

параметрической идентификации моделей управляемых систем; идентификации параметров несимметричной РЭС по данным АСКУЭ; идентификации потерь электроэнергии в трехфазной сети в условиях несимметрии токов и напряжений.

**Использование результатов исследований:** разработанные методы и алгоритмы позволяют выполнить идентификацию: параметров моделей объектов управления для целей автоматизации управления техническими системами; параметров и переменных состояния (токов, напряжений) распредсетей напряжением 0,4 кВ; потерь электроэнергии в трехфазной РЭС.

**Область применения:** результаты исследований могут быть использованы при динамическом проектировании регуляторов систем автоматического управления (САУ) и создании специального программного обеспечения подсистемы диагностики уровня износа проводов линий электропередач распредсетей напряжением 0,4 кВ в составе АСКУЭ, а также в учебном процессе для подготовки бакалавров и магистров по направлениям: электроснабжение и энергосбережение; управление в технических системах.

**ABSTRACT**

Osmonova Rima Chynarbekovna

**«** **Development and research of parametric identification methods for mathematical models of controlled systems »**

*for competition of scientific degree of candidate of of technical sciences on specialty 05.13.16 - the use of computer technology, mathematical modeling and mathematical methods in scientific research (by industry)*

**Keywords:** control automation, control object, a regulator, automatic control system, methods, algorithms, the adaptation, reference model, mathematical models, identification, the stability, performance of control, the electric drive, the synchronous generator, computer modeling.

**Objects of research:** multidimensional dynamic objects of control; automatic control systems (ACS); the electric drive; the synchronous generator.

**The main objectives of the research:** working out of new methods and algorithms of structural and parametrical synthesis ACS multidimensional technical objects in the conditions of the full and incomplete information.

**Methods of researches:** methods of the theory of automatic control, technology of computer modeling.

**The basic results of work:** new methods and algorithms are developed: structural and parametrical synthesis ACS by multidimensional objects; synthesis of adaptive regulators for multidimensional automatic systems in the conditions of uncertainty; identifications of a condition multidimensional ACS and dynamic characteristics of linear stationary objects of control.

**Use of results of researches:** the developed methods and algorithms allow the identification of: mathematical models of control objects for the automation of control of technical systems; unmeasured parameters and state variables (currents, voltages), as well as energy losses in distribution electric networks.

**Scope:** The research results can be used in the dynamic design of automatic control system regulators (ACS) of technological objects and the creation of algorithmic and special software for the subsystem for diagnosing the electrical state and optimizing the operating modes of distribution networks as part of ASKAE, as well as in the educational process.