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

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

Диссертационный совет **Д 05.18.584**

На правах рукописи

УДК: 519.687 (575.2) (043.3)

**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**, д.т.н., член-корреспондент НАН КР, заведующий лабораторией «Адаптивные и интеллектуальные системы» Института машиноведения и автоматики НАН КР

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

**Уралиев Алымбек Абдыраевич,** 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 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 №2, 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 Диссертационного

совета Д 05.18.584, к.т.н., доцент  Н.А. Исраилова

**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 процессов управления. При создании автоматизированных систем управления технологическими процессами (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. Большинство РЭС функционируют в условиях несимметрии токов и напряжений, что приводит к определенным сложностям при построении моделей распредсетей напряжением 0,4 кВ и идентификации их параметров. К настоящему времени математические модели, описывающие процесс функционирования трехфазной распредсети, по существу, не разработаны, что не позволяет решать ряд важных функциональных задач в составе автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ), таких как диагностика состояний проводов линий электропередач, идентификация и мониторинг технических и коммерческих потерь электроэнергии в режиме реального времени. В связи с изложенным разработка методов и алгоритмов параметрической 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 исследования. Целью** диссертационной работы является развитие методов и алгоритмов параметрической идентификации управляемых систем и их использование в задачах автоматизации технических объектов.

**Задачи исследования:**

* + - * анализ современного состояния проблемы идентификации моделей управляемых технических систем;
* разработка единого 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 импульсными переходными функциями (ИПФ) и разностными уравнениями на основе предложенного подхода;
* разработка методов идентификации параметров трехфазной распределительной электрической сети (РЭС) напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в ней по данным автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (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 на основе единого подхода, 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. Акты использования научных результатов приводятся в приложении.

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

1. Новый подход к решению задач параметрической 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.

**Апробации результатов исследования.** 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.

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** 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 128 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, который включает 85 наименований, 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, сформулированы основная цель и задачи исследований, изложены научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов, краткое содержание работы, приведены сведения об апробации результатов работы и ее связи с научными программами (проектами), а также полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

**В первой** **главе** сформулирована общая проблема идентификации моделей управляемых технических систем. Дается обзор литературы по методам параметрической идентификации (метод наименьших квадратов, градиентные алгоритмы, спектральные и частотные методы и др.). Большой вклад в развитие теории идентификации систем внесены известными учеными В.В.Солодовниковым, Я.З.Цыпкиным, П.М.Эйкхгоффом, К.Спиди, Э.П.Сейджем, А.Н.Дмитриевым, Н.Д.Егуповым, Н.С.Райбманом, а также учеными Кыргызстана – В.П.Живоглядовым, Ж.Ш.Шаршеналиевым, У.Н.Бримкуловым, Т.Т.Оморовым. 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 исследования** являются:

* модели объектов управления, описывающие их динамические свойства, которые заданны в виде импульсных переходных функций (ИПФ), дифференциальных и разностных уравнений;
* методы и алгоритмы идентификации параметров управляемых динамических систем.

В разделе 2.1 приводится 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 (неизвестных) 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 . При этом обеспечивается близость выхода модели объекта и выхода объекта . Для характеристики процесса идентификации вводится независимая переменная . Решение сформулированной задачи основывается на следующей теореме.

**Теорема.**  Пусть 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 в процессе идентификации. 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.

На основе полученных результатов сформулирован алгоритм параметрической идентификации моделей управляемых систем, основные этапы которого состоят 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 объекта.
6. Определение искомой оценки компонентов вектор-параметра как установившиеся решения уравнений самонастройки (4) или вектор–параметра , удовлетворяющего условию (5).

В разделе 2.2 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.

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

, (7)

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

Далее осуществляется дискретизация 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 рассматриваемой 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 искомого вектор-параметра .

В целях проверки эффективности вышеизложенного алгоритма решается модельная задача идентификации одномерного объекта. Полученные экспериментальные данные переходного процесса с дискретным шагом сек 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

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

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

В результате получены следующие установившиеся решения системы (12):

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

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

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

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

В разделе 2.3 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:

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 и *r*=0. Динамика самонастройки компонентов вектора и критериальной функции в процессе идентификации показана на рис. 2-5.

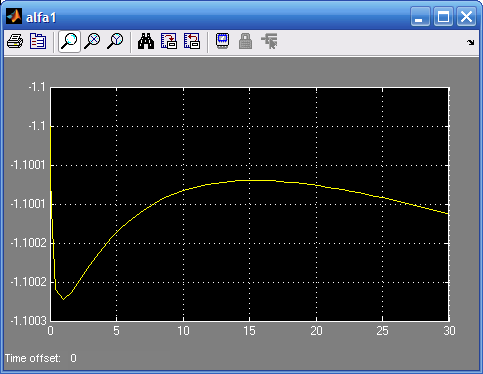
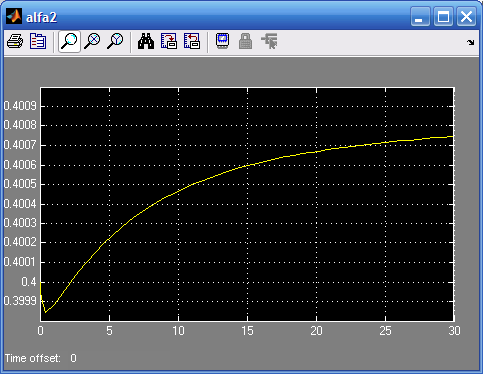
 

Рис.2. Процесс самонастройки Рис.3. Процесс самонастройки

параметра параметра

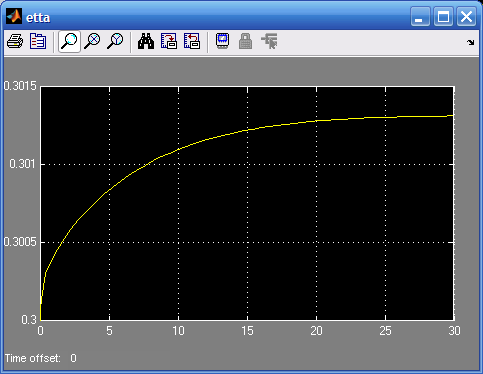
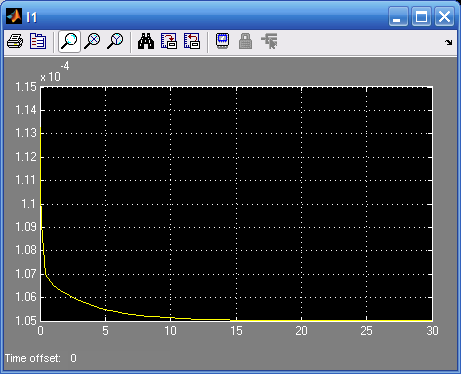
 

Рис.4. Процесс самонастройки Рис.5. Динамика штрафной

параметра функции

Анализ полученных графиков показывает, что в качестве оценки вектор-параметра модели объекта (15) можно принять [-1.1001, 0.4007, 0.3013].

**В третьей главе** исследуется проблема идентификации параметров и неизмеряемых переменных трехфазной распределительной электрической сети (РЭС) с напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в ней. В разделе 3.1 дается общая характеристика современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Эти информационные системы имеют ряд недостатков, которые заключаются в том, что в составе существующих АСКУЭ главным образом выполняются функции коммерческого учета электроэнергии, а такие важные функциональные задачи, как диагностика состояний элементов распредсетей и оптимизация их режимов работы не решаются, что является причиной их низкой эффективности. Анализ показывает, что для решения этих задач необходимо, чтобы предварительно были идентифицированы параметры и неизмеряемые переменные РЭС, к которым относятся комплексные сопротивления межабонентских участков (МАУ) 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 разделе 3.2 исследуется проблема идентификации параметров РЭС с напряжением 0,4 кВ, в качестве которых рассматриваются сопротивления МАУ. Расчетная схема трехфазной сети показана на рис.6, где - 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 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 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.6. 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 разделе 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.6 и электрические контуры исходной трехфазной сети, имеющие координаты (2). Как видно из рис.6 межабонентские комплексные токи определяются по формулам

Показано, что для действующих токов справедливы выражения:

где величины определяются по 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. Найдены формулы для искомых величин:

,

,

где – модуль комплексного сопротивления ;

В разделе 3.4 решается задача оценки потерь электроэнергии в трехфазной распределительной сети. Энергобаланс в РЭС определяется выражением

где – количество электроэнергии, поступающей из источника питания на вход сети в интервале наблюдения ; – суммарное количество электроэнергии, потребляемой всеми абонентами сети; – технические потери на МАУ; – коммерческие потери, вызванные наличием в сети несанкционированного потребителя. Величины измеряется счетчиками системы. 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*:

**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 задачи идентификации параметров РЭС. Фрагменты исходных данных задачи для фазы А представлены в табл. 3 и 4, а результаты идентификации параметров распредсети – в табл.5.

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 ТП

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

Таблица 5 - Идентифицированные параметры МАУ 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 МАУ исследуемой РЭС соответствуют их значениям, вычисленным по паспортным данным проводов сети, что свидетельствует о достаточной эффективности разработанного метода параметрической идентификации распредсети напряжением 0,4 кВ по данным АСКУЭ.

**ВЫВОДЫ**

Диссертационная работа посвящена задачам идентификации математических моделей управляемых технических систем. В целях решения этих задач сформулирован единый подход на основе заданных критериальных условий, применение которого позволило разработать новые конструктивные 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.

Разработанные в работе методы и алгоритмы применены для определения параметров моделей управляемых объектов, описываемых импульсными переходными функциями и разностными уравнениями, а также для идентификации параметров – сопротивлений межабонентских участков несимметричной распредсети напряжением 0,4 кВ. Полученные результаты позволяют диагностику состояний проводов линий электропередач трехфазной сети на основе оценки уровня их износа. Разработан комплекс программных средств, который использован для идентификации параметров и недоступных для измерения и контроля переменных состояния РЭС. Разработанные модели и алгоритмы использованы в ОАО «Северэлектро» и учебном процессе Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова при подготовке бакалавров и магистров по направлениям: управление в технических системах; электротехника и электроэнергетика.

**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.

*Илимий изилдөөлөрдө эсептөө техникаларын, математикалык ыкмаларды жана математикалык моделдөөнү (илим тармактары боюнча) – 05.13.16 адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасына изденүүчү*

**Осмонова Рима Чынарбековнанын**

**«Башкарылуучу системалардын математикалык моделдерин**

**параметрдик идентификациялоо ыкмаларын иштеп чыгуу жана изилдөө»** *аталыштагы диссертациясынын*

**КЫСКАЧА МАЗМУНУ**

**Негизги сөздөр:** башкарылуучу тутумдар,математикалык моделдер, параметрдик идентификациялоо ыкмалары, алгоритмдер,электр бөлүштүрүү тармагы, тармак параметрлери, компьютердик моделдештирүү.

**Изилдөө объектилери:** динамикалык башкаруу объектилери; 0,4 кВ чыңалуудагы электр бөлүштүрүү тармагы (ЭБТ).

**Изилдөө заты:** динамикалык башкаруу объектилеринин моделдери; динамикалык башкарылуучу тутумдарынын параметрлерин идентификациялоо ыкмалары.

**Изилдөөнүн максаты:** динамикалык башкарылуучу тутумдарын моделдерин параметрлердик идентификациялоо ыкмаларын жана алгоритмдерин иштеп чыгуу жана аларды техникалык башкаруу объектилерин автоматизациялоо маселелринде колдонуу.

**Изилдөөнүн ыкмалары жана аппаратурасы:** математикалык анализ ыкмалары, дифференциалдык теңдемелер, тутумдарды идентификациялоо, электротехника, компьютердик технологиялар.

**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.

**Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңычылдыгы:** Иштелип чыккан жаңыыкмалар жана алгоритмдер: башкарылуучу тутумдарын моделдерин параметрлердик идентификациялоо; АЭӨКТ берилмелери боюнча симметриясыз ЭБТнун параметрлерин идентификациялоо; ток жана чыңалуусу симметриясыз шартында иштеген үч фазалуу тармактагы электр энегиясынын жоготууларын идентификациялоо.

**Колдонуу дэңгээли жана колдонууга сунуштар.** Иштин жыйынтыктары “Түндүкэлектр” ААКсында жана И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин окуу процессинде колдонулду, ошондой эле “МИР” ИЧК АЭӨКТнын функционалдык мүмкүнчүлүктөрүн кеңейтүүчү, жаңы диагностикалык кичи тутумдарын иштеп чыгууда колдонууга сунушталды.

**Колдонуу областы:** изилдөөнүн жыйынтыктары экономиканын ар түрлүү тармактарында автоматтык башкаруу объектилеринини жөндөгүчтөрүн долбоорлоодо жана АЭӨКТнын жаңы диагностикалык кичи тутумдарын иштеп чыгууда 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 наук)*

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

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

**Предмет исследования:** модели динамических объектов управления; методы идентификации параметров управляемых динамических систем.

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

**Методы исследования и аппаратура:** методы математического анализа, дифференциальных уравнений, идентификации систем, электротехники, компьютерные технологии.

**Полученные результаты и их новизна.**  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.

**Степень использования или рекомендации по использованию.** Результаты работы использованы в ОАО «Северэлектро» и в учебном процессе КГТУ им.И.Раззакова, а также рекомендованы НПО «МИР» для использования при создании новых подсистем АСКУЭ, расширяющих функциональные возможности системы.

**Область применения:** результаты исследований могут использоваться при проектировании регуляторов систем автоматического управления в различных отраслях экономики и создании новых диагностических подсистем АСКУЭ.

**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:** controlled systems, mathematical models, parametric identification methods, algorithms, distribution electric network, network parameters, computer simulation.

**Object of research:** dynamic control objects; distribution electric network (RES) voltage of 0.4 kV.

**Subject of research:** models of dynamic control objects; methods for identifying parameters of controlled dynamic systems.

**The**[**purpose**](https://context.reverso.net/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B4/%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9/purpose+of+this+study+is) **of research:** to develop methods and algorithms for parametric identification of models of dynamically controlled systems and their application in the problems of automation of control of technical objects.

**Research methods and equipment:** methods of mathematical analysis, differential equations, identification of systems, electrical engineering, computer technology.

**The results obtained and their novelty.** New methods and algorithms have been developed: parametric identification of models of controlled systems; identification of parameters of asymmetric DEN according to ASKAE; identification of electricity losses in a three-phase network in the conditions of asymmetry of currents and voltages.

**The degree of use or recommendations for use.** The results of the work were used at “Severelectro” and in the educational process of KSTU named after I. Razzakov, and were also recommended by the RPO “MIR” for use in the creation of new ASKAE subsystems that expand the system’s functionality.

**Application area:** research results can be used in the design of regulators of automatic control systems in various sectors of the economy and the creation of new diagnostic subsystems of ASKAE.