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

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

Диссертационный совет **Д 05.18.584**

На правах рукописи

УДК:681.5.013: 635.031(043.3)

***Такырбашев Бейшеналы Касымалиевич***

**Развитие математических моделей и методов повышения эффективности современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии**

Специальность **05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами** ( по отраслям)

**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,

зав. лабораторией «Адаптивные и интеллектуальные системы» Института машиноведения и автоматики НАН КР

**Официальные оппоненты: Баймухамедов Малик Файзулович**

доктор технических наук, профессор, проректор по науке Костанайского государственного университета

им. А. Байтурсынова

**Саитов Нурлан Жолдошевич** к.т.н., доцент, директор IT-Академии КГЮА

**Ведущая организация:** Научно-исследовательский институт энергетики и экономики при Государственном комитете промышленности, энергетики и недропользования Кыргызской Республики,720055, г. Бишкек, ул. Ахунбаева,119

Защита состоится «15» ноября 2019 года в 16.00 часов на заседании Межведомственного диссертационного совета Д 05.18.584 в Кыргызском государственном университете им. И. Арабаева по адресу: 720026, г. Бишкек, ул. И.Раззакова 51, корпус №2, конференц зал, веб-сайт: www.arabaev.kg.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках КГУ им. И. Арабаева и КГТУ им. И. Раззакова по адресу: 720026, г. Бишкек, ул. И. Раззакова 51 и 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66.

Автореферат разослан «14» октября 2019 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 05.18.584

кандидат технических наук, доцент Исраилова Н.А.

**Общая характеристика работы**

**Актуальность темы диссертационной работы.** Объектом исследований в диссертационной работе является распределительные электрические сети (РЭС) напряжением 0,4 кВ, которые являются нижними звеньями в системе электроэнергетики, где производится отпуск электроэнергии потребителям как товарной продукции. Важнейшими показателями их качества и эффективности являются технические и коммерческие потери электроэнергии в них. В настоящее время в целях автоматизации рапредсетей 0,4кВ активно внедряются новые технологии в виде автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Несмотря на это, потери электроэнергии в Республике остаются достаточно высокими, которые составляют около 13% или 1,5млрд.кВт∙час энергии. Для сравнения - потери электроэнергии в развитых странах в среднем составляют 6-7%. Таким образом, у энергетического комплекса Республики имеется огромный потенциал для снижения потерь и экономии энергоресурсов.

Анализ показывает, что потери электроэнергии в РЭС обусловлены, в основном, несимметрией токов и напряжений, несанкционированными отборами электроэнергии, утечкой токов в фазах, износом и обрывом проводов линий электропередач. Исследованием причин возникновения, анализом структуры потерь электроэнергии, нормированием и разработкой мероприятий по их снижению активно занимаются научно-исследовательские коллективы, возглавляемые д.т.н. В.Э.Воротницким, д.т.н. Ю.С. Железко, д.т.н. А.А.Сапроновым, д.т.н. И.В.Наумовым,д.т.н. Ф.Д.Косоуховым, член-корр. НАН КР Т.Т.Оморовым и другими учеными. Следует также отметить большую практическую работу в этой области, проводимую инженерными коллективами ОАО «Мосэнерго», ОАО «Пятигорские электрические сети», ОАО «Ростовэнерго», ГУП «Донэнерго» России и ОАО «Северэлектро» Кыргызской Республики. Разработанные ими рекомендации и организационно-технические мероприятия по снижению технических и коммерческих потерь активно внедряются, что привело к определенному повышению технико-экономических показателей распредкомпаний.

Главной функцией существующих АСКУЭ является коммерческий учет электроэнергии, поэтому они относятся к классу информационно–измерительных систем. Анализ функциональной структуры АСКУЭ, внедряемых на объектах распредкомпаний КР показывает, что в составе этих систем не решаются такие важные задачи, как диагностика функциональных элементов и оптимизация режимов работы распредсетей, что значительно снижает их эффективность. В связи с этим возникает необходимость разработки новых функциональных подсистем, предназначенных для решения указанных задач. Диссертационная работа посвящена проблемам разработки математических моделей, методов и технологий, направленных на повышение эффективности существующих АСКУЭ. Эти обстоятельства и обуславливают **актуальность темы диссертационной работы**.

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

**Цель и задачи исследования.** Основной целью диссертационной работы является снижение потерь электроэнергии в распредсетях 0,4 кВ КР на основе разработки моделей, методов и технологий, направленных на создание диагностических и оптимизационных подсистем в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), внедряемых в настоящее время на объектах распредкомпаний.

**Задачи исследований:**

1. Анализ состояния проблемы автоматизации распредсетей 0,4кВ.
2. Разработка математической модели трехфазной распредсети 0,4кВ в условиях несимметрии по данным АСКУЭ.
3. Разработка метода идентификации и локализации несанкционированного отбора (хищения) электроэнергии в несимметричных распредсетях 0,4 кВ в составе АСКУЭ.
4. Синтез цифрового регулятора для симметрирования фазных токов в трехфазной сети в составе АСКУЭ.
5. Разработка метода локализации мест обрывов магистральной линии распредсети 0,4 кВ в составе АСКУЭ.

**Научная новизна полученных результатов:**

1. впервые построена математическая модель распредсети 0,4кВ по данным АСКУЭ в условиях несимметрии токов и напряжений;
2. на основе разработанной модели предложены новые конструктивные методы идентификации и локализации несанкционированного отбора (хищения) электроэнергии и обрывов линий электропередач внесимметричных распредсетях 0, 4 кВ в составе АСКУЭ;
3. впервые предложены идея оптимизации режима работы несимметричной распредсети 0,4кВ, а также методы и средства её практической реализации на основе цифрового автоматического регулирования процессом симметрирования фазных токов на основе данных АСКУЭ.

**Практическая значимость результатов работы:**

1. Разработанные в работе математические модели и методы ориентированы для создания алгоритмического и специального программного обеспечения новых подсистем диагностики состояний и оптимизации режимов работы распредсетей 0,4кВ, которые отсутствуют в составе существующих АСКУЭ.
2. Предложенные методы локализации несанкционированного отбора (хищения) электроэнергии и цифрового регулирования процессом симметрирования распредсетей 0, 4 кВ в составе АСКУЭ позволяют снизить потери электроэнергии в трехфазных сетях ориентировочно на 3-4% от общего объема электроэнергии, поступающей на входы распредсетей 0,4кВ.

Использование научных результатов работы позволяет существенно повысить эффективность современных АСКУЭ и технико-экономические показатели распределительных компаний КР.

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

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

1. Математическая модель трехфазной распредсети 0,4 кВ в условиях несимметрии токов и напряжений по данным АСКУЭ

2. Метод синтеза цифрового регулятора для симметрирования распредсети в составе АСКУЭ.

3. Метод идентификации и локализации мест несанкционированного отбора электроэнергии в распредсети по данным АСКУЭ.

4. Метод автоматического обнаружения и локализации мест обрывов линий электропередач в составе АСКУЭ.

5. Принцип построения и структура коммутатора фазных токов для цифрового регулирования процессом симметрирования распредсети в составе АСКУЭ.

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

**Апробации результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих семинарах и научно-практических конференциях:

* Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и математическое моделирования в науке, технике и образования», г. Бишкек, 2016г;
* Международной научной конференции «Интеграционные процессы в научно-техническом и образовательном пространстве », г. Бишкек, 2016г.;
* Международной научно-практической конференции «Современные состояние исследований в области физико-технических проблем и материаловедение в Кыргызской республике», г. Бишкек, 2016г.;
* Международном семинаре «Создание импортозамещающих производств для нужд республиканской энергетики», г. Бишкек, 2016г.;
* XXVI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в современной науке и пути их решения», г. Москва, 2016г;
* Международном научном семинаре «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики», г. Бишкек, 2017г.;
* Международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании», г. Бишкек, 2016г.;
* научных семинарах лаборатории «Адаптивные и интеллектуальные системы» и Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР.

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По результатам выполненных в диссертации исследований опубликовано 26 научных работ, в том числе в журналах, включенных в международные базы цитирования (РИНЦ, Scopus, и др.). Получено 5 патентов КР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 133 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников, который включает 91 наименования, содержит 33 рисунка и 14 таблиц. Приложения содержат описание и тексты программных средств, а также акты использования результатов работы.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы и дана общая характеристика выполненной работы. Сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, научные и практические результаты, а также основные направления исследований, приведены сведения об апробации результатов работы и ее связи с научными программами (проектами), а также полнота отражения результатов диссертации в публикациях.

**В первой главе** распределительная электрическая сеть (РЭС) в условиях несимметрии токов и напряжений рассматривается как объект исследований. Дается обзор литературы по проблемам: автоматизации распредсетей напряжением 0,4 кВ; потерь электроэнергии в РЭС в условиях несимметрии токов и напряжений; обрыва линий электропередач. Рассмотрены особенности проблемы автоматизации и оптимизации режима работы распредсети, описаны характеристики их элементов а также нормальные, аварийные и анормальные режимы работ, структуры и принципы построения распредсетей 0,4кВ. Приведены основные проблемы идентификации и диагностики состояний РЭС, структура потерь электроэнергии, проблемы снижения технических и коммерческих потерь электроэнергии. Рассмотрены структура АСКУЭ, внедряемых на объектах распределительных компаний КР, их основные функции, достоинства и недостатки.

Предметом исследований являются:

* проблема автоматизации распредсетей напряжением 0,4кВ;
* математические модели РЭС в установившемся несимметричном режиме;
* методы и алгоритмы идентификации и локализации несанкционированного отбора электроэнергии и обрывов линий электропередач распредсетей напряжением 0,4кВ;
* оптимизация режимов работы РЭС в условиях несимметрии токов и напряжений;
* структура и процесс функционирования системы управления симметрированием фазных токов;
* принцип построения и структура коммутатора фазных токов (КФТ).

**Во второй главе** четырехпроводная трехфазная распределительная электрическая сеть (РЭС) напряжением 0,4 кВ рассматривается как объект исследования. Предметом исследования являются:

* несимметричный режим работы распредсети в режиме реального времени;
* математическая модель, описывающая её динамические свойства в установившемся несимметричном режиме;
* метод и алгоритм идентификации фазовых сдвигов токов и напряжений в распредсети.

Схема замещения РЭС приведена на рис.1, - 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 токи, 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 выполняются следующие условия:

1. РЭС функционирует в условиях несимметрии токов и напряжений;
2. фазные и нейтральные провода сети имеют разные сечения, т.е. имеют различные сопротивления(≠), которые предварительно определяются и записываются в базу данных АСКУЭ;
3. в системе используются технические средства для подавления высших гармонических составляющих токов и напряжений в сети;

Рис.1. Расчетная схема трехфазной сети

. . .

. . .

**~**

**~**

**~**

1. со счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети и в трансформаторной подстанции, в базу данных АСКУЭ по каналам связи в дискретные моменты времени с шагом дискретизации ( поступают следующие данные:

* действующие значения токов и напряжений на нагрузках сети;
* коэффициенты мощности , определяемые фазовыми сдвигами между соотвествующими напряжениями и токами ().

Синусоидальные токи, напряжения, а также сопротивления нагрузок в установившемся режиме представляются в комплексной форме:

*,* (1)

*,*

где модули комплексных переменных , ,, соответственно; , , приращения фазовых сдвигов соответствующих токов и напряжений относительно их базовых значений , обусловленные несимметрией токов и напряжений в сети. При этом

*,*

Задача построения математической модели трехфазной сети в комплексной форме сводится к идентификации приращений фазовых сдвигов и , а также действующих значений (модулей) межабонентских токов ().

Решение сформулированной задачи включает следующие основные этапы:1. Оценка разностей фазовых сдвигов.

2. Определение действующих значений межабонентских фазных токов.

3. Идентификация фазовых сдвигов переменных (тока и напряжений) трехфазной сети.

*Оценка разностей фазовых сдвигов.* Рассматриваются фазы трехфазной сети, показанной на рис.1. Эквивалентные сопротивления й фазы можно вычислить по данным головного трехфазного счетчика электроэнергии:

где , , , – модуль, аргумент, вещественные и мнимые части комплексной величины соответственно.

С другой стороны для можно записать следующие выражения:

На основе соотношений (3) с учетом (4) после несложных преобразований можно получить :

где и вещественные и мнимые части известных комплексных величин , определяемых формулами

, .

Как видно из рис.1 комплексные токи , протекающие через соответствующие межабонентские фазные провода сети, при определяются выражениями

В работе показано, что действующие значения токов определяются по формулам

где вычисляется по формуле (6).

*Идентификация фазовых сдвигов переменных трехфазной сети*. Для этой цели используются балансовые соотношения (7), которыес учетом выражений (1) и (2), после несложных преобразований запишутся в виде

Путем подстановки выражений для , определяемых из равенств (5), в соотношения (8) последние можно записать в виде

где известная комплексная величина, которая вычисляется по формуле

где , ее вещественные и мнимые части соответственно.

Показано, что равенства (9) эквивалентны следующим системам алгебраических уравнений:

Соотношения (10) представляют собой систему алгебраических уравнений относительно компонентов вектора параметров, для решения которой можно использовать известные численные методы. В результате неизвестные фазовые сдвиги вычисляются по формулам (5). Полученный результат позволяет определить все переменные состояния начальных участков () трехфазной сети в комплексной форме. При этом межабонентские фазные токи определяются по формулам (2), т.е.

а соответствующие напряжения

Величина комплексного тока , протекающего через начальный участок нулевого провода, вычисляется по следующей формуле:

а соответствующее напряжение

Далее рассматриваются участки трехфазной сети с координатами (), т.е. при . При этом считается, что на основе изложенной выше вычислительной процедуры найдены приращения фазовых сдвигов для соответствующих межабонентских фазных токов и их действующие значения . Тогда в соответствии с выражениями (1) и (2) оценки комплексных токов вычисляются по формулам

где определяются выражениями (7).

Далее по известным значениям токов определяются оценки соответствующих комплексных напряжений и тока , протекающего через второй участок нулевого провода. Величины напряжений на нагрузках, имеющих сопротивления , определяются из балансовых соотношений для вторых контуров трехфазной сети (рис.1):

Тогда комплексные токи, протекающие через эти нагрузки , определяются по формулам

где приращения фазовых сдвигов .

При этом значения межабонентских комплексных токов вычисляются по выражениям (рис.1)

знание которых позволяет оценить величины напряжений , и токов , определяющих состояния контуров сети с координатами .

Таким образом, продолжая изложенную выше вычислительную процедуру можно определить все комплексные переменные (токи, напряжения), определяющие электрическое состояние трехфазной сети, функционирующей в условиях несимметрии токов и напряжений.

На основе предложенного метода разработано программное обеспечение на базе программного комплекса Matlab, которое использовано для построения математической модели несимметричной распредсети заданной структуры.

**В главе 3** рассматривается проблема оптимизации режима работы трехфазной сети в условиях несимметрии токов и напряжений. На рис.2 приведена условная схема трехфазной сети с однофазными абонентскими счетчиками электроэнергии.



ТП

Сч1

ПЭ1



Сч2

ПЭ2

Счn

ПЭn



Рис 2. Условная схема трехфазной распределительной сети

Текущее состояние сети определяется набором векторов:

(11)



*,*



Считается, что компоненты (составляющие) векторов и представлены в комплексной форме:



, *,*  , (12)



где верхние знаки **в** и **м** – здесь и далее обозначают вещественные и мнимые части соответствующих комплексных величин; – мнимое число.



Как известно счетчиками электроэнергии измеряются только модули (действующие значения) комплексных токов Предполагается, что их вещественные и мнимые части определяются по методике, приведенной в главе 2. Как известно, комплексный ток в нейтральном проводе можно представить в виде



(13)



где – сдвиг фазы; – действующее значение (модуль) тока:



(14)



Величина действующего тока в определенной степени может служить показателем качества и эффективности функционирования РЭС, так как чем меньше эта величина, тем ниже активные потери мощности в сети. Таким образом, для оптимизации режима работы сети можно использовать следующую критериальную (целевую) функцию:



(15)

Задача синтеза заключается в определении структуры и алгоритма функционирования цифрового регулятора, обеспечивающего минимизацию критериальной функции , т.е.

(

гдемножество, состоящее из набора допустимых управляющих сигналов ;оптимальный управляющий сигнал, представляющий собой командный цифровой код, который содержит информацию о координате приемника (счетчика) и наименованиях пары фаз трехфазной сети, которые необходимо переключать.



Для решение сформулированной задачи необходима идентификация пары фаз сети для осуществления требуемых переключений приемников потребителей, формирование критериальной функции *Е* и ее оптимизация, а также формирование управляющего сигнала для переключения выбранного приемника. В целях выбора требуемой пары фаз сети необходимо найти максимальное и минимальное значения среди действующих фазных токов , ,



= max{ , , }, = min{ , , }. (17)

Эти величины однозначно определяют искомую пару фаз сети, на которых имеется необходимость выполнения требуемых переключений некоторого, пока неизвестного приемника. Очевидно, что необходимо переключать приемник с фазы, где достигается, на фазу с наименьшим значением действующего тока. Для того, чтобы минимизировать количество переключений введем следующие переменные:



, ,

Определим величины Операцию переключения целесообразно осуществлять только тогда, когда выполняется следующее условие



(18)

### где; – малое положительное число, задающее максимально допустимый разбаланс фазных токов на входе сети.



Введем вектор параметров (), где , При этом критериальная функция Совокупность векторов образует дискретное множество P={}. В результате задача оптимизации (16) сводится к следующей экстремальной задаче:



где – оптимальное решение, которое определяет координату искомого приемника для переключения и требуемый управляющий сигнал на объект.

Задача оптимизации (19) имеет дискретный характер и при небольшом решается относительно просто, например, путем перебора вариантов.Общая структура САУ с цифровым регулятором приведена на рис.3.

На основе результатов решения экстремальной задачи (19) цифровая САУ формирует управляющий сигнал , который передается по каналам ТКМ на счетчик выбранного приемника и через переключающий элемент () реализует соответствующую операцию переключения. При этом структура сети и ток в нейтральном проводе изменяются во времени в зависимости от результата переключений приемников. Фазные токи на входе сети непрерывно измеряются счетчиком в трансформаторной станции (ТП) и подаются на вход САУ. Поэтому изложенная выше вычислительная процедура циклически повторяется, что обеспечивает оптимальность синтезированной системы



Объект

управления



МФУ

Цифровой регулятор



БП

МИФ

МЦО

**.**

**.**

**.**



Рис.3. Общая структура цифровой САУ

управления по критерию минимума целевой функции *Е*, определяемой соотношением (15).Регулятор системы управления реализуется на основе микропроцессорного контроллера. Его функциональная структура (рис.3) включает блок памяти (БП) и программные модули: идентификации фазовых пар (МИФ); цифровой оптимизации (МЦО); формирования управляющих сигналов (МФУС). Основная функция МИФ заключается в определении требуемых фазовых пар сети. На основе этой информации и данных о комплексных токах в сети модуль МЦО формирует критериальную функцию Е и осуществляет решение экстремальной задачи (19). На основе результатов оптимизации МФУС формирует управляющую команду на выбранный объект для реализации соответствующих переключений приемников потребителей.

Алгоритм функционирования цифрового регулятора состоит из следующих основных этапов:

1. Измерение действующих значений (модулей) компонентов комплексных векторов, представленных в (11) и (12), и передача их в концентратор данных (КД)



1. Проверка условия (18). Если оно выполняется, то переход к п.3, иначе через интервал времени к п.1.



1. Представление фазных токов и токов приемников () в комплексную форму.



1. Формирование целевой функции *Е,* определяемой соотношениями (13) и (15) на основе прогнозных значений комплексных токов .

5. Решение экстремальной задачи (19) для идентификации координаты приемника с целью его переключения на другую фазу и формирования соответствующего управляющего сигнала на объект.

6. Реализация управляющего сигнала на выбранном объекте с использованием соответствующего переключающего элемента.

7. Переход к пункту 1.

В качестве исполнительного органа в системе цифрового регулирования используется встроенный в счетчики абонентов коммутатор фазных токов(переключательный элемент), схема которого представлена на рис.4.

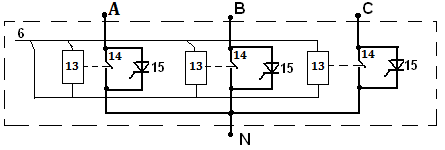


Рис.4. Схема коммутатора фазных токов

Переключения фаз происходят при переходе синусоидального тока через ноль, т.е. в момент отсутствия тока в режиме реального времени.

**В четвертой главе** формулируется и решается задача идентификации и локализации координаты несанкционированного отбора (хищения) электроэнергии (НОЭ) в четырехпроводной трехфазной сети с напряжением 0,4 кВ, расчетная схема которой показана на рис.1.

Для её решения вначале необходимо построить модель трехфазной сетив комплексной форме, что осуществляется с использованием метода, предложенного в главе 2. В каждый момент времени суммарные токи на входах фаз *,* потребляемые абонентами сети в соответствующих фазах, определяются выражениями:

Распределительная сеть характеризуется следующими состояниями:

1. нормальное (желаемое) состояние ;
2. возмущенное состояние **.**

В нормальном состоянии в РЭС отсутствуют несанкционированные отборы электроэнергии (НОЭ) и для всех выполняются следующие соотношения:

*,*

где – действующий ток на входе *k*-го линейного (фазного) провода, измеряемый счетчиком электроэнергии (Сч) на выходе источника питания – трансформаторной подстанции (ТП); где – максимально допустимая погрешность измерения токов.

В случае, когда хотя бы одно из условий (21) не выполняется сеть переходит в возмущенное состояние **,** что обуславливается наличием в ней НОЭ. При этом токи, вызванные НОЭ, определяются выражениями

где сумма абонентских токов, которая определяется по формуле (20).

Для определенности далее предполагается, что в сети действует только один несанкционированный потребитель, подключенный к фазе с номером , где , а – дискретное подмножество, состоящее из трех элементов, обозначающих номера фаз сети. При этом комплексный ток несанкционированной нагрузки определяется по формуле:

(23)

Очевидно, что место действия несанкционированного потребителя делит линейный(фазный) провод й фазы на две части соответственно с длинами и , где отсчитывается от источника питания (ТП). Поэтому величину можно принять за координату НОЭ. При этом общая длина фазного провода и его общее сопротивление определяются по следующим формулам:

где – длина МАУ от места НОЭ до конечного электроприемника; комплексные сопротивления соответствующих участков рассматриваемого фазного провода.

Идея предлагаемого подхода к локализации НОЭ основана на математическом моделировании возмущенного и желаемогосостояний трехфазной сети. При этом идентифицируются фактические и потенциально (максимально) возможные приращения напряжений на фазном и нейтральном проводах возмущенной фазы, вызванные током несанкционированного потребителя. Получены математические соотношения, описывающие функциональные связи между указанными приращениями напряжений и параметрами (сопротивлениями) в следующем виде:

Полученное соотношение позволяет определить искомую координаты НОЭ в явном виде:

где - модули комплексных напряжений соответственно. Полученные результаты легко распространяются на случай, когда в каждой фазе распределительной сети одновременно действуют по одному несанкционированному потребителю.

**В пятой главе** рассматривается задача идентификации и локализации координат обрывов фазных и нейтрального проводов РЭС, расчетная схема которой показана на рис. 1.

Предполагается, что выполняются условия, описанные главе 2. Предположим, что для момента времени при условии, что РЭС функционирует в нормальном (штатном) режиме задача определения текущего электрического состояния сети решена, в частности, определены межабонентские комплексные токи для *k*-й фазы, а также значения сопротивлений межабонентских участков нейтрального провода. Далее на основе этих данных составляются следующие векторы:

, .

Величины базовых сопротивлений , изменяются медленно в зависимости от текущих климатических условий и для достаточно длинного периода времени остаются практически постоянными, т.е. .

Как известно, в РЭС различают двух типов обрывов силовых электрических линий:

1) обрывы фазных линий;

2) обрыв нейтрального провода.

В первом случае при обрыве провода *q*-го межабонентского участка *k*-й фазы должны выполняться условия:

так как соответствующие электроприемники (нагрузки) при этом отключены от питания. Тогда структура вектора имеет следующий вид:

где**≠**, .

Анализ показывает, что при обрыве провода η-го межабонентского участка нейтрального провода имеют место следующие соотношения для компонентов вектора :

, (27)

,

где – текущее значение сопротивления, определенного для рассматриваемого дискретного момента времени *t*. При этом вектор имеет следующий вид:

.

Таким образом, во втором случае при выполнении условия (27) векторы и не являются равными, т.е.

. (28)

Очевидно, что в штатном режиме работы РЭС (при отсутствии обрывов линий электропередач) с определенной точностью выполняется условие .

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие критерии для локализации обрывов фазных и нейтрального проводов сети:

* **Критерий 1**: при обрыве провода *q*-го участка *k*-й фазы для вектора выполняется условие (26).
* **Критерий 2**: при обрыве η-го участка нейтрального провода выполняются условия (27) и (28).

Сформулированные критерии можно рассматривать как методологическую и алгоритмическую основу для разработки подсистемы диагностики состояний линий электропередач распределительных сетей в составе АСКУЭ.

**ВЫВОДЫ**

Диссертационная работа посвящена актуальным проблемам совершенствования автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), которые в настоящее время внедряются в целях комплексной автоматизации и информатизации процессов в распределительных электрических сетях (РЭС) Республики. Анализ показывает, что основной задачей этих систем является коммерческий учет электроэнергии. В то же время дальнейшее повышение эффективности этих информационных систем связано с необходимостью разработки новых подсистем, предназначенных для выполнения функций диагностики функциональных элементов и оптимизации режимов работы распределительных сетей, которые в настоящее время отсутствуют в составе существующих АСКУЭ.

Основные научные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана математическая модель трехфазной распредсети 0,4кВ в условиях несимметрии токов и напряжений по данным АСКУЭ.

2. Предложен метод цифрового автоматического регулирования процессом симметрирования распредсети 0,4кВ составе АСКУЭ.

3. Разработан метод автоматической идентификации и локализации мест несанкционированного отбора (хищения) электроэнергии в трехфазной распредсети 0,4кВ по данным АСКУЭ.

4. Разработан метод обнаружения и локализации мест обрывов линий электропередач распредсети по данным АСКУЭ.

5. Разработаны принцип построения и структура коммутатора фазных токов для цифрового автоматического регулирования

Разработанный в диссертации модели, методы и технологии, ориентированы для создания алгоритмического и специального программного обеспечения новых функциональных подсистем АСКУЭ, внедряемых на объектах распределительных компаний Кыргызской Республики. Результаты исследований использованы в ОАО «Северэлектро» для построения модели распредсети напряжением 0,4кВ, на основе которой выполнены расчеты по решению задач локализации мест утечек тока в трехфазной сети. Разработанные методы руководством ОАО «Северэлектро» рекомендованы НПО «МИР» (Россия, г.Омск) для создания новых функциональных подсистем в составе АСКУЭ. Результаты работы также использованы в учебном процессе КГТУ им.И. Раззакова для подготовки бакалавров и магистров по направлениям: электротехника и электроэнергетика; управление в технических системах.

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. **Такырбашев, Б.К.** Идентификации координаты несанкционированного отбора электроэнергиив распределительной сети в составе АСКУЭ[Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Р.Ч Осмонова, Т.Дж. Койбагаров //–М.: Контроль. Диагностика.-2019. - №1. - С. 50-55
2. **Такырбашев, Б.К.** Методидентификация неизмераемых параметров распределительной электрической сети в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов. //

–М.: Электротехника. -2018. -№6. -С. 18-21.

1. **Takyrbashev, B.K.**A method for identification of nonmeseasurable parameters of a distribution electiric grid systems of automation of control end accounting of electric power[Текст] /B.K.Takyrbashev**,**Т.Т. Omorov// Russian Electrical Engineering. -2018. T.89. -№3.-С. 152-155.
2. **Такырбашев, Б.К.**К проблеме диагностики обрывов электрических линий трехфазных распределительных электрических сетей в составе АСКУЭ[Текст] / Т.Т. Оморов.,Б.К. Такырбашев, К.Э. Закиряев //–М.: Электричество. -2018. **-**№8. -С.24-28 .
3. **Такырбашев, Б.К.**Идентификацияутечек тока в распределительных сетях по данным АСКУЭ[Текст] / Т.Т. Оморов.,Б.К. Такырбашев,Ч.К.Осмонова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. -2018.-№2. -С. 48-54.
4. **Takyrbashev,B.K.**Identificationoflinesofelectriclinesofthree-phasedistribution networks in the composition of ASME[Текст] /B.K.Takyrbashev,Т.Т. Omorov//Всборнике: E3 WebofConferences-2017. -рр. 02010.
5. **Такырбашев, Б.К**. Идентификация обрывов электрических линий трехфазных распределительных сетей в составе АСКУЭ [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, К.Э. Закиряев // В сборнике: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики Материалы Международного научного семинара им Ю.Н Руденко: сб.науч. тр. Иркутск.-2017. - С. 323-327.
6. **Такырбашев,Б.К.** Диагностика состояний электрических линий распределительных сетей в составе АСКУЭ [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. //–М.: Контроль. Диагностика. -2017. -№2.-С. 37-41.
7. **Такырбашев Б.К**. К расчету трехфазных распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. //–М.: Энергетик. -2017.-№4. -С.28-31.
8. **Такырбашев, Б.К**. К проблеме моделирования несимметричных распределительных электрических сетей в составе АСКУЭ [Текст] / Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. // Вестник Южно-Уральского государственного унивеситета. -2017. -№1. -С. 21-28.
9. **Такырбашев, Б.К.**Определение параметров распределительных сетей 0,4 КВ по данным АСКУЭ [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова// –М.: Энергетик. -2017. -№6. -С.37-40.
10. **Такырбашев, Б.К.** К проблеме оптимизации несимметричных режимов работы распределительных сетей. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. -2016. -№6. –С.11-15
11. **Такырбашев, Б.К.** Идентификация состояния распределительной электрической сети в системах автоматизации учета и управления энергопотреблением. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов // –М.: Мехатроника, автоматизация, управление. -2016. -№10.-С.3-10.
12. **Такырбашев, Б.К.** Идентификация дополнительных потерь мощности в распределительной сети в автоматизированной системе контроля и учета электроэнергии. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, // Электричество. -2016. -№11, **-**С**.** 4 -11.
13. **Такырбашев, Б.К.** Об идентификации параметров распределительной сети в системах автоматизации процессов энергопотребления [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. //Евразийский союз ученых. -2016. -№ 5-2 (26). -С. 63-66.
14. **Такырбашев, Б.К.** 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.
15. **Takyrbashev, B.K.** Synthesis of the managing director of the subsystem for optimization of the operating mode of the distributive electric network. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. //Engineering Studies. -2016.-№3. (Scopus) -pp. 606-615.
16. **Такырбашев, Б.К.** Идентификация параметров распределительной сети в системах автоматизации процессов энергопотребления. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. // Наука и новые технологии. – -2016. -№ 3. -С. 15-19.
17. **Такырбашев, Б.К.** Моделирование распределительных сетей в АСКУЭ. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. // Известия КГТУ им.И.Раззакова. -2016.-№3(39), часть 1. -С.427-434.
18. **Такырбашев, Б.К.** Метод идентификации состояний распределительных сетей в условиях неопределенности. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. // Известия КГТУ им.И.Раззакова. -2016.-№3(39), часть 2. –С.126-131.
19. **Такырбашев, Б.К.** К построению модели физических процессов в распределительных электрических сетях. [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Ч.К.Осмонова. // Физика -2016.-№2. -С.114-124.
20. **Такырбашев, Б.К.** Патент № 1983(КР). Система проводной телеметрии по линям электроснабжения [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, А.В. Новиков, А.Г Боронин// Бюллетень -2017.-№8.–С.12-13.
21. **Такырбашев, Б.К.** Патент № 1984 (КР). Устройство передачи информации по PLC- телеметрии [Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, А.В. Новиков, А.Г Боронин. // Бюллетень -2017.-№8.–С. 14-15.
22. **Такырбашев, Б.К.** Патент № 1935 (КР). Способ локализации мест несанкционированного отбора электроэнергии в электросетях 0,4кВ[Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов// Бюллетень -2018.-№1.–С. 14-15
23. **Такырбашев Б.К.** Патент № 2101 (КР). Способ симметрирования фазных токов распределительной сети 0,4кВ и устройство его осуществления[Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, А.В. Новиков, А.Г Боронин. // Бюллетень -2018.-№10.–С.16-17.
24. **Такырбашев Б.К.** Патент № 2102 (КР). Способ диагностики и защиты от обрывов электрических линий трехфазных распределительных сетей 0,4кВ в составе АСКУЭ[Текст] /Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, Т.Дж. Койбагаров, К.Э. Закиряев. // Бюллетень -2018.-№10.-С17-18.

**КЫСКАЧА МАЗМУНУ**

Такырбашев Бейшеналы Касымалиевич

**«Электр энергиясын контролдоонун жана эсептөөнүн заманбап автоматташтырылган тутумдарынын майнаптуулугун жогорулатуунун математикалык моделдерин жана ыкмаларын өнүктүрүү»**

*деген аталыштагы 05.13.06 – автоматташтыруу жана өндүрүштөрдү жана технологиялык процесстерди башкаруу адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаттыгын жактоо диссертациясы*

**Негизги сөздөр:** башкаруунуавтоматташтыруу,башкаруу объектиси, снариптик жөндөгүч, автоматтык башкаруу системасы, ыкмалар, алгоритмдер, математикалык моделдер, идентификациялоо, бөлүштүргүч электр тарамы, ток, чыңалуу, зымдын үзүлүшү, электр энергияны жоготуу, теңдешсидик тартиби.

**Изилдөөнүн объектиси:** чыңалуусу 0,4кВ болгон бөлүштүргүч электр тарамы; электр энергияны контролдоочу жана эсептөөчү автоматташтырылган тутум; электр энергияны алып баруучу линия; кардарлардын жүктөрү.

**Изилдөөнүн максаты:** заманбап ЭКЭАТтын курамындагы аныктоочу жана ылайыкташтыруучу көмөкчү системага багытталган жаңы ыкмаларды жана моделдерди иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн ыкмалары:** автоматтык башкаруу теориясынын ыкмалары,электротехниканын теориялык негизи.

**Изилдөөнүн негизги натыйжалары:** төмөндөгүдөйжаңы ыкмалар жана алгоритмдер иштелип чыккан: автоматттык башкаруу системасынын ичине кирген санариптик жөндөгүчтү синтездөө; зымдардын үзүлгөн жерлеринин ордун аныктоо; уурдалып жаткан электр энергиянын ордун так аныктап табуу.

**Изилдөөнүн наыйжаларын колдонуу:** иштелип чыккан жаңы ыкмалар жана алгоритмдер И.Раззаков ат. КМТУнун окуу процессинде жана ААК “Северэлектро”, андан башка НПО “Мир”ге АКЭАТтын курамына кирген жаңы көмөкчү тутум түзүүгө снушталган.

**Колдонуу тармагы:** изилдөөнүн жыйынтыктары ЭКЭАТтын курамына кирген жаңы дигностоочу жана оптималдаштыруу көмөкчү тутумду түзүү үчүн колдонулушу мүмкүн.

**РЕЗЮМЕ**

диссертации Такырбашева Бейшеналы Касымалиевича на тему:

**«Развитие математических моделей и методов повышения эффективности современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии»**

*на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами*

**Ключевые слова:** автоматизация управления, объект управления, регулятор, система автоматического управления, методы, алгоритмы, распределительная электрическая сеть, математические модели, идентификация, ток, напряжения, обрыв провода, потери электроэнергии, несимметричный режим.

**Объекты исследования:** распределительные электрические сети; автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ); линии электропередач; нагрузки потребителей электроэнергии.  
**Предмет исследования:**

* математическая модель, описывающая её динамические свойства в установившемся несимметричном режиме;
* метод и алгоритм идентификации фазовых сдвигов токов и напряжений в распредсети.

**Основная цель исследования:** разработки моделей и методов, направленных на создание диагностических и оптимизационных подсистем в составе современных АСКУЭ

**Методы исследований:** методы теории автоматического управления, теоретические основы электротехники.

**Основные результаты работы:**  разработаны новые методы и алгоритмы:

синтеза цифрового регулятора в составе системы автоматического управления (САУ) процессом симметрирования распределительной сети; идентификации и локализации мест несанкционированного отбора (хищения) электроэнергии в трехфазной распредсети; обнаружения и локализации мест обрыва проводов линий электропередач.

**Использование результатов исследований:** разработанные методы и алгоритмы использованы в ОАО «Северэлектро» для расчета САУ распредсети напряжением 0,4кВ, а также в учебном процессе КГТУ им.И. Раззакова для подготовки бакалавров и магистров по направлениям: электроснабжение и энергосбережение; управление в технических системах.

**Область применения:** результаты исследований могут быть применяться для создания новых диагностических и оптимизационных подсистем АСКУЭ

**THE RESUME**

Dissertations Tarerbashev Beishenaly Kasymalievic on a theme:

**«Development of mathematical models and methods of increase of efficiency of the modern automated monitoring systems and the electric power account»**

*On competition of a scientific degree of a Cand.Tech.Sci. on a speciality 05.13.06 - automation and management of technological processes and manufactures*

**Keywords:** management automation, object of management, a regulator, automatic control system, methods, algorithms, a distributive electric network, mathematical models, identification, a current, pressure, breakage of a wire, electric power loss, an asymmetrical mode.

**Objects of research:** distributive electric networks; the automated monitoring system and the electric power account (AMS); electric mains; loadings of consumers of the electric power.

**Research main objective:** workings out of models and the methods directed on creation of diagnostic and optimising subsystems as a part of modern AMS

**Methods of researches:** methods of the theory of automatic control, theoretical bases electrical engineers.

**The basic results of work:** new methods and algorithms are developed:

Synthesis of a digital regulator as a part of automatic control system process of balancing of a distributive network; identifications and localisations of places of not authorised selection (plunder) of the electric power in three-phase распредсети; detection and localisations of places of breakage of wires of electric mains.

**Use of results of researches:** the developed methods and algorithms are used in Open Society "Severelektro" for calculation САУ распредсети by pressure 0,4кВ, and also in educational process КГТУ of I.Razzakova for preparation of bachelors and masters in directions: electrosupply and энергосбережение; management in technical systems.

**Scope:** results of researches can be to be applied to creation of new diagnostic and optimising subsystems AMS