

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ  
РЕСПУБЛИКИ  
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. И. РАЗЗАКОВА**

---

Диссертационный совет Д. 05.12.002

На правах рукописи  
УДК.: 621.3.017.6:621.316.1(043.3)

**КУРЖУМБАЕВА РОЗА БЕЙШЕНБЕКОВНА**

**УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4–35 КВ**

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические  
системы

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Бишкек 2013**

Работа выполнена на кафедре «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, профессор  
КГТУ им И.Раззакова

**Суеркулов Манас Асанбекович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,

кандидат технических наук,

**Ведущая организация:** ОАО «Северэлектро»

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д.05.12.002 при Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета им.И.Раззакова

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направить по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66. Кыргызский государственный технический университет, диссертационный совет Д.05.12.002 .

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д.05.12.002  
кандидат технических наук, доцент

Исаева Э.Б.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Передача и распределение электроэнергии с наименьшими потерями в электрических сетях в условиях возрастающего потребления имеет особое значение.

Потери электроэнергии – важнейший показатель экономичности работы электрических сетей, следовательно, необходимы эффективные средства их снижения. Одним из таких средств является организация управления уровнем потерь электроэнергии. Задачи управления включают в себя такие разделы как: расчеты технических потерь энергии в элементах сети, проводимые с целью их анализа и снижения; нормирование потерь, т.е. установление для рассматриваемого периода времени приемлемого по экономическим критериям уровня потерь; разработка мероприятий по снижению потерь.

К настоящему времени разработано большое количество методов расчета технических потерь электроэнергии. Эти методы – результаты многолетней работы большой армии специалистов, которые в различные годы посвятили себя уточнению расчетов потерь в сетях. Несмотря на это вопрос и поныне остается актуальным и до конца не изученным. Это связано с тем, что отсутствует полная и достоверная информация о нагрузках электрических сетей всех ступеней напряжения. Причем, чем ниже номинальное напряжение сети, тем менее полная и достоверная информация о нагрузках имеется в наличии.

Таким образом, имеется необходимость в разработке научно-обоснованной методики расчета потерь электроэнергии в электрических сетях и использования новых методов обработки информации при их анализе, а также моделирования графиков нагрузок с целью их прогнозирования.

**Актуальной** является и разработка более совершенной автоматизированной экспериментальной установки для исследования влияния вероятностных законов функционирования потребителей, влияющих на формирование графиков электрических нагрузок и других факторов на величину потерь в электрических сетях.

Большой вклад в решение различных аспектов рассматриваемых в диссертации проблем внесли такие видные ученые как: В.А.Веников, В.Э.Воротницкий, О.Т.Гераскин, Ю.С.Железко, В.Н.Казанцев, Г.Е.Поспелов, Н.М.Сыч и мн. другие. На базе их исследований разработано большое количество различных методов, математических моделей и программ. Однако, как показывает опыт эксплуатации, это не снижает актуальности дальнейших исследований как в направлении создания новых, так и повышении эффективности существующих способов расчета и снижения потерь ЭЭ.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами и с основными научно-исследовательскими работами.** Актуальность проблемы подтверждается также тем, что рассматриваемая работа входит в общий комплекс вопросов научно-исследовательских работ, проводимых в НИИ энергетики и связи при КГТУ им. Раззакова и финансируется по линии Министерства образования и науки Кыргызской Республики.

**Цель работы** заключается в повышении эффективности работы распределительных электрических сетей путем организации управления уровнем потерь электроэнергии.

Для реализации поставленной цели решены следующие основные задачи:

1. Проведен анализ потерь электроэнергии и выполнена оценка факторов, влияющих на их величину в распределительных электрических сетях 0,4 – 35 кВ;
2. Выполнен анализ методов расчета потерь электроэнергии в электрических сетях.
3. Разработана методика расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях;
4. Разработана экспериментальная установка с элементами АСНИ для анализа степени влияния различных факторов на величину потерь электроэнергии в элементах электрической сети.

**Научная новизна работы состоит в том, что:**

1. Оценена степень влияния ранее неучтенных факторов на потери электроэнергии в распределительных сетях 0,4–35 кВ;
2. Разработана основанная на тензорном методе методика расчета технических потерь ЭЭ в распределительных электрических сетях со сложной топологией;
3. Разработан на основе предложенной методики алгоритм и комплексная программа расчета потерь ЭЭ;
4. Разработана новая методика планирования мероприятий и организационного управления уровнем потерь ЭЭ;
5. Разработана и внедрена в учебный процесс КГТУ автоматизированная экспериментальная установка, позволяющая тестировать степень адекватности методов расчета потерь электроэнергии в электрических сетях.
6. Предложен метод измерения реальной величины потерь ЭЭ в элементах сети.

**Практическая и экономическая значимость** полученных результатов и выводов связана с возможностью снижения потерь ЭЭ в распределительных электрических сетях и заключается в разработке методики расчета потерь электроэнергии и алгоритма расчета потерь ЭЭ, на основе которых разработана программа расчета. Экономический эффект заключается в снижении потерь ЭЭ в рассматриваемых сетях за счет уточнения нормативов потерь ЭЭ. Дополнительно выявлены потери ЭЭ в объеме 63,116 млн.кВтч в год за счет ранее неучтенных составляющих норматива.

Новизна и значимость технических решений подтверждены актами внедрения и регистрацией программы для ЭВМ Государственной патентной службой КР № 196 «Комплексная программа расчета потерь ЭЭ в РС 0,4 – 35 кВ РТРКТU 1.0», созданных в процессе выполнения диссертации, и публикациями в научных изданиях.

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

1. Результаты анализа потерь электроэнергии и оценка факторов, влияющих на их величину в распределительных электрических сетях 0,4 – 35 кВ;

2. Методика расчета потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях;

3. Комплексная программа расчета потерь ЭЭ, на основе разработанной методики;

4. Методика планирования и организация управления уровнем потерь электроэнергии в распределительных сетях;

5. Автоматизированная экспериментальная установка с элементами АСНИ для исследования степени адекватности методов расчета потерь ЭЭ в электрических сетях.

#### **Личный вклад соискателя**

Все научно-технические результаты диссертационной работы, в основном, получены лично автором. При выборе направления исследований, постановке ряда научных задач и систематизации результатов НИР автор получил эффективную помощь от научного руководителя.

#### **Апробация результатов исследования и их публикации**

Основные результаты выполненной работы докладывались и обсуждались на международных научных конференциях: «Повышение эффективности энергосистем и режимов работы их элементов», (Фрунзе, 1989); «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях», (Алматы, 1998); «Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства», (Бишкек, 1999); «Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве» (Бишкек, 2001); «Энергосбережение – проблемы, современные технологии и управление» (Бишкек, 2003); «Снижение потерь энергии в электрических сетях» (Бишкек, Минпромэнерго, 2009); «Энергобезопасность и энергоэффективность: состояние и проблемы» (Бишкек, 2011) и на республиканской научно – практической конференции «Электроэнергетическая безопасность Кыргызстана» (Бишкек, 2004).

Также результаты работы докладывались на расширенном заседании кафедры «Электроснабжение», на научных семинарах НИИ энергетики и связи при КГТУ и на научном семинаре КНТЦ «Энергия» при Министерстве энергетики КР.

На основании результатов выполненной работы, Исполнительным Советом Госагентства по энергетике при Правительстве КР утверждены: «Временная методика расчета норматива потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4–35 кВ ОАО «Северэлектро», Постановление № 32 от 08.02.2003 г.

**Публикации.** Основные научные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 17 печатных работах, из них 2 статьи изданы в иностранных журналах, 5 статей в личном авторстве, 7 статей в издательствах, рекомендованных ВАК КР, и получено Свидетельство № 196 на программу для

ЭВМ «Комплексная программа расчета потерь ЭЭ в распределительных сетях 0,4–35 кВ. RTRKTU 1.0» в Государственной патентной Службе КР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Содержание диссертации изложено на 134 страницах компьютерного текста, имеется 12 таблиц, 38 рисунка, документы о внедрении результатов, копия свидетельства, приложения с распечатками разработанных программ. Список литературы содержит 78 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

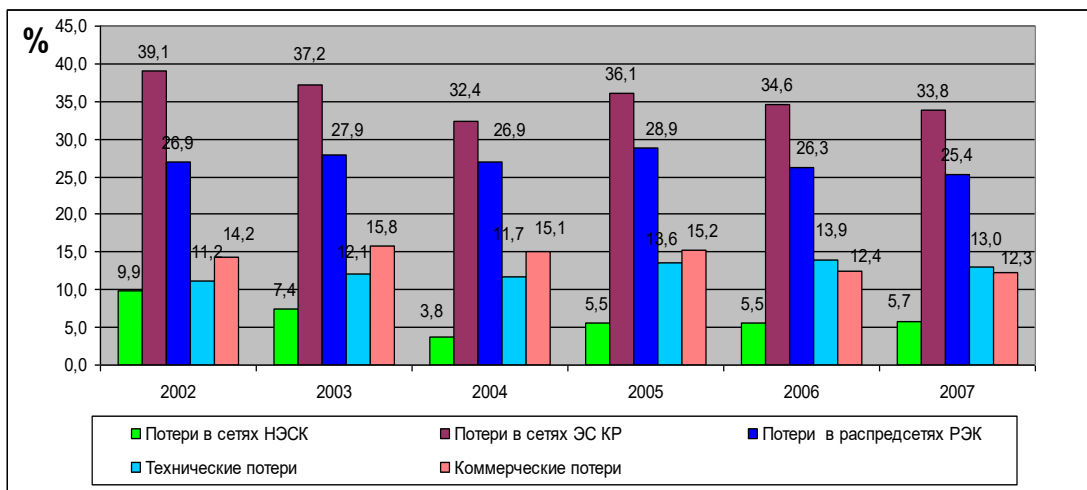
**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и основные направления исследований, приводится структура диссертации и краткое содержание работы.

**В первой главе «СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ»** выполнен анализ динамики и причин роста потерь электроэнергии в распределительных энергокомпаниях (ОАО «Северэлектро»). Приведены результаты экспериментального и расчетно-теоретического исследования степени влияния факторов на потери электроэнергии в распределительных сетях 0,4-35 кВ, рассмотрены существующие методы расчета потерь электроэнергии и определены задачи управления уровнем потерь ЭЭ в распределительных сетях.

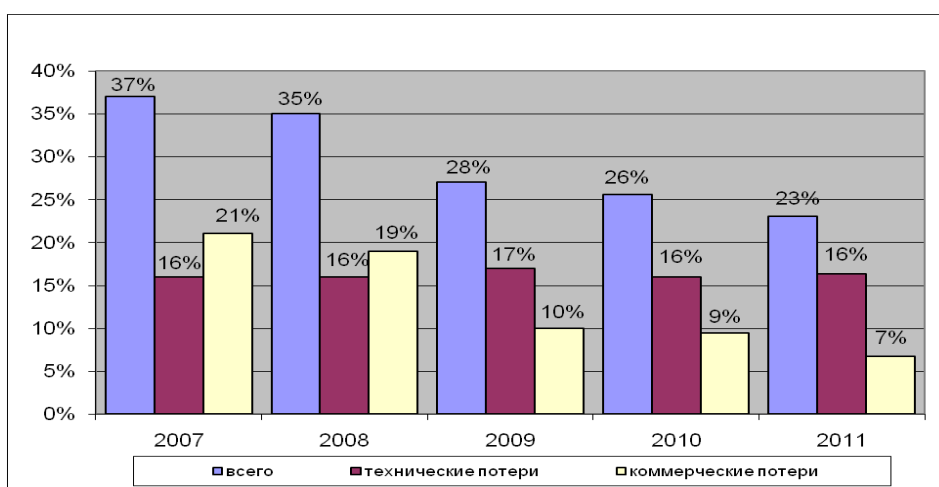
Выводы, сделанные по результатам анализа, сводятся к тому, что реструктуризация энергосистемы привела к ослаблению контроля за результатами производственно-хозяйственной деятельности распределительных компаний. Следствием этого процесса является необоснованный рост потерь электроэнергии в электрических сетях.

Потери ЭЭ имеют различную природу возникновения и оценки, они оказывают существенное влияние на процесс формирования финансовых потоков в отрасли и на уровень тарифов на электроэнергию. Состояние потерь электроэнергии в электрических сетях КР наглядно иллюстрируют диаграммы, на которых приведены потери ЭЭ в зависимости от количества произведенной электроэнергии (рис. 1) и динамика потерь ЭЭ одной из распределительных компаний (ОАО «Северэлектро») (рис. 2).

Причинами роста потерь электроэнергии являются: изменение структуры потребления электроэнергии; сезонные колебания потребляемой мощности, высокая степень изношенности оборудования, отсутствие достаточных финансовых средств для проведения его ремонта и восстановления, что приводит к возникновению аварий и дальнейшему росту потерь энергии, а также несбалансированность существующей тарифной политики, низкий тариф на электроэнергию позволяет использовать ее на электроотопление.



**Рис.1. Потери электроэнергии от количества произведенной электроэнергии**



**Рис. 2. Динамика потерь электроэнергии ОАО «Северэлектро»**

Потери электроэнергии в сетях и связанные с ними ущербы существенно подрывают экономику не только самих распределительных энергокомпаний (РЭК), но и других хозяйствующих субъектов. РЭКом Кыргызстана до сих пор не удается предложить и реализовать эффективные меры по их снижению. Если техническая составляющая потерь неизбежна и приходится ставить вопрос только о поиске путей их снижения, то в отношении другой ее составляющей – коммерческой, следует ставить задачу об ее исключении.

В связи с этим проблема обоснованного расчета и анализа технических потерь является актуальной по следующим причинам:

- величина коммерческих потерь, связанных с хищениями электроэнергии, несовершенством системы учета, достаточно велика и значительно ухудшает экономические показатели всей энергосистемы и отдельных ее структурных подразделений;

- в условиях разделения энергосистемы на отдельные компании возрастает актуальность корректного выделения коммерческих и технических потерь и их дифференцирования по отдельным распределительным компаниям, районам и участкам электрических сетей;

- реальное снижение потерь электроэнергии невозможно без локализации очагов потерь и небалансов электроэнергии.

Для того чтобы принять наиболее эффективные меры по снижению потерь, необходимо знать, где и по каким причинам они происходят. В связи с этим основной задачей расчета и анализа потерь является определение их детальной структуры (рис. 3), выявление конкретных очагов потерь и оценка возможностей их снижения до экономически оправданных значений.

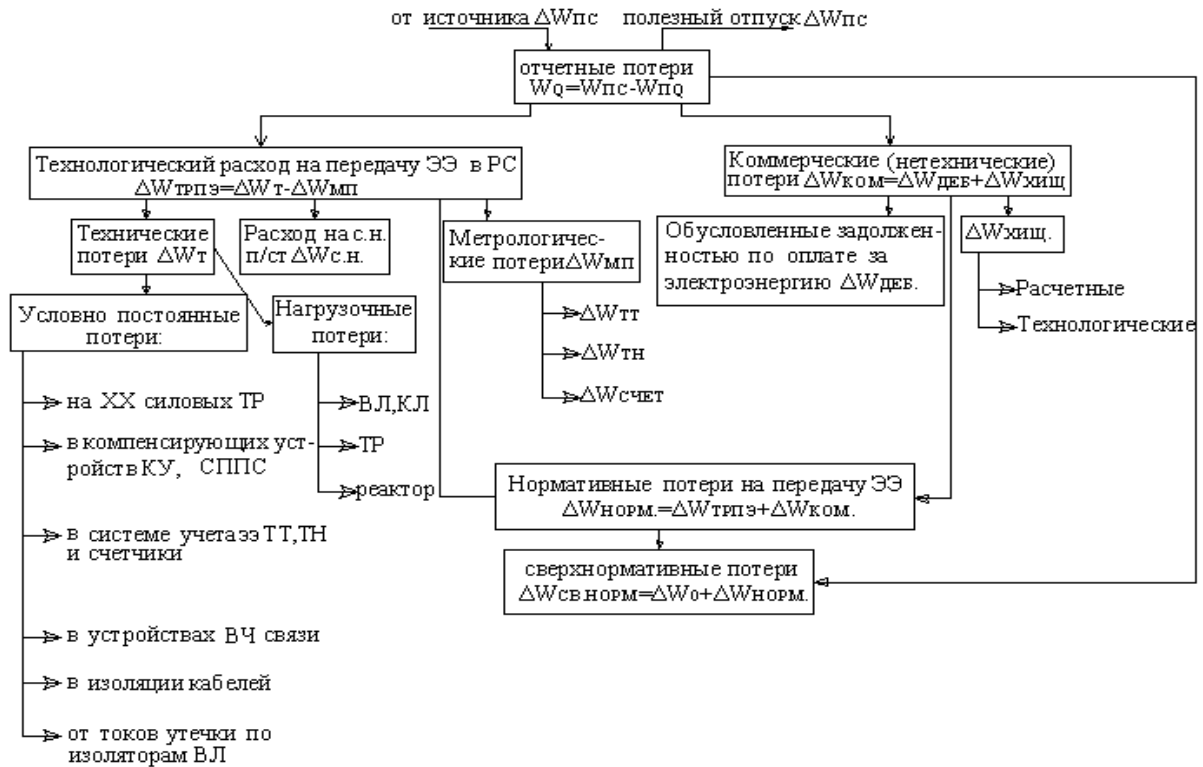


Рис. 3. Структура потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях

Отчетные потери состоят из

$$\Delta W_o = \Delta W_T + \Delta W_{ПС} + \Delta W_{МП} + \Delta W_K,$$

где  $\Delta W_T = \Delta W_{ЛЭП} + \Delta W_{ТР} + \Delta W_{ИС} + \Delta W_{ИЗ}$  - технические потери,

где  $\Delta W_{ЛЭП} = \Delta W_{Л35} + \Delta W_{Л10} + \Delta W_{Л0,4}$  - потери в ЛЭП;

$\Delta W_{ТР} = \Delta W_{ТР35/10} + \Delta W_{ТР10/0,4}$  - потери в трансформаторах;

$\Delta W_{ИЗ} = \Delta W_{ТТ} + \Delta W_{ТН} + \Delta W_{счет10} + \Delta W_{счет0,4}$  - потери измерительной системы,

где  $\Delta W_{ТТ}$  - технические потери в трансформаторах тока;

$\Delta W_{счет10}$  - технические потери в счетчиках 6-10 кВ;

$\Delta W_{счет0,4}$  - технические потери в счетчиках 0,4 кВ;

$\Delta W_{МП} = \Delta W_{Тг} + \Delta W_{ТгУ} + \Delta W_{смету}$  - потери, обусловленные систематическими

погрешностями при учете ЭЭ.

$\Delta W_{технол} = \Delta W_T + \Delta W_{ПС} + \Delta W_{МП}$  - технологический расход ЭЭ.

$\Delta W_K = \Delta W_o - \Delta W_{технол} = \Delta W_{МП} + \Delta W_{хищ}$  - коммерческие потери.

В процессе исследования проведен эксперимент по исследованию технических потерь в сетях 0,4 кВ. Расчет и анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:



1. В сетях 0,4 кВ с коммунально-бытовыми потребителями коэффициент неравномерности фаз изменяется от 0 до 0,47, что увеличивает потери ЭЭ от 1 до 2,1 раз, а в предельном случае, когда  $K_{нес} = 1$ , до 6 раз;
2. Экспериментально определен по сезонам года коэффициент несимметрии и типовой суточный график для характерных потребителей;
3. Одним из мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ признать увеличение сечения нулевого провода до величины, равной или даже большей, сечения фазного провода.

Перед РЭКами стоит задача - снизить потери в соответствии с прогнозируемым планом снижения потерь. Для этого необходимо разработать новые подходы к решению поставленной задачи, так как существующие методы снижения потерь ЭЭ в РЭКах не дали желаемого результата.

Широко применяемые в настоящее время традиционные методы расчета и нормирования потерь ЭЭ не обеспечивают удовлетворительной точности инженерных расчетов для достоверной оценки эффективности мероприятий по снижению потерь, особенно для элементов схемы сети. При расчетах потерь мощности и ЭЭ в электрических сетях разных номинальных напряжений необходимо учитывать их особенности, заключающиеся в различиях по схемам, режимам и информационной обеспеченности.

Результаты анализа существующих методов расчета потерь электроэнергии в электрических сетях приведены в табл. 1 и 2.

В таблице 1 приведена классификация методов расчета потерь электроэнергии в электрических сетях, а также факторы, влияющие на точность расчета. В таблице 2 – область применения методов расчета потерь электроэнергии в электрических сетях.

Выбор методики для проведения расчетов потерь ЭЭ определяется многими факторами: наличием исходных данных и степенью сложности их подготовки, наличием ЭВМ и соответствующего прикладного программного обеспечения и, наконец, готовностью и заинтересованностью персонала в использовании современных методов расчета потерь электроэнергии.

Расчет потерь ЭЭ в электрических сетях по существующей программе «Расчет потерь в распределительных сетях 10(6)-0,4 кВ по пропуску» не оправдывает себя, т.к. имеет высокую погрешность.

Обоснование тарифов в РЭКах требует определенного пересмотра подходов к методам расчета и программному обеспечению для определения технических потерь ЭЭ. К основным требованиям можно отнести следующее: повышение точности расчетов, возможность контроля объективности исходных данных и получаемых результатов, интеграция с информационными системами, ОУИК, АИИС КУЭ, подсистемами автоматизации энергосбытовой деятельности.

Расчеты потерь ЭЭ в современных условиях выполняются с целью разработки мероприятий по уменьшению затрат на транспорт электрической энергии, определения коммерческих потерь и выделения «очагов» этих потерь, обоснования затрат на транспорт ЭЭ при формировании тарифов.

Практически все применяемые методы расчета потерь ЭЭ основываются на неизменности схемы электрической сети и параметров ее элементов в течение расчетного периода времени. Однако схема сети постоянно изменяется с течением времени, как в связи с аварийными выходами из работы линий электропередачи и трансформаторов, или запланированным выводом оборудования в ремонт, так и в связи с реконструкцией сети, строительством новых линий, вводом дополнительных трансформаторных мощностей и источников реактивной мощности. Более тщательного изучения влияния схемы сети на потери до настоящего времени не проводилось. Обзор современного состояния проблем расчета, анализа и снижения потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях КР позволяет сделать следующие выводы:

1. В условиях функционирования автоматизированной системы, позволяющей определять потери ЭЭ путем использования информации АСУ и АИИС КУЭ, целесообразно развивать методы расчета технических потерь ЭЭ, базирующиеся на оперативных расчетах, средних нагрузках и теории энергораспределения, а также используя результаты непрерывного мониторинга потерь в сетях. Это позволит управлять уровнем потерь за счет оперативных действий;

2. Основными тенденциями применения современных информационных технологий, в том числе и при расчете, анализе и снижении потерь ЭЭ в сетях, являются: объединение в едином комплексе нескольких расчетных модулей, работающих с единой БД, интегрированной с АИИС КУЭ и другими подсистемами АСУ.

Учитывая, что снижение потерь ЭЭ — работа длительная и трудная, требующая активной, целенаправленной деятельности, которая должна осуществляться в соответствии со специально разработанным проектом, требует значительных материальных средств на организацию и совершенствование учета ЭЭ, на расчеты и анализ технических потерь, на создание информационной системы по потребителям электроэнергии и т.п.

В целом, проблема снижения потерь ЭЭ в РЭКах как составная часть энергосбережения в энергетических системах требует решения задач научно-технического характера по направлениям: методическое, техническое, экономическое и нормативное.

**Вторая глава «РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ»** посвящена применению тензорного метода Крона для расчета потерь ЭЭ в распределительных сетях со сложной топологией.

Обосновывается необходимость этого аппарата для оперативного расчета режимов в темпе изменения топологии сети. При разработке учтены результаты работы А.Е.Петрова «Тензорный метод двойственных сетей», где им сформулировано понятие «инвариант двойственных сетей». Оно выражается в постоянстве суммы метрических тензоров двойственных сетей при изменении



Таблица 2. Область применения методов расчета потерь электроэнергии

	Детерминированные методы								Вероятностно-статистические методы		Вероятностно-детерминированные методы			
	Метод по элементарных	Метод характерных	Метод характерных	Метод числа часов наибольших потерь	Метод средних нагрузок	Метод эквивалентных	Метод удельных транспортных	Метод обобщенных	Регрессионный анализ	Факторный анализ	Методика 1 КТУ	Методика 2 КТУ	Методика 3 КТУ	Методика 4 КТУ
Область применения методики расчета потерь электроэнергии и погрешность расчета (ретроспективные расчеты)														
Транзитные сети	+	+									+			*L
Замкнутые сети 110 кВ и выше	+	+	+	(+)							+			*L
Радиальные сети 35-220 кВ	+		+	(+)									*L	
Распределительные сети 6-10 кВ	+			+		(+)	+	+	+	+			*L	
Сети до 1000 В	+			+		(+)						*L		

Примечание: + - рекомендуемые разработчиками; (+) – используются в электрических сетях НЭСКа и РЭКов;

\* - разрабатываемые в КГТУ для подразделений энергосистемы

структуры. Благодаря этой работе появилась возможность применения тензорного метода для расчета потерь ЭЭ в распределительных сетях. Сущность метода заключается в следующем: двойственность разрешает противоречия, связанные с постулатом об инварианте мощности Крона. В физическом пространстве инвариант проявляет себя как закон сохранения потока энергии, обладая фундаментальными свойствами.

Практическим следствием метода являются алгоритмы расчета сетей и сетевых моделей с переменной структурой. Это позволяет рассчитать поведение системы при изменении связей, включая разрывание на части. Взаимные воздействия при разрывании (или наложении) связей отражаются в двойственной сети. Расчет сложной системы по частям можно выполнить с применением параллельных вычислений, используя многопроцессорные вычислительные комплексы. Обобщенное уравнение состояния, разрешенное относительно токов в ветвях, записывается в форме

$$\dot{I} = C \dot{J} + Y \dot{E} \quad (1)$$

$$\text{где } C = Z_a^{-1} M_t Y_o^{-1}, \quad Y = N_t Z_k^{-1} N \quad (2)$$

Следует отметить, что простота этого выражения чисто внешняя, поскольку определение матриц  $C$  и  $Y$  требует выполнения сложных вычислительных операций, включая обращение матриц для двух случаев: первый - узловых проводимостей, второй - контурных сопротивлений. Тем не менее, будучи нецелесообразным для непосредственного применения при расчетах установившихся режимов сколько-нибудь сложных электрических систем, уравнение (1) служит той базой, которая позволяет просто и наглядно получить частные формы уравнений состояния.

Решение уравнения состояния для первого случая:

$$I_o = I_o' + Y_c e_o' \quad (3)$$

где  $Y_n = N(N_t \cdot Z_a \cdot N)^{-1} N_t$  - приведенная проводимость распределительных

электрических сетей;  $\dot{a}_a' = \dot{a}_a - Z_a \cdot J_a'$ ,  $J_a' = J_a + \begin{vmatrix} \dot{I} & -1 \\ \dot{I} & \end{vmatrix} J_o$  - приведенный источник тока ветвей.

Решение уравнения состояния (1) для второго случая:

$$I_a = Y_a (Z_c \cdot J_a'' + \dot{a}_a),$$

где  $Z_n = \dot{I}_t (\dot{I} Y_a \dot{I}_t)^{-1} \cdot M$  - приведенное сопротивление распределительных электрических сетей,  $J_a'' = J_a' - Y_a \cdot \dot{a}_a$ .

Тогда задача сводится к определению подматриц  $M_\alpha$ ,  $M_\beta$ ,  $N_\alpha$ ,  $N_\beta$  из первой матрицы инцидентий  $M$ .

В настоящее время разработаны эффективные алгоритмы для определения этих подматриц. В результате матрица  $M$ , записанная первоначально при произвольной нумерации ветвей, путем перестановки преобразуется в вид:

$$M = [M_\alpha \ M_\beta] \quad (4)$$

где  $M_\alpha$  - подматрица (блок), относящаяся к дереву схемы;  $M_\beta$  - подматрица, характеризующая подграф, состоящий из хорд.

Аналогично можно разделить на блоки и матрицу  $N$ :

$$N = [N_\alpha \ N_\beta] \quad (5)$$

Учитывая ортогональность матрицы M и N, получим

$$[N_\alpha \ N_\beta] * \begin{bmatrix} \dot{I}_{at} \\ M_{\beta t} \end{bmatrix} = N_\alpha M_{\alpha t} + N_\beta M_{\beta t} = 0 \quad (6)$$

Матрица  $M_\alpha$ , а следовательно, и  $M_{\alpha t}$ , являются квадратными порядка (n-1) и неособенными. Поэтому, умножая справа обе части выражения (6) на  $M_{\alpha t}^{-1}$

$$N_\alpha = -N_\beta M_{\beta t} M_{\alpha t}^{-1} \quad (7)$$

Откуда следует, что если  $M_\alpha$ ,  $M_\beta$  и  $N_\beta$  известны, то можно определить  $N_\alpha$ , а следовательно, и всю матрицу N. Матрицу  $N_\beta$  можно задать равной единичной матрице ( $N_\beta = 1$ ). Это соответствует выбору системы таких контуров, которые характеризуются следующими свойствами: каждый из контуров замыкается одной хордой, т.е. каждая хорда входит только в один контур; последовательности нумерации хорд и контуров одинаковые; направления обхода контуров и замыкающих их хорд совпадают.

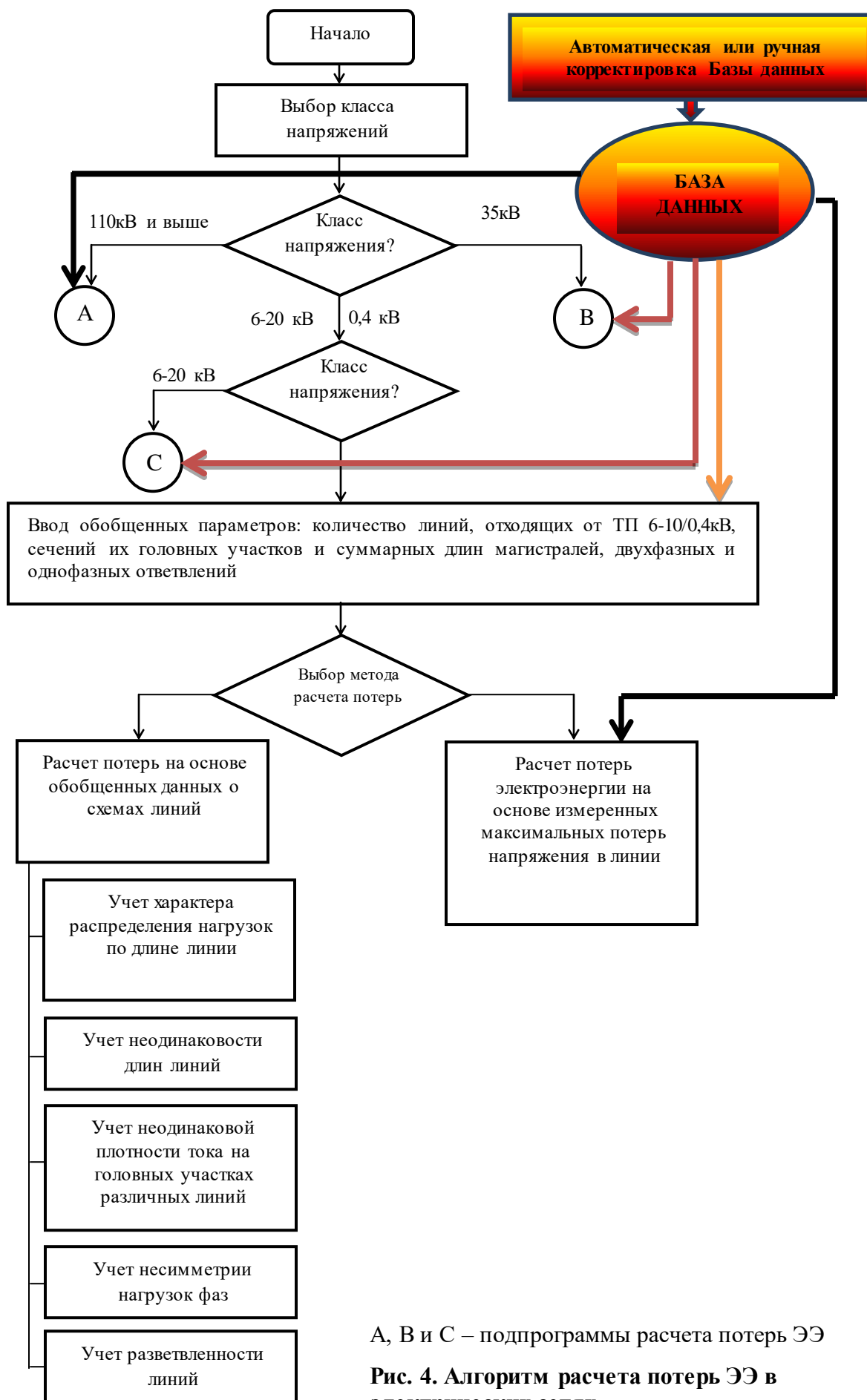
В связи с этим в рассматриваемой работе представлена новая методика расчета потерь ЭЭ в распределительных электрических сетях, на основе которой разработана программа для ЭВМ, алгоритм которой представлен на рис. 4.

Отличие предлагаемого метода от ранее известных заключается в том, что «Методика расчета потерь ЭЭ в сетях 0,4-35 кВ» разработана на основе метода ортогональных сетей с двойственной структурой. Она позволяет получить, минуя этап многочисленных расчетов, этап решения этих уравнений. Это дает возможность повысить точность и быстродействие разработанной программы расчета потерь ЭЭ в электрических сетях. Апробация программы показала, что потери ЭЭ в зависимости от конфигурации и режима работы потребителей находятся в пределах от 2,7 до 24,3 %. Внедрение этой программы в подразделениях распределительных электрических сетей позволит контролировать инспекторов энергосбыта, а также величину потерь ЭЭ участка и в целом по энергокомпаниям.

В условиях переходного периода становления экономики, а также учитывая сложность и многоплановость проведения мероприятий по снижению потерь ЭЭ, при дефиците источников финансирования для приобретения современных систем учета и контроля у потребителей, возникает необходимость установления норматива потерь ЭЭ (абсолютная или относительная величина технологического расхода электроэнергии на её распределение по электрическим сетям).

Для ОАО «Северэлектро» по расчетным данным предлагаются следующие нормативы потерь ЭЭ на 2013 г:

- норматив технологических потерь (расход) электроэнергии на ее передачу по сетям 0,4-35 кВ ОАО «Северэлектро» – 15%;
- норматив технологических потерь (расход) ЭЭ по классам напряжения: 35 кВ - 2,1 %; 6-10 кВ – 5,2 %; 0,4 кВ – 7,5 % ;
- по структурам потерь ЭЭ: технические потери - 11 %, расход электроэнергии на собственные нужды подстанций – 0,3 %, метрологические потери – 3,6 %.



Для разработки экономически обоснованных мероприятий по снижению потерь ЭЭ в электрических сетях, предлагается разработанная методика планирования мероприятий по их снижению, основанная на определении экономически целесообразного уровня потерь ЭЭ, действующая в условиях регулируемых цен и конкурентного рынка электроэнергии. Экономически целесообразный уровень потерь энергии в электрических сетях - это расчетное значение потерь, соответствующее сооптимизированной сети на конкретном интервале времени при заданных значениях, характере и динамике нагрузок, определение которого позволяет оптимизировать потери ЭЭ.

В условиях рынка поддержание рационального уровня потерь в энергосистеме представляет собой многоэкстремальную оптимизационную объемную задачу.

Одним из основных показателей, позволяющих судить об экономичности электрических сетей, является расчетная стоимость передачи ЭЭ

$$C = \frac{\alpha \cdot K}{P_m \cdot T} + \frac{P_m \cdot R \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}}{U_{cp}^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot T}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  - ежегодные отчисления от стоимости товарной продукции на участке;  $K$  - стоимость товарной продукции;  $P_m$  - мощность при максимуме нагрузки;  $R$  - суммарное активное сопротивление;  $\tau$  - время наибольших потерь;  $T$  - число часов использования максимума нагрузки;  $\beta$  - средняя стоимость 1 кВтч ЭЭ;  $U_{cp}$  - среднее напряжение участка сети, определяемое как

$$U_{cp} = \frac{1}{2}(K_H + K_K)U_{ном}, \quad (9)$$

где  $K_H, K_K$  - коэффициенты напряжений в начале и в конце участка;  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности.

Преобразуя уравнение (8) относительно потерь ЭЭ  $\Delta W_*$  получим:

$$C = \frac{d}{\Delta W_*} + \Delta W_* \beta, \quad (10)$$

или 
$$\Delta W_*^2 \cdot \beta - \Delta W_* \cdot C + d = 0, \quad (11)$$

где 
$$\Delta W_* = \frac{\Delta W}{W} = \frac{P_m \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{U_{cp}^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot T}, \quad (12)$$

$d$  - условная переменная, зависящая от параметров сети, режима и экономических показателей, определяемая как

$$d = \frac{\alpha \cdot K \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot T^2} \quad (13)$$

Приравнивая первую производную (11) к нулю, получим минимальное значение потерь ЭЭ в электрической сети  $\Delta W_{*M}$

$$\Delta W_{*M} = \frac{C}{2 \cdot \beta} \quad (14)$$

и соответствующий ему оптимальный параметр  $d_{opt}$

$$d_{opt} = \frac{C^2}{4 \cdot \beta} \quad (15)$$



Такие же результаты можно получить, если взять частную производную от выражения (10)

$$\frac{\partial C}{\partial \Delta W_*} = 0 \quad (16)$$

Из формулы (14) следует, что экономически целесообразный уровень потерь ЭЭ изменяется в зависимости от стоимости передачи и тарифа на ЭЭ. Например, для ОАО «Северэлектро» стоимость передачи электроэнергии - 0,31 сом/кВтч, а стоимость электроэнергии - 0,70 сом/кВтч. Тогда экономически целесообразный уровень потерь электроэнергии будет 22%. Это означает, что разработка мероприятий по снижению потерь электроэнергии ниже 22% экономически нецелесообразна.

Подставив значение  $d_{opt}$  в формулу (13) можно оптимизировать следующие параметры электрических сетей: сечение проводов; оптимальное значение параметров регулирующих устройств напряжения; мощность компенсирующих устройств; уплотнение графиков нагрузок, позволяющих управлять уровнем потерь ЭЭ.

**В третьей главе «РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРЬ ЭЭ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ»** показано, что в настоящее время экспериментальные исследования электропотребления производятся традиционным способом, а также с применением информационно - измерительных систем, которые не могут обеспечить выполнение необходимых требований к автоматизированной системе с элементами АСНИ (автоматизированная система научных исследований).

Традиционный способ проведения эксперимента имеет ряд недостатков (невозможно оперативно корректировать ход эксперимента по полученным данным, отсутствие оперативного анализа регистрируемой информации и т.д.). В связи с этим создана установка с элементами АСНИ (рис. 5) на основе современных персональных компьютеров (ПК) с применением модульных интерфейсов, а также управляющих программ.

Экспериментальная установка обеспечивает: дистанционное управление физическими моделями электроприемников в соответствии со стохастическим графиком нагрузки, полученным путем моделирования; помехоустойчивость измерений; автоматизацию измерения температуры в отдельных точках изоляции проводников и занесение их в базу данных; статистическую обработку экспериментальных данных, возможность исследовать факторы, влияющие на потери электроэнергии; определение потерь в элементах сети, возможность определения основных показателей графиков нагрузок и т.д.

Принципиальная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом для анализа степени влияния различных факторов на величину потерь электроэнергии в элементах электрической сети показана на рис. 6.



Рис. 5. Экспериментальная установка с элементами АСНИ для мониторинга и диагностики элементов электрических сетей

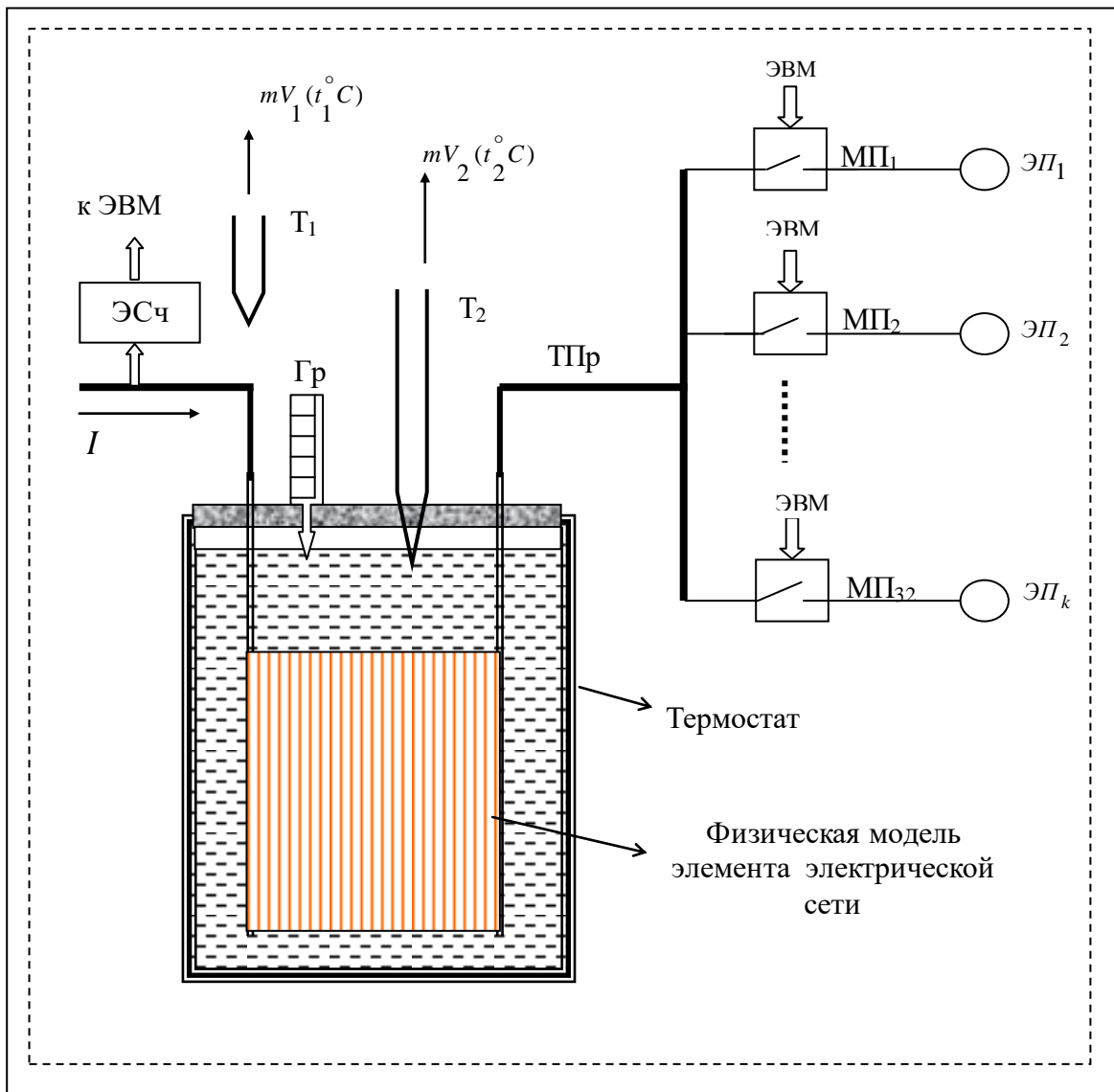


Рис. 6. Принципиальная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом для анализа степени влияния различных факторов на величину потерь электроэнергии в элементах электрической сети: Гр. – градусник,  $T_1$ ,  $T_2$  – термопары ТПр проводники, МП - магнитный пускатель, ЭП – электроприемник, ЭСч – электрический счетчик.

Как известно, уравнение для определения перегрева жил токопроводов относительно температуры окружающей среды имеет вид

$$\tau \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = \vartheta_{ж.н} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2, \quad (17)$$

где  $\tau$  - реальная постоянная нагрева токопровода;  $\vartheta$  - температура перегрева токопровода;  $\vartheta_{ж.н}$  - максимально допустимая температура жил;  $I$  - ток нагрузки;  $I_n$  - длительно допустимый ток токопровода.

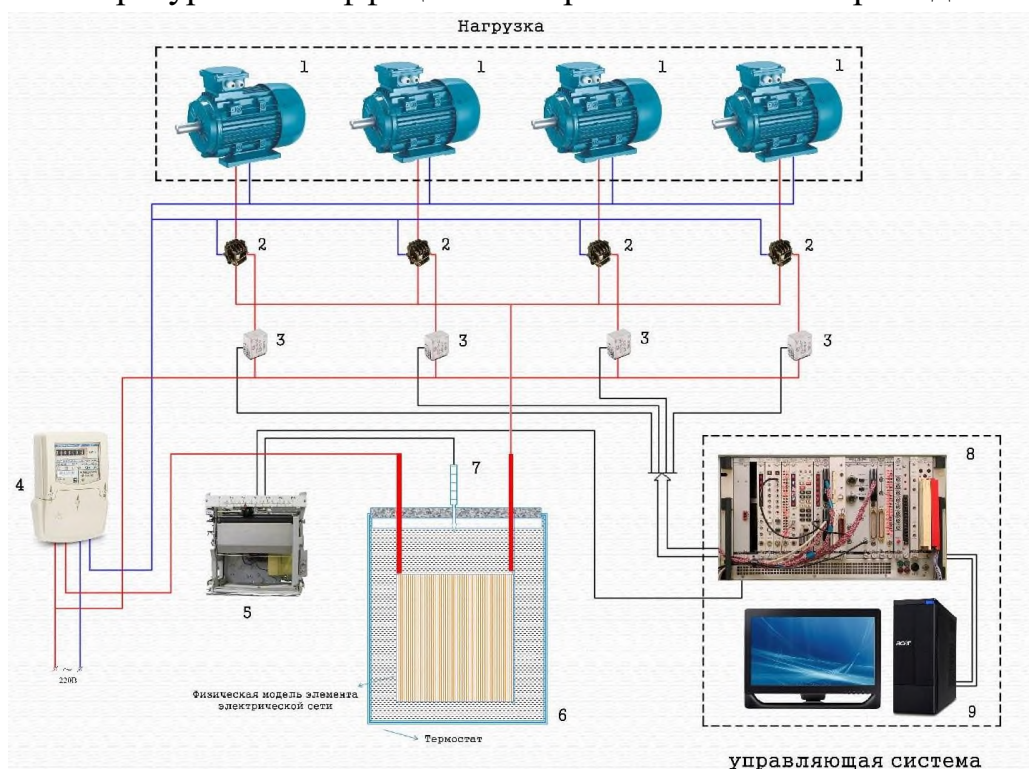
Более точное уравнение, учитывающее зависимость сопротивления  $R$  и постоянной нагрева  $\tau$  токопровода от температуры, имеет вид

$$\tau(\vartheta) \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = K_R(\vartheta) \cdot \vartheta_{ж.н} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2, \quad (18)$$

где

$$\tau(\vartheta) = \frac{\tau_0}{1 + 0.3 \left( 1 - \frac{\vartheta}{\vartheta_{ж.н}} \right)}; \quad (19)$$

$\tau_0$  - значение постоянной нагрева при длительно допустимой температуре жил  $\vartheta_{ж.н}$ ;  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления токопровода.



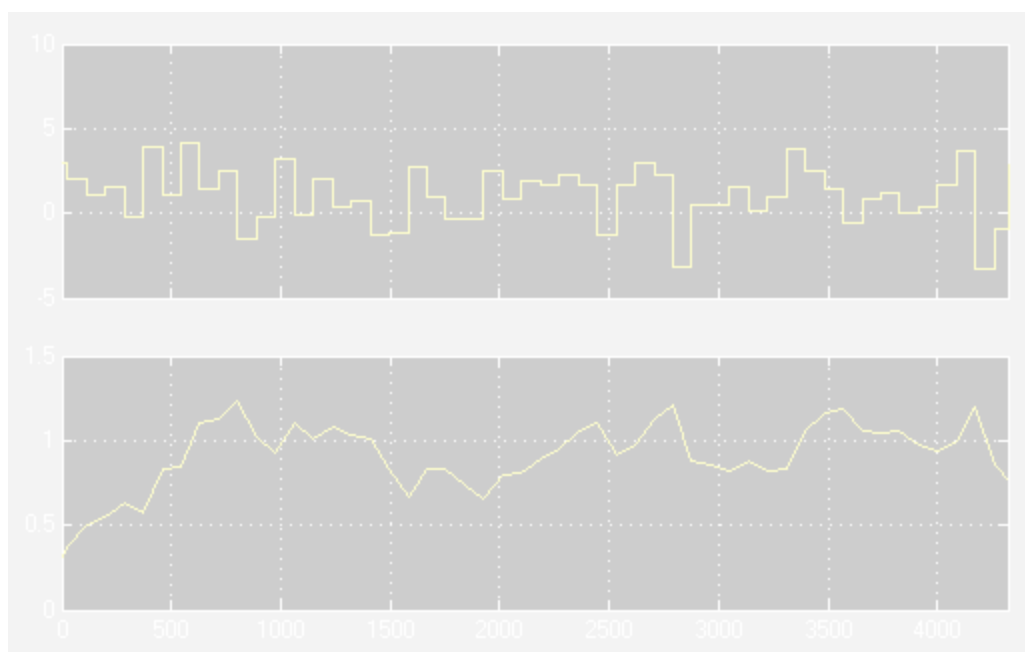
**Рис. 7.** Экспериментальная установка с элементами АСНИ (автоматизированная система научных исследований) 1- электроприемник; 2 - магнитные пускатели; 3 - реле РС-10 РС4524302; 4 - счетчик электронный; 5 – потенциометр; 6 - термостат (физическая модель объекта исследования); 7 – термопара; 8 - крейт КАМАК; 9 - персональный компьютер

Базовые функциональные возможности управляющей программы имеют следующий алгоритм: используя введенные исходные данные о режимах работы каждого из электроприемников (ЭП), моделирует их графики нагрузки, которые имеют стохастический характер. В соответствии с этими графиками, программа управляет с помощью ПК и устройства сопряжения магнитными

пускателями, включая или отключая ЭП. Электрический ток, соответствующий групповому графику нагрузки, имеющий стохастический характер, пройдя через питающий провод, нагревает его изоляцию. Информация о температурах окружающей среды и изоляции поступает в систему с помощью термопар, а информация о групповой нагрузке через датчик тока. Считывание и ввод в управляющую систему выполняет соответствующая подпрограмма управляющей программы.

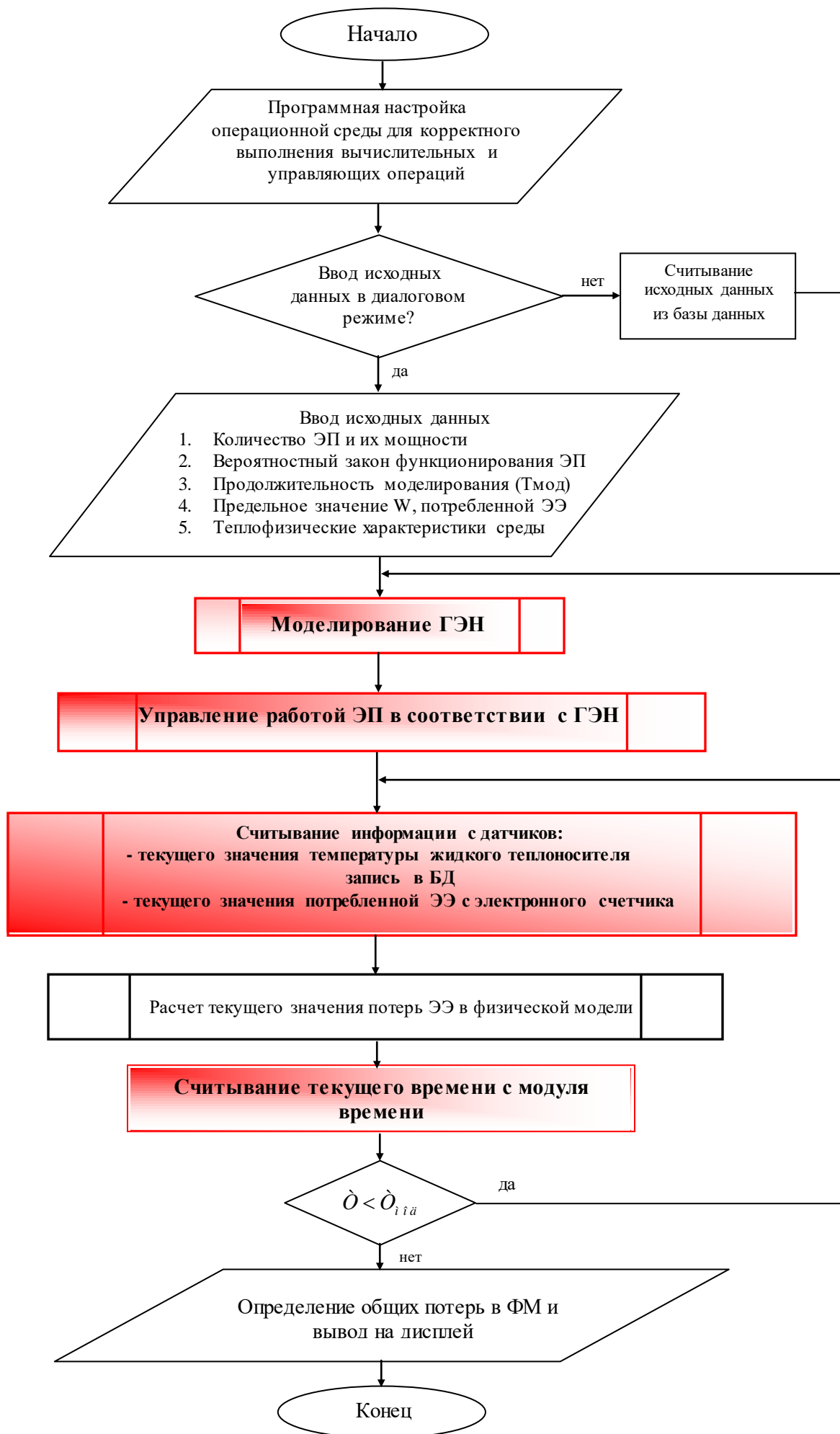
Потери в исследуемом элементе электрической сети за продолжительность времени, в течение которого потреблено фиксированное количество электрической энергии, определяется по температуре и массе жидкости, содержащейся в термостате, по значению ее удельной теплоемкости. Продолжительность эксперимента также фиксируется и определяется автоматически по сигналу, поступающему от функционального модуля времени в ЭВМ. Все эти вычислительные и управляющие операции производятся управляющей программой, алгоритм которой представлен на рис. 8.

Результаты моделирования тепловых процессов в токопроводе (физическая модель элемента электрической сети) в режиме случайной нагрузки показаны на дисплее персонального компьютера ПК (Рис. 8).



**Рис. 9. Результаты эксперимента**

Предложенная система компьютерного управления экспериментом и методы моделирования могут быть использованы научно-исследовательскими институтами электроэнергетики при решении следующего круга задач: моделирование на ЭВМ графика нагрузки от групп ЭП на основе исходных данных о режиме работы ЭП или технологии производства; управление реальными ЭП или их физическими моделями в соответствии с моделированным графиком нагрузки; измерение температур элементов с занесением их в базу данных; статистическая обработка экспериментальных данных; определение величины потерь энергии в исследуемом элементе сети.



## Выводы

В ходе проведенных исследований автором решены следующие научные и практические задачи:

- исследованы существующие методы расчета потерь электроэнергии в электрических сетях;
- проведен анализ динамики потерь и причин их роста в распределительных электрических сетях КР;
- проведены анализ и оценка факторов, влияющих на величину потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ;
- предложена классификация потерь электроэнергии, охватывающая все известные на настоящее время составляющие потерь и непротиворечащая их физической природе;
- разработана методика расчета технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ, основанная на тензорном методе ортогональных сетей, позволяющая получить решение уравнений состояния сетей, минуя этап многочисленных расчетов, что позволило повысить точность и быстродействие разработанных программ;
- создан информационно-вычислительный комплекс для оперативного расчета потерь мощности и электроэнергии для схем электроснабжения любой конфигурации с учетом предлагаемой методики;
- разработаны алгоритм и программа расчета технических и потерь ЭЭ в электрических сетях 0,4-35 кВ, учитывающие ранее неучтенные факторы, позволяющие снизить погрешность расчета;
- получены нормативные характеристики потерь электроэнергии по РЭСам ОАО «Северэлектро»;
- разработана методика планирования мероприятий по снижению потерь электроэнергии, основанная на определении экономически целесообразного уровня потерь ЭЭ, необходимая в условиях регулируемых цен и конкурентного рынка электроэнергии;
- разработана автоматизированная экспериментальная установка с элементами АСНИ для исследования различных факторов, влияющих на величину потерь в элементах электрической сети. Она позволяет тестировать степень адекватности методов расчета потерь ЭЭ и рекомендуется Кыргызским научно-техническим центром (КНТЦ) «Энергия» для использования;
- показана экономическая эффективность применения предложенной методики на примере фрагмента сети ОАО «Северэлектро».

### **Практическое применение результатов позволяет:**

- выявить участки СЭС с повышенным уровнем потерь и принять оперативные меры по их снижению;
- выбрать экономически целесообразный режим работы системы электроснабжения;
- на основании результатов, полученных в этой работе Исполнительным Советом Госагенства по энергетике при Правительстве КР утверждена «Временная методика расчета норматива потерь электроэнергии в электрических

сетях напряжением 0,4-35 кВ ОАО «Северэлектро», Постановление № 34 от 08.02.2003 г.

Экономический эффект заключается в снижении потерь ЭЭ в рассматриваемых сетях за счет уточнения нормативов потерь ЭЭ. Дополнительно выявлены потери ЭЭ в объеме 63,116 млн.кВтч в год за счет ранее неучтенных составляющих норматива.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Куржумбаева Р.Б. Мероприятия по экономии энергоресурсов [Текст] / Р.Б. Куржумбаева // Повышение эффективности энергосистем и режимов работы их элементов: сборник научн. трудов. – Фрунзе: ФПИ, 1989. – С. 95-99.
2. Куржумбаева Р.Б. Управление уровнем электропотребления [Текст] / М.А. Суеркулов, Р.Б. Куржумбаева // Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях: сборник научн. трудов. - Алматы: Алматинский институт энергетике и связи, 1998 - С. 72-73.
3. Куржумбаева Р.Б. Вероятностно-детерминированный метод расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях [Текст] / У.Н.Бримкулов, И.С.Сариев, Р.Б.Куржумбаева // Технологии и перспективы современного образования, науки и производства: докл. межд. научн. конф. – Бишкек: КТУ, 1999. - С. 224-229.
4. Куржумбаева Р.Б. Экономически целесообразный уровень потерь энергии в электрических сетях [Текст] / М.А.Суеркулов, И.С.Сариев, Р.Б. Куржумбаева // Технологии и перспективы современного образования, науки и производства: докл. межд. научн. конф. – Бишкек: КТУ, 1999. - С. 276-280.
5. Куржумбаева Р.Б. Экспериментальное исследование технических потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ [Текст] / Р.Б. Куржумбаева // Технологии и перспективы современного образования, науки и производства: докл. межд. научн. конф. – Бишкек: КТУ, 1999. - С. 260-265.
6. Куржумбаева Р.Б. Управление режимными параметрами эксплуатационной схемы распределительной электрической сети [Текст] / И.С. Сариев, У.Н.Бримкулов, Р.Б.Куржумбаева // Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: докл. межд. научн. конф. – Бишкек: КТУ, 2001. - С. 25-131.
7. Куржумбаева Р.Б. Методика планирования уровня потерь электроэнергии [Текст]/ М.А.Суеркулов, И.С.Сариев, Р.Б.Куржумбаева // Вестник КТУ. - Бишкек, 2002. - №5. – С. 100-103.
8. Куржумбаева Р.Б. Анализ потерь электроэнергии в распределительных энергокомпаниях Кыргызстана [Текст] / У.А.Матеев, И.С.Сариев, Р.Б.Куржумбаева // Энергосбережение – проблемы, современные технологии и управление: докл. межд. научн. конф. – Бишкек: КТУ, 2003 - С. 58-67.
9. Куржумбаева Р.Б. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в распределительных компаниях КР [Текст] / И.С.Сариев, М.А.Суеркулов, Р.Б.Куржумбаева, З.Э.Абдиева // Электроэнергетическая безопасность Кыргызстана: докл. межд. научн. конф. - Бишкек: КТУ, 2004 – С. 113-117.

10. Куржумбаева Р.Б. Нормирование потерь электроэнергии в распределительных компаниях Кыргызской Республики [Текст] / Р.Б.Куржумбаева // Известия КНТУ. – Бишкек, 2005. - № 7. - С. 56-60.

11. Куржумбаева Р.Б. Методика определения оптимальных параметров электрических сетей для разработки энергосберегающих мероприятий [Текст] / И.С.Сариев, Р.Б.Куржумбаева // Вестник Казахского Национального Технического университета. – Алматы, 2007. - №3 (60). - С. 82-84.

12. Куржумбаева Р.Б. Комплексная программа расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,4-35 кВ [Текст] / Р.Б.Куржумбаева, А.Т.Асиев // Известия КГТУ. – Бишкек, 2007 - № 12. - С. 116-119.

13. Куржумбаева Р.Б. Задачи и пути энергосбережения в электрических сетях 0,4-35 кВ распределительных энергокомпаний КР [Текст] / И.С.Сариев, Т.О.Ибраев, Р.Б.Куржумбаева // Снижение потерь энергии в электрических сетях: докл. межд. конф. – Бишкек: Минпромэнерго КР, 2009. - С. 117-128.

14. Куржумбаева Р.Б. Новая методика расчета потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ. [Текст] / Р.Б.Куржумбаева // Известия КГТУ. - Бишкек, 2011 - № 25. - С. 154-157.

15. Куржумбаева Р.Б. Анализ методов расчета потерь электроэнергии [Текст] / Р.Б.Куржумбаева // Вести НАН КР - Бишкек, 2012 - № 4. - С. 32-35.

16. Куржумбаева Р.Б. Разработка экспериментальной установки с элементами АСНИ для исследования процессов в электрических сетях [Текст] / Р.Б.Куржумбаева, А.Р.Айдарова // Вести НАН КР. - Бишкек, 2013 - № 1.

#### **Получено свидетельство:**

17. Комплексная программа расчета потерь ЭЭ в РС 0,4-35 кВ RTRKTU 1.0 [Текст] / Р.Б.Куржумбаева, И.С.Сариев // Государственная патентная служба КР. - Свидетельство на программу для ЭВМ № 196 от 30.10.09 г.

18. Управляющая программа экспериментальной установкой с элементами АСНИ для исследования потерь в распределительных сетях [Текст] / Р.Б.Куржумбаева, А.Р.Айдарова, Арфан Аль Хакам // Государственная патентная служба КР. - Свидетельство на программу для ЭВМ № 285 от 20.02.13 г.

#### **Резюме**

##### **Куржумбаева Роза Бейшенбековна**

Управление уровнем потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,4-35 кВ.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электростанции и электроэнергетические системы».

**Ключевые слова.** Потери электроэнергии, распределительные электрические компании, методика нормирования потерь, методика расчета потерь, нормативная характеристика потерь, мероприятия по снижению потерь электроэнергии.

**Цель работы:** повышение эффективности работы распределительных энергокомпаний путем управления уровнем потерь электроэнергии на основе внедрения эффективной методики расчета, нормирования и планирования мероприятий по снижению потерь электроэнергии.



### **Полученные результаты:**

Разработанные методики апробированы и официально внедрены в действие для практического использования при обосновании нормативного уровня потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ.

### **Резюме**

#### **Куржумбаева Роза Бейшенбековна**

0,4-35 кВ бөлүштүрүү түйндөрүндөгү электр энергиясынын жоготуу денгээлин башкаруу.

«Электр станциялары жана электр энергетикалык системдери» - 05.14.02 адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасы үчүн изилдөө диссертациясы.

**Негизки сөздөр:** Электр энергия жоготуулар, электр бөлүштүргүч компаниялар, жоготууларды нормалдаштыруу ыкмасы, жоготууларды эсептөө ыкмасы, жоготуулардын нормативдик мүнөздөмөсү, электр энергиясынын жоготуусун азайтуу боюнча иш аракеттер.

**Иштин максаты:** Эсептөөнүн эффективдүү ыкмаларын киргизүүнүн негизинде электр энергиясынын жоготуу денгээлин башкаруу жолу менен бөлүштүргүч энерго компаниялардын аткарган иштеринин эффективдүүлүгүн жогорулатуу, электр энергиясындагы жоготууларды азайтуу боюнча иш аракеттерди нормалдаштыруу жана пландаштыруу.

**Алынган жыйынтыктары:** Иштелип чыккан ыкмалар сыноодон өтүп, 0,4-35 кВ бөлүштүргүч электр түйндөрүндө электр энергиясынын жоготууларынын нормативдик денгээлин негиздөөдө практикалык түрдө пайдалануу үчүн ырасмий ишке киргизилген.

### **Resume**

#### **Roza Beishenbekovna Kurzhumbaeva**

Electro energy losses level management in the sets of deal/spread out is 0,4 – 35 kg/W.

Dissertation paper on scientific investigation of the candidate of technical sciences by specialty number 05.14.02 – “Electrical Power Stations and Electro-energetic systems”.

**Key words.** Electro energy losses, the electric deal/spread out companies, methodic of correct losses, method of the losses accounting, normative characteristics of losses, and activities of electro-energy losses reducing.

**Aim of the work:** approving the work effectiveness of spreading out/dealing energy companies by management of electro- energy losses level on the basis of new effective methods of accounting, correcting and planning of the meetings to reduce electro energy lost.

#### **The received results:**

Developed methods are sanctioned and officially were entered in the operation for the practical usage on the base correcting level of electro energy losses in the sets of deal/spread out is 0,4 – 35 kg/W.