

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

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

КУРЖУМБАЕВА РОЗА БЕЙШЕНБЕКОВНА

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

Тех. редактор *Эркинбек кызы Жапар*

Подписано к печати 08.05.13 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.

Бумага офс. Печать офс. Тираж 100 экз.

Бишкек, ул. Сухомятина, 20. ИЦ "Техник" КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43

e-mail: becknir@mail.ru

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

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор
КГТУ им. И.Р.Раззакова

Суеркулов Манас Асанбекович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, доцент
Кадыров Ишенбек Шакирович

кандидат технических наук, доцент
Ниязов Нуридин Тажибаевич

Ведущая организация:

ОАО «Северэлектрон», г.Бишкек

Защита состоится 24 мая 2013 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д.05.12.002 при Кыргызском государственном техническом университете им. И.Р.Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

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

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 17 апреля 2013 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 (ЭЭ) 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 электрических сетях 0,4 – 35 кВ;
2. Выполнен анализ методов расчета потерь ЭЭ в электрических сетях;
3. Разработана методика расчета потерь ЭЭ в распределительных сетях;
4. Разработана экспериментальная установка с элементами АСНИ для анализа степени влияния различных факторов на величину потерь ЭЭ в элементах электрической сети.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Оценена степень влияния ранее неучтенных факторов на потери ЭЭ 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 ЭЭ 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 ЭЭ 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 программ для ЭВМ Государственной патентной службой КР № 196 от 30.10.09 г. «Комплексная программа расчета потерь ЭЭ в РС 0,4 – 35 кВ КРКТУ 1.0» и № 265 от 20.02.13 г. «Управляющая программа экспериментальной установкой с элементами АСНИ для исследования потерь ЭЭ в распределительных сетях», созданных в процессе выполнения диссертации, и публикациями в научных изданиях.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

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

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

4. Методика планирования и организация управления уровнем потерь ЭЭ 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 Госаттестата 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 18 печатных работах, из них 2 статьи изданы в иностранных журналах, 5 статей в личном авторстве, 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК КР, и получено два свидетельства на программы для ЭВМ 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 рисунков, документы о внедрении результатов, копии

свидетельств на программы для ЭВМ, 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 ЭЭ в электрических сетях.

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. 1), выявление конкретных очагов потерь и оценка возможностей их снижения до экономически оправданных значений.

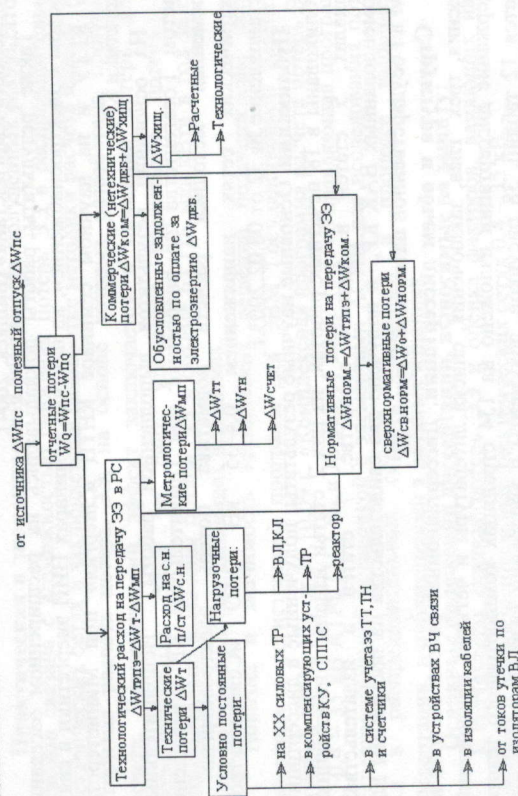


Рис. 1. Структура потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях

Отчетные потери состоят из

$$\Delta W_o = \Delta W_T + \Delta W_{TC} + \Delta W_{MT} + \Delta W_K,$$

где $\Delta W_T = \Delta W_{TЛП} + \Delta W_{TTP} + \Delta W_{TIC} + \Delta W_{TIB}$ - технические потери,

где $\Delta W_{TЛП} = \Delta W_{TЛС} + \Delta W_{TЛ0} + \Delta W_{TЛ0,4}$ - потери в ЛЭП;

$\Delta W_{TTP} = \Delta W_{TTP3/10} + \Delta W_{TTP0,4}$ - потери в трансформаторах;

$\Delta W_{TIC} = \Delta W_{TIC} + \Delta W_{TIC} + \Delta W_{TIC0,4}$ - потери измерительной системы,

где ΔW_{TIC} - технические потери в трансформаторах тока;

$\Delta W_{TIC0,4}$ - технические потери в счетчиках 0,4 кВ;

$\Delta W_{TIC0,4}$ - технические потери в счетчиках 0,4 кВ;

$\Delta W_{MT} = \Delta W_{MT} + \Delta W_{MT} + \Delta W_{MT}$ - потери, обусловленные систематическими погрешностями при учете ЭЭ.

$\Delta W_{TC} = \Delta W_{TC} + \Delta W_{TC} + \Delta W_{TC}$ - технологический расход ЭЭ.

$\Delta W_K = \Delta W_K - \Delta W_{K0,4}$ - 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 ЭЭ 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 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 ЭЭ в электрических сетях приведены в табл. 1 и 2.

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

Таблица 1. Классификация методов расчета потерь электроэнергии в энергетических сетях 0,4-500 кВ

[illegible]

Таблица 2. Оценка применимости методов расчета поперечных деформаций

Область применения методики и достоверность расчета (перспективные расчеты)	Транзитные сети Замкнутые сети 110 кВ и выше Радиальные сети 35-220 кВ Распределительные сети 6-10 кВ Сети до 1000 В	+	+	+	+	+	Метод по элементных
		+	+	+	+	+	Метод характерных
		+	+	+	+	+	Метод характерных
							Метод числа часов наибольших потерь
							Метод средних напряж.
							Метод эквивалентных
							Метод удельных транспортных
							Метод обобщенных
							Регрессионный анализ
							Факторный анализ
Вероятностно- статистические методы		+					Методика 1 КТУ
							Методика 2 КТУ
							Методика 3 КТУ
							Методика 4 КТУ
Вероятностно- детерминированные методы							

Примечание: + - рекомендуемые разработчиками; (+) - используются в электрических сетях НЭСКа и РЭСов; * - разрабатываемые в КИТ^У для подразделений энергосистемы

* - разрабатываемые в КИУ для подразделения энергосистемы

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 ЭЭ.

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, 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.

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 ЭЭ 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 Г.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 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 Г.Крона. В физическом пространстве инвариант проявляет себя как закон сохранения потока энергии, облакая 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

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

$$\text{где } C = Z_e^{-1} M_e Y_e^{-1}, \quad Y = N Z_k^{-1} N \quad (2)$$

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 уравнений состояния для первого случая:

$$I_e = I_e' + Y_e e_e' \quad (3)$$

где $Y_e = N(N_e \cdot Z_e \cdot N_e)^{-1} N_e$ — приведенная проводимость распределительных

электрических сетей; $e_e' = e_e - Z_e \cdot J_e'$, $J_e' = J_e + \begin{bmatrix} M_e^{-1} J_e \\ 0 \end{bmatrix}$ — приведенный источник тока ветвей.

Решение уравнения состояния (1) для второго случая:

$$I_e = Y_e (Z_e \cdot J_e'' + e_e),$$

где $Z_e = M_e (M_e M_e)^{-1} \cdot M_e$ — приведенное сопротивление распределительных электрических сетей, $J_e'' = J_e' - Y_e \cdot e_e$.

Тогда задача сводится к определению подматриц M_a , M_b , N_a , N_b 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:

$$M = [M_a \ M_b] \quad (4)$$

где M_a — подматрица (блок), относящаяся к дереву схемы; M_b — подматрица, характеризующая подграф, состоящий из хорд.

Аналогично можно разделить на блоки и матрицу N :

$$N = [N_a \ N_b] \quad (5)$$

Учитывая ортогональность матрицы M и N , получим

$$[N_a \ N_b] * \begin{bmatrix} M_a \\ M_b \end{bmatrix} = N_a M_a + N_b M_b = 0 \quad (6)$$

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

$$N_a = -N_b M_b M_a^{-1} \quad (7)$$

Откуда следует, что если M_a , M_b и N_b известны, то можно определить N_a , а следовательно, и всю матрицу N . Матрицу N_b можно задать равной единичной матрице ($N_b = 1$). 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 одинаковы; направления обхода контуров и замыкающих их хорд совпадают.

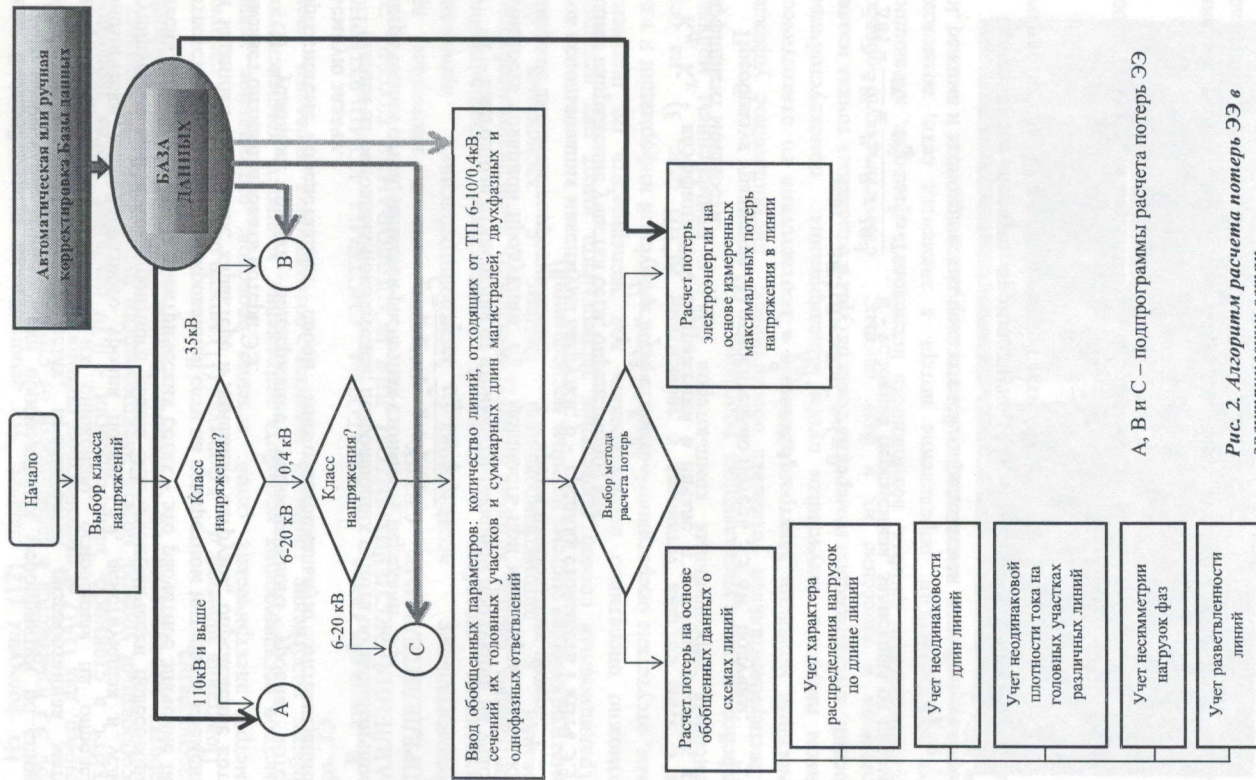
В связи с этим в рассматриваемой работе представлена новая методика расчета потерь ЭЭ в распределительных электрических сетях, на основе которой разработана программа для ЭВМ, алгоритм которой представлен на рис. 2.

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 ускорить действие 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 энергобыта, а также величину потерь ЭЭ участка и в целом по энергокомпании.

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 ее распределение по электрическим сетям).

По результатам расчета 2010 года для ОАО «Северэлектро» получены следующие нормативы потерь ЭЭ:

- норматив технологических потерь (расход) ЭЭ 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 ЭЭ на собственные нужды подстанций - 0,3 %, метрологические потери - 3,6 %.



А, В и С – подпрограммы расчета потерь ЭЭ

Рис. 2. Алгоритм расчета потерь ЭЭ в электрических сетях

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 ЭЭ. Экономически целесообразный уровень потерь энергии в электрических сетях - это расчетное значение потерь, соответствующее оптимизированной 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

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

где α - ежегодные отчисления от стоимости товарной продукции на участке; K - стоимость товарной продукции; P_n - мощность при максимуме нагрузки; R - суммарное активное сопротивление; τ - время наибольших потерь; T - число часов использования максимума нагрузки; β - 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 ΔW , получим:

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

$$\text{или } \Delta W^2 \cdot \beta - \Delta W \cdot C + d = 0, \quad (11)$$

где $\Delta W = \frac{\Delta W}{W} = \frac{P_n \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{U_{cp}^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot T}$, d - условная переменная, зависящая от параметров

$$\text{сети, режима и экономических показателей, определяемая как } d = \frac{\alpha \cdot K \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot T^2}$$

Приравняв первую производную (11) к нулю, получим минимальное значение потерь ЭЭ в электрической сети ΔW_{*n}

$$\Delta W_{*n} = \frac{C}{2 \cdot \beta} \quad (12)$$

и соответствующий ему оптимальный параметр $d_{опт}$

$$d_{опт} = \frac{C^2}{4 \cdot \beta} \quad (13)$$

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

$$\frac{\partial C}{\partial \Delta W} = 0 \quad (14)$$

Из формулы (12) 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 ЭЭ ниже 22% экономически нецелесообразна.

Подставив значение $d_{опт}$ в формулу (11) можно оптимизировать следующие параметры электрических сетей: сечение проводов; оптимальное значение параметров регулирующих устройств напряжений; 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. 3) 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 статистическим 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.

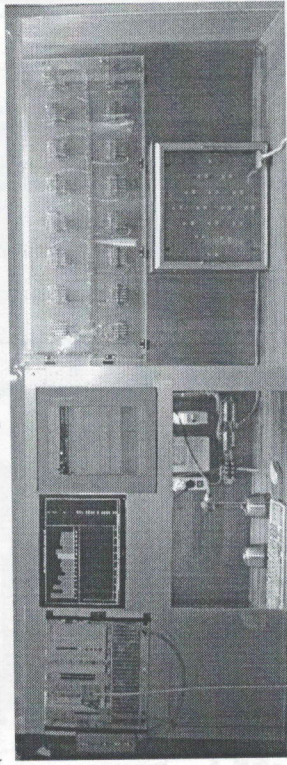


Рис. 3. Экспериментальная установка с элементами АСНИ для мониторинга и диагностики элементов электрических сетей

Принципиальная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом для анализа степени влияния различных факторов на величину потерь ЭЭ в элементах электрической сети показана на рис. 4.

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

$$\tau \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = \vartheta_{ж.н} \left(\frac{I}{I_n} \right)^2, \quad (15)$$

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

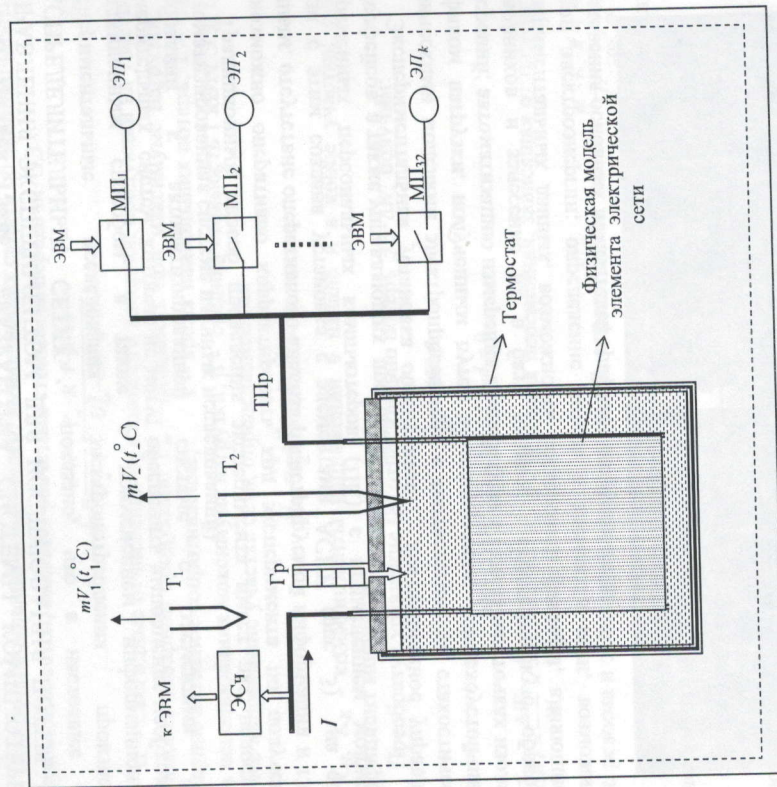


Рис. 4. Принципиальная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом для анализа степени влияния различных факторов на величину потерь электроэнергии в элементах электрической сети: Гр - термометр; T_1, T_2 - термодатчики ТПР проводники, МП - магнитный пускатель, ЭП - электроприемник, ЭСч - электрический счетчик.

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

$$\tau(\vartheta) \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = K_R(\vartheta) \cdot \vartheta_{ж.н} \left(\frac{I}{I_n} \right)^2, \quad (16)$$

где $\tau(\vartheta) = \frac{\tau_0}{1 + 0,3(1 - \frac{\vartheta}{\vartheta_{ж.н}})}$; τ_0 - значение постоянной нагрева при длительно допустимой температуре жил $\vartheta_{ж.н}$; α - температурный коэффициент сопротивления токопровода.

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 устройств сопряжения магнитными пускателями, включая или отключая ЭП. Электрический ток, соответствующий групповому графику нагрузки, имеющий стохастический характер, проходит через питающий провод, нагревает его изоляцию. Информация о температурах окружающей среды и изоляции поступает в систему с помощью термодатчиков, а информация о групповой нагрузке через датчик тока. Считывание и ввод в управляющую систему выполняет соответствующая подпрограмма управляющей программы (рис. 5).

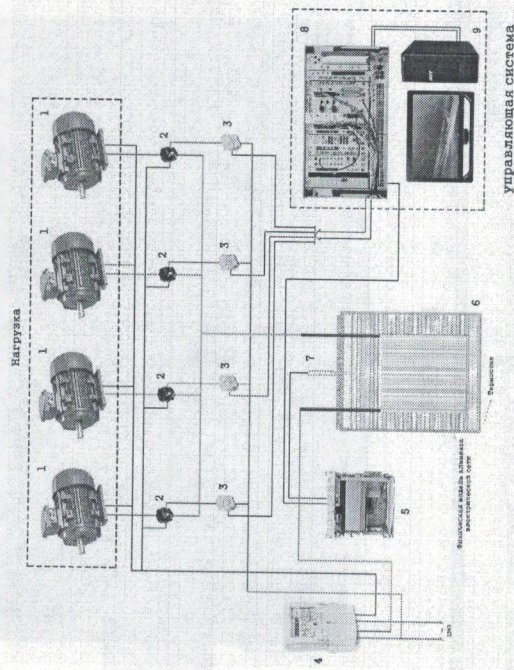


Рис. 5. Экспериментальная установка с элементами АСНИ (автоматизированная система научных исследований) 1 - электроприемник; 2 - магнитные пускатели; 3 - реле РС-10 РС4524302; 4 - счетчик электронный; 5 - потенциометр; 6 - термометр (физическая модель объекта исследования); 7 - термодатчик; 8 - кейт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

Потери в исследуемом элементе электрической сети за продолжительность времени, в течение которого потреблено фиксированное количество ЭЭ, определяются 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. 7.

Результаты моделирования тепловых процессов в токопроводе (физическая модель элемента электрической сети) в режиме случайной нагрузки показаны на дисплее персонального компьютера ПК (рис. 6).

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 моделируемым графиком нагрузки; измерение температур элементов с занесением их в базу данных; статистическая обработка экспериментальных данных; определение величины потерь энергии в исследуемом элементе сети.

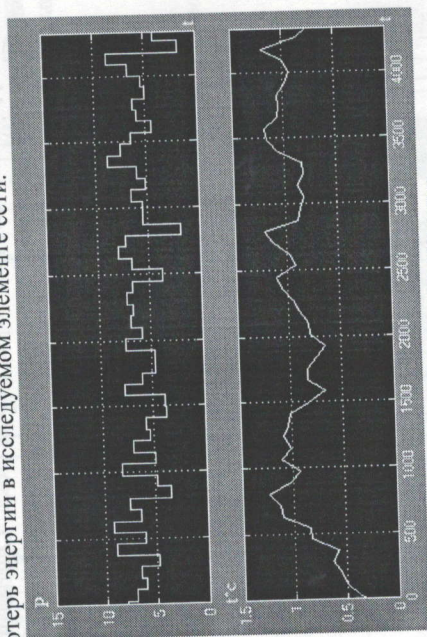


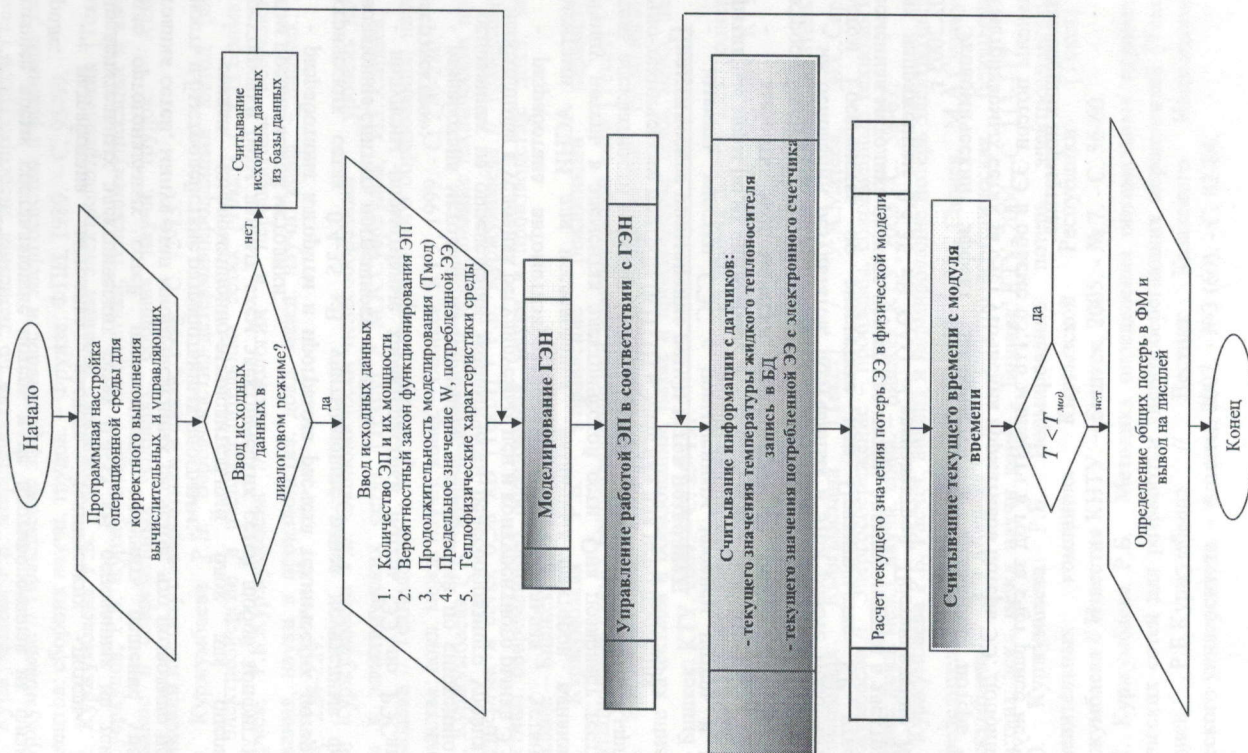
Рис. 6. Результаты эксперимента

ВЫВОДЫ

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

- выполнен анализ существующих методов расчета потерь ЭЭ 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 ЭЭ в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ;

Рис. 7. Алгоритм управляющей программы экспериментальной установки



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 энергетик 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.

- предложена классификация потерь ЭЭ, охватывающая все известные на настоящее время составляющие потерь и не противоречащая их физической природе;
- разработана методика расчета технических потерь ЭЭ 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 быстрдействие разработанных программ;
- создан информационно-вычислительный блок для оперативной корректировки базы данных схем электрических сетей любой конфигурации с учетом предлагаемой методики;
- разработаны алгоритм и программа расчета технических потерь ЭЭ в электрических сетях 0,4-35 кВ, учитывающие ранее неучтенные факторы, позволяющие снизить погрешность расчета;
- получены нормативные характеристики потерь ЭЭ по РЭСам ОАО «Северэлектро»;
- разработана методика планирования мероприятий по снижению потерь ЭЭ, основанная на определении экономически целесообразного уровня потерь ЭЭ, необходимая в условиях регулируемых цен и конкурентного рынка ЭЭ;
- 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.

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.

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.

Получены свидетельства на программы для ЭВМ:

17. Комплексная программа расчета потерь ЭЭ в РС 0,4-35 кВ RTRPTU 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 установки 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 деңгээлин башкаруу.

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

Негизги 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 деңгээлин 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 деңгээлин 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 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.