**Суслова Алина Юрьевна. Методы управления режимами электрических сетей ПЭС в условиях энергетического рынка : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.02.- Новосибирск, 2001.- 167 с.: ил. РГБ ОД, 61 02-5/30-6**

Новосибирский государственный технический университет

На правах рукописи

C:\Users\Pavel\AppData\Local\AppData\Local\Temp\FineReader11.00\media\image1.jpeg

СУСЛОВА АЛИНА ЮРЬЕВНА

**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЭС В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА**

05.14.02 - Электростанции и электроэнергетические системы.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н., проф. Филиг.юва Тамара Арсентьевна

Новосибирск-2001

ВВЕДЕНИЕ 4

1. ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ 11
   1. Особенность формирования рынка электроэнергии и мощности 11
   2. Учёт зарубежного опыта при развитии российского электроэнергетического рынка 15
   3. Проблема организации оптового рынка в Сибири 21
   4. Учёт и анализ потерь электроэнергии 25
   5. Управление режимами электрических сетей на примере зарубежных сетевых энергокомпаний 28

Выводы 33

1. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЗАДАЛИ ИХ СНИЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 34
   1. Проблемы и задачи расчёта потерь электроэнергии в электрических сетях электроэнергетических систем 34
   2. Модели расчёта экономических показателей ПЭС 39
      1. Балансовая модель расчёта 39
      2. Модель эквивалентных связей между ПЭС 45
      3. Модель электрического эквивалента затрат на производство и транспорт электроэнергии 48
   3. Потери электроэнергии в ЭЭС как категория рыночных взаимоотношений 51
   4. Особенности расчётов нормальных режимов электросетей и потерь электроэнергии на предприятиях электрических

сетей в современных экономических условиях 56

* 1. Комплекс задач расчёта потерь электроэнергии в электрических сетях ЭЭС 61
  2. Учёт экономических факторов при рассмотрении нормальных режимов сетей ПЭС 69
  3. Задачи коммерческого диспетчирования в ЭЭС 79

Выводы 82

1. [СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НАГРУЗОК В СЕТЯХ ПЭС 83](#bookmark6)
   1. Статистические модели расчёта режимов электрических сетей 83
   2. Прогнозирование нагрузок в узлах с использованием ранговой модели 85
   3. Временные модели прогнозирования нагрузок в узлах ПЭС 102
   4. Регрессионная модель потерь электроэнергии в электрических сетях ПЭС 119
      1. Построение регрессионной модели 119
      2. Изменение расчётной схемы сети 124
      3. Учёт влияния баланса электроэнергии ПЭС на потери

в сети 125

Выводы 129

1. [АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО КОММЕРЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЭС 131](#bookmark23)
   1. Задача коммерческого управления предприятиями электрических сетей 131
      1. Общая схема решения задачи оперативного коммерческого управления 133
      2. Реальный объект исследования и его характеристики 136
   2. Алгоритмические основы решения задачи оперативного коммерческого управления ПЭС 138
   3. Количественные результаты расчёта потерь злектрознері ии

в отдельном предприятии электрических сетей 146

Выводы 152

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 153

ЛИТЕРАТУРА 157

ПРИЛОЖЕНИЯ 165

Важным направлением повышения эффективности современных энергообъединений является распространение рыночных отношений на все сферы процесса производства, передачи, распределения и сбыта электроэнергии. Одна из наиболее сложных проблем при этом - использование основных электрических сетей для обмена перетоками мощности и электроэнергии.

Во многих странах электрические сети существуют как отдельная сетевая компания, которая самостоятельно решает свои технические и финансовые проблемы и является равноправным субъектом рынка электроэнергии и мощности. В настоящее время целесообразно пересмотреть роль предприятий электрических сетей на энергетическом рынке нашей страны, с целью установления непосредственного финансового контакта с производителями и потребителями электроэнергии. В э-ом случае управление режимами электрических сетей должно вестись с учётом экономических критериев. Коммерческая деятельность предприятия электрических сетей (ПЭС) требует разработки научных и методических основ решения, имеющих прикладной характер для основных задач управления режимами ПЭС.

Проблема расчёта и анализа потерь электроэнергии является одной из самых важных задач при управлении режимами электрических сетей. Решением этой проблемы успешно занимаются Казанцев В.Н., Идельчик В.И., Железко Ю.С., Воротницкий В.Э., Щербина Ю.В.. Манусов В.З., Поспелов Д.С. и др.

Вопросам расчёта, планирования и нормирования потерь электроэнергии посвящены многочисленные публикации в ведущих тематических отраслевых журналах: “Энергетик”[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], "Электрические станции”[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30], “Электричество”[31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38] и др.

Однако в них недостаточно полно освещена коммерческая деятельность электроэнергетических систем (ЭЭС) и, в частности, её аспекты, связанные с ПЭС. Предприятия электрических сетей - это транспортные предприятия, от деятельности которых зависят эксплуатационные издержки, надёжность электроснабжения и качество электроэнергии. Особенно большое значение приобретают вопросы стоимости потерянной энергии и адресность потерь. Потери электроэнергии - это классическая тема, но в многочисленных работах вопрос адресности их для отдельных ПЭС и их узлов, по-существу, не развит. Важность этой проблемы показана в отдельных работах.

Данная работа посвящена развитию методов расчёта и анализа потерь электроэнергии для условий коммерческой деятельности ЭЭС и ПЭС в оперативном цикле управления. Рассматриваются вопросы создания специальных методов расчёта потерь для задач и принципов коммерческого управления режимами ПЭС, алгоритмизации расчётов.

***Актуальность работы.*** В настоящее время электроэнергия представляется как товар на рынке электроэнергии и мощности. Стоимость этого “товара” должна учитывать все затраты на его производство и транспортировку.

Задачи передачи и распределения электроэнергии при управлении режимами электрических сетей в традиционной, не рыночной, постановке успешно решаются и глубоко проработаны [39, 40, 41, 42, 43, 44, 45]. В настоящий момент, необходимо эти задачи решать с учётом специфики перехода к рыночным отношениям в электроэнергетике.

Необходимо учитывать, что потери электроэнергии влияют на взаимоотношения субъектов рынка. Повышаются требования л точности планирования потерь, возникает необходимость определения их стоимости. Особую остроту приобретает вопрос адресности потерь электроэнергии, ответственности за них отдельных ПЭС.

Недостатком большинства существующих работ является и то, что стоимость потерь электроэнергии определяется по укрупнённым показателям на достаточно продолжительных временных промежутках и она не увязана с процессом управления ЭЭС во времени, например, при определении их значимости при оперативном управлении.

При покупке электроэнергии с оптового или розничного рынка в стоимость “товара” входят и издержки на потери, которые возникают при транспортировке электроэнергии по сети, необходима методика для распределения общих потерь в сети и соответствующих затрат между потребительскими узлами - покупателями энергетического товара. Необходимо создать такую методику для расчёта дифференцированной стоимости электроэнергии и соответствующих потерь для узлов ЭЭС, которая обеспечит экономическую значимость потерь для отдельных потребителей-покупателей.

В диссертационной работе рассматривались задачи и методы управления режимами ПЭС с учётом специфики их решения для условий рынка электроэнергии и мощности.

Это говорит об актуальности работы, результаты которой позволяют создать научные основы и методические принципы управление режимами электрических сетей ПЭС в современных условиях.

***Цель работы.*** Разработка научных основ и методов планирования и анализа потерь электроэнергии концентрированных узлов сетей ПЭС. Это позволяет создать экономически обоснованные принципы управления режимами электрических сетей хозяйственных субъектов ЭЭС, которыми являются ПЭС. Рассматривается цикл оперативно диспетчерского коммерческого управления ЭЭС в условиях рынка электроэнергии и мощности.

***Задачи исследования.***

1. Определение инженерных и научных ососбенностей управления режимами электрических сетей ПЭС, при коммерческом управлении ЭЭС.
2. Разработка моделей и методов расчёта потерь электроэнергии для рассматриваемой задачи. Создание специальной схемы замещения сетей ЭЭС, в которой концентрированными узлами являются её хозяйственные субъекты (ПЭС).
3. Разработка математической модели прогнозирования нагрузок в узлах ПЭС на основе использования ранговых и временных статистических методов.
4. Разработка схемы коммерческого анализа потерь электроэнергии, основанной на расчёте эталонных режимов сети и использовании статистических регрессионных зависимостей для прогноза и анализа.
5. Выполнение расчётов, подтверждающих правомерность предложенных моделей, на основе реальных примеров для получения общих количественных оценок, подтверждающих эффективность метода, достоверность и практическую пригодность полученных результатов.

***Методология и общая характеристика работы***. Системный метод

исследования и, прежде всего, его компоненты - анализ и синтез - составляют основу методологии диссертационной работы. В работе применены основные принципы системного подхода: комплексность постановки задач, целей и критериев, выделение существенных свойств системы, использование экономико-математического моделирования в качестве основного инструмента исследований. -,В работе применены методы теории прогнозирования и математической статистики.

***Научная новизна*** работы заключается в следующем:

1. Разработаны научные основы и методы решения задачи оценки коммерческой значимости потерь электроэнергии в сетях ПЭС.
2. Предложена методика представления реальной схемы сети в виде структурно-балансовых моделей с узлами различной концентрации, что позволяет достаточно объективно составлять балансы электроэнергии для разнообразных коммерческих задач планирования и анализа потерь электроэнергии.
3. Разработаны ранговые модели, которые позволяют задавать нагрузки в концентрированных узлах, восстанавливать информацию в ненаблюдаемых узлах, а также решать проблему адресности потерь электроэнергии в сети. Ранговые модели можно использовать как распределительный механизм и для разнесения сетевых издержек между узлами нагрузки.
4. Получены обобщённые количественные оценки эффективности и достоверности предложенных методов. По реальным данным проведён статистический анализ балансов электроэнергии различных ПЭС, получена совокупность моделей, которые могут использоваться при коммерческом управлении режимами ПЭС.

***Практическая значимость работы.*** Все исследования выполнялись с учётом прикладного значения тематики, на основе реальных данных и их практическое значение заключается в следующем:

1. Разработана схема коммерческого диспетчирования режимов ПЭС, которая базируется на предложенных моделях. Выполнены экспериментальные расчёты, подтверждающие её правомерность.
2. Проведены вычислительные эксперименты обоснованного применения ранговых моделей как основного инструмента задания исходной информации. Разработана схема прогнозирования нагрузок в концентрированных узлах ПЭС с использованием предложенных моделей.
3. Разработана методика преобразования структурной схемы ЭЭС в электрическую и экономическую схемы замещения, что позволяет вести расчёт нормальных режимов сети с учётом экономических оценок.
4. Получены регрессионные зависимости для потерь электроэнергии в сети, которые позволяют осуществлять планирование и анализ потерь.

***На защиту выносятся:***

1. Методы управления режимами электрических сетей при коммерческой деятельности ЭЭС и ПЭС.
2. Модели экономического анализа потерь электроэнергии в электрических сетях ПЭС.
3. Методы определения нагрузок в концентрированных узлах ПЭС, необходимые для решения задачи адресного расчёта потерь электроэнергии в сетях ЭЭС.
4. Алгоритмизация комплекса задач по планированию ***и*** анализу потерь электроэнергии при коммерческой диспетчеризации режимов ЭЭС.
5. Обобщённые количественные оценки, подтверждающие эффективность применения предложенных моделей и методов, полученные для реального ПЭС районной энергосистемы.

***Апробация работы.*** Полученные результаты исследования и основные

положения диссертационной работы докладывались и обсуждались:

1. На семинаре “Энергосбережение. Коммерческий учёт энергоресурсов”, Новосибирск, 27 - 30 октября 1998г.
2. На шестой всероссийской научно-технической конференции , Томск, 2000г.
3. На семинарах кафедры Систем управления и экономики энергетики. ***Публикации.*** По теме диссертации автором опубликованы следующие

статьи и тезисы докладов.

1. “Моделирование режимов ПЭС при их экономической самостоятельности”. - Сборник научных трудов НГТУ, 1998г., №2.
2. “Проблема оценки стоимости параметров режима ПЭС". - Отчёт о НИР № 02.9.80 000108 “Управление режимами ЭЭС с учётом концепции сбыта её продукции на энергетическом рынке", декабрь 1997г., с.45-50, научный руководитель Филиппова Т.А.
3. “Маркетинговые исследования для предприятий электричесий сетей в условиях энергетического рынка". - Отчёт о НИР № 01.9.80 000040 “Методология маркетинговых исследований в региональной энергетике”, декабрь 1998г., с.26-38, научный руководитель Филиппова Т.А.
4. “Modelling of regimes of electrical networks at their economic independence". - Abstract the “KORUS'99”, VOL.2, P.753.
5. “Regimes modelling of transmission electrical power systems which are economically independent”. - Abstract the “KORUS'98”, VOL.2, P.679.
6. “Коммерческий анализ потерь электроэнергии”. - Сборник научных трудов НГТУ, 1999г., №4, с.123-129, в соавторстве с Филипповой Т.А.
7. Отчёт о НИР № 02.20.80 0002915, декабрь 1999г., с.39-50, научный руководитель Филиппова Т.А.
8. “Апробация моделей расчёта стоимостных параметров режима энергосистем и рекомендации по их использованию”. - Отчёт, о НИР №02.9.70 000872 “Исследование проблем управления энергетикой и разработка подходов и методов для их решения”, декабрь 1996г., с.45-55, научный руководитель Русина Н.О., в соавторстве с Георгиевской С.К., Чухонцевой А.Ю.
9. “Особенности управления режимами ЭЭС при коммерческом диспетчировании”. - Материалы докладов шестой всероссийской научно-технической конферкнции, Т.1, с. 135-138, Томск, 2000г, в соавторстве с Филипповой Т.А., Русиным Г.Л., Дроновой Ю.В., Матыциным А.А.
10. “Основы коммерческого диспетчирования в электроэнергетических системах”. - Сборник “Электроэнергетика”, январь 2000г., в соавторстве с Филипповой Т.А., Русиным Г.Д., Дроновой Ю.В., Матыциным А.А. ***Структура и объём работы.*** Диссертация содержит 164 страницы

основного текста, 53 иллюстрации. 15 таблиц и список используемой литературы, включающий 91 наименование. В соответствии с задачами её содержание разделено на 4 главы, введение, содержащее постановку проблемы и обоснование целей и задач работы, заключение. В приложении приведены два акта внедрения по диссертационной работе.

В диссертации исследуется проблема создания моделей и методов управления режимами электрических сетей ПЭС при коммерческой деятельности ЭЭС.

Получены следующие результаты:

1. ***Дается*** постановка задачи управления режимами электрических сетей ЭЭС и ***выявлены*** особенности ее коммерческого содержания. В их числе: необходимость повышения достоверности расчета потерь электроэнергии на всех временных стадиях управления; получение адресных результатов по потерям электроэнергии в концентрированных узлах ПЭС или специальных частях сетей; создание алгоритмов расчета для всех этапов процесса управления.

***Показана*** необходимость развития существующих научных и методических принципов расчета режимов электрических сетей.

1. ***Предложены*** принципы моделирования электрической сети с

использованием структурно-балансовых схем ЭЭС и отдельных ПЭС, классических схем замещения для системообразующих ЛЭП и

представления энергетических характеристик генераторных узлов в виде электрического эквивалента. При этом узлы в схеме могут быть различного уровня концентрации. ***Предложена*** методика определения их эквивалентного сопротивления. ***Предложены*** три модели, позволяющие

рассчитывать нормальные режимы сети с учетом всех ее коммерческих особенностей. ***Определены*** основные задачи планирования и анализа потерь электроэнергии.

1. В работе ***рассмотрены*** статистические модели нагрузок в сетях ПЭС, которые позволяют решать проблему исходной информации

прогностического содержания. Точность задания нагрузок существенно влияет на достоверность расчета. В работе ***выполнялись*** исследования по получению статистических моделей для двух задач: получение

суммарных нагрузок в концентрированных узлах ПЭС системы и получение нагрузок по узлам отдельных подстанций сетей ПЭС.

***Предлагается*** комплексное использование моделей временных рядов и ранговых моделей. В качестве объекта статистического анализа

***рассматривалась*** реальная ЭЭС, в которой имеются 7 ПЭС. В качестве объекта, для которого были ***проведены*** расчёты, выбрано самое крупное ПЭС АО-энерго, имеющее связи со всеми электростанциями энергосистемы и соседними энергосистемами. В ходе расчётов были ***получены*** статистические зависимости для потерь электроэнергии, пропуска электроэнергии через ПЭС, эквивалентных сопротивлений концентрированных узлов и т.д. Полученные зависимости имеют общий характер и методические основы их построения сохраняются и для других объектов.

1. ***Исследовался*** ранговый принцип статистических соотношений различных величин, в основе которого лежит присвоение ранга

отдельному узлу сети в соответствии с его нагрузкой. По этому принципу можно решать различные задачи: прогнозировать нагрузки в узлах, восстанавливать отсутствующую информацию в ненаблюдаемых узлах, проверить достоверность полученных замеров нагрузок и др., а также использовать его как распределительный механизм. ***Разработана*** методика использования ранговых моделей для концентрированных узлов схемы ЭЭС и ПЭС. По данной методике были ***проведены*** расчёты на реальном примере и ***получены*** ранговые модели для нескольких узлов нагрузки. С помощью этих моделей ***проведено*** прогнозирование нагрузки на месячный период упреждения. Ранговые модели позволяют решать прямую и обратную задачи: при прямом ходе нагрузки прогнозируются по схеме “узлы нагрузки —> ПЭС”, а при обратном - “ПЭС -» узлы нагрузки”. При этом погрешность прогноза составляет в среднем 8% без применения корректирующей балансировки.

1. ***Проведено*** исследование временных моделей прогнозирования нагрузок. ***Получены*** уравнения временных рядов для реальных узлов нагрузки, а также для эквивалентного узла ПЭС. По полученным зависимостям ***проведено*** прогнозирование нагрузок на месячный период упреждения. Анализ результатов ***показал***, что временные модели достаточно точно описывают исходный статистический материал, однако при решении прямой задачи прогнозирование по временным рядам даёт несбалансированный прогноз до 22%. Устранение небаланса приводит к дополнительной погрешности узловых нагрузок в 5-10%. При использовании временных моделей можно решать только прямую задачу “нагрузка в узлах - нагрузка ПЭС”, либо задачу определения нагрузки ПЭС. Это ограничивает применение временных моделей.
2. ***Предложена*** схема расчёта и анализа потерь электроэнергии при коммерческом диспетчировании режимов ЭЭС. В схеме предусматривается совокупное использование трех моделей: нормирования, планирования и анализа потерь электроэнергии. Для нормирования применяются классические методы расчета сетей, для планирования - расчеты специальных структурно-балансовых схем сетей, а для анализа специальные уравнения регрессии. На основе

предложенной схемы ***разработаны*** алгоритмические основы оперативного коммерческого управления режимами ПЭС при коммерческом диспетчировании. ***Обоснована*** возможность

практического применения этой методики для АСДУ.

1. ***Построены*** регрессионные зависимости потерь электроэнергии в электрических сетях ПЭС, где в качестве факторов фигурируют составляющие баланса электроэнергии по ПЭС. Полученное уравнение регрессии ***использовалось*** для планирования и анализа потерь в предложенной ранее схеме коммерческого диспетчирования. С помощью регрессионного уравнения были ***проведены*** имитационные расчёты изменений потерь электроэнергии в сети с изменением конкретного фактора.
2. Достоверность научных выводов проверялась на примере реальных объектов одной из энергосистем. Статистические данные соответствуют реальным условиям. Материалы диссертации включают много реальных количественных оценок, имеющих практическое значение.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ источников**

1. Дьяков А.Ф., Семёнов В.А., Морозкин В.П. Использование основных электрических сетей при рыночных отношениях. Опыт США и стран Западной Европы. - “Энергетик”, 1994г., №4, с.4-6.
2. Дьяков А.Ф. Тарифная политика в электроэнергетике,- “Энергетик”, 1994г., №9, с.2-4.
3. Курбангалиев У.К., Лисицин Н.В. Требования к коммерческому учёту электрической энергии и мощности в условиях оптового рынка.- “Энергетик”, №1, 1996г., с.2-4.
4. Кушнарёв Ф.А., Подгорный Д.Э., Дьяков Ф.А. Социально­ориентированные тарифы на электроэнергию для населения.- “Энергетик”, 1998г., №12, с.7-9.
5. Рожко А.Г. Реализация электроэнергии в условиях рынка.- “Энергетик”, 1994г., №1, с.8-9.
6. Семёнов В.А. Экономические отношения между энергокомпаниями Нью-Йоркского пула. - “Энергетик”, 1995г., №3, с. 11-17.
7. Сюткин С.Б., Лелюхин Н.В., Лонщакова О.Л. Опыт функционирования оптового рынка электроэнергии и мощности в ОЭС Центра и задачи его совершенствования. - “Энергетик”, 1999г., №1, с.2-8.
8. Томилов В.Г., Филиппова Т.А., Якимова А.П. Совершенствование деятельности энергосистем в области сбыта продукции. - “Энергетик", 1995г., №4, с.4-5.
9. Барановский А.И., Бойко М.Д., Эйдельман В.И. Экономические проблемы электроэнергетики на современном этапе перехода к рыночным отношениям. - “Электрические станции”, 1994г., №5, с.3-5.
10. Барановский А.И. Влияние государственного регулирования цен на развитие электроэнергетики - опыт США. - “Электрические станции”, 1994г., №5, с.55-58.
11. Баринов В.А. Структуры управления и рыночные отношения в

, і 158

электроэнергетике. -“Электрические станции", 2000г., №1, с.4-19.

1. Бобылева Н.В., Малкин П.А., Хабачев Л.Д. О методике обоснования новых объектов основной сети ЕЭС РФ в условиях функционирования Федерального рынка электроэнергии и мощности. - “Электрические станции”, 2000г., №5, с.2-8.
2. Богданов В.А., Лошаков А.А. Контроль планирования и анализ потерь энергии в электрических сетях. -“Электрические станции”, 1999г., № ,с.69-73.
3. Бойко Н.Д. Структура тарифов на электроэнергию и методы их регулирования РАО “ЕЭС России”. - “Электрические станции”, 1993г., №7, с.9-13.
4. Бохмат И.С., Воротницкий В.Э., Татаринов Е.П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах.- “Электрические станции”, 1998г., №9, с.53-59.
5. Воротницкий В.Э., Загорский А.Т., Апряткин В.Н., Западнов В.А. Расчёт, нормирование и снижение потерь электроэнергии в городских электрических сетях.-“Электрические станции”, 2000г., №5, с 9-13.
6. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинкина М.А. Программа расчёта потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях 6-10кВ.- “Электрические станции”, 1999г., №8, с.38-42.
7. Воротницкий В.Э., Эдельман В.И., Броерская Н.А., Калинкина М.А. О принципах нормирования технологического расхода электроэнергии на её транспорт в электрических сетях для расчёта тарифов по диапазонам напряжения - “Электрические станции”, 1999г., №11, с.7-10.
8. Денисов В.И. Задачи совершенствования тарифов при переходе к рыночным отношениям. - “Электрические станции”, 1994г., №6, с.2-8.
9. Денисов В.И., Эдельман В.И. Ферапонтова Ю.Б. Формирование дифференцированных по диапазонам напряжения тарифов на услуги по передаче и распределению электрической энергии. -“Электрические станции”, 1999г., №11, с.2-6.