

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

на правах рукописи

ОЛЯНИШИН Вадим Олегович

МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Специальность 05.14.02 – Электрические станции (электрическая
часть), сети, электроэнергетические
системы и управление ими

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Робота виконана в Інституті електродинаміки АН України

Научний керівник – доктор технічних наук, професор,
член-корреспондент АН України,
В.Г.Кузнецов

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор,
В.М.Постолатий

кандидат технічних наук, старший
научний співробітник
В.Я.Прихно

Ведущая организация – Научно-исследовательский институт
электроэнергетики (НИИЭЭ) Минэнерго
Украины, г.Киев

Защита диссертации состоится "12" 05 1993 года в
11⁰⁰ на заседании специализированного совета Д 016.30.04 при
Институте электродинаміки АН України по адресу:
252680, г.Киев-57, Проспект Победы, 56.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
электродинаміки АН України.

Автореферат разослан "12" 04 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук

Г.М.Федоренко

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие электрических сетей (ЭС) как основного звена электроэнергетических систем характеризует их насыщением новыми нетрадиционными потребителями электрической энергии (ЭЭ) и, как следствие, устойчивой тенденцией снижения качества электроэнергии (КЭ). Сегодня в ЭС развитых стран мира такие показатели КЭ как отклонения, колебания, несимметрия и несинусоидальность напряжений стали постоянно действующими факторами, снижающими эффективность работы как самих ЭС, так и потребителей ЭЭ.

До настоящего времени модели и методы анализа и управления установившимися режимами (УР) ЭС предполагали учет только одного нормируемого ГОСТ 13109-87 показателя КЭ – отклонений напряжения. Влияние постоянно действующих несимметрии и несинусоидальности напряжений исследовано в значительной степени для ЭС низших иерархических уровней, однако при этом в большинстве случаев игнорируется природа совместного воздействия различных показателей. Применяемый в настоящее время подход не обеспечивает оценки комплексного влияния отклонений, несимметрии и несинусоидальности напряжений на экономическую эффективность УР в целом для ЭС энергосистем, так же, как и не обеспечивает корректного выбора управляющих воздействий при решении оптимизационных задач с учетом искажений КЭ.

Объектом исследования диссертационной работы является электроэнергетическая система, как большая кибернетическая система, управление которой предполагает автоматизацию и компьютеризацию процессов производства, передачи и распределения ЭЭ. С точки зрения анализа КЭ ЭС представляет собой совокупность многофазных элементов с нелинейными характеристиками и различающимися параметрами фаз. Мероприятия по управлению УР ЭС, энергосбережению и повышению КЭ осуществляются с помощью регулирующего оборудования, в том числе с пофазным управлением, компенсирующих устройств и других устройств коррекции параметров режима.

Поскольку надежное обеспечение потребителей электроэнергией надлежащего качества является основной целью функционирования ЭС, актуальной научно – технической задачей является разработка математических моделей (ММ) и методов

анализа и оптимального управления УР ЭС энергосистем, учитывающих отклонения, несимметрию и несинусоидальность напряжений и обеспечивающих повышение эффективности и надежности энергообеспечения при стабилизации КЭ.

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка эффективных методов анализа и управления режимами основных сетей энергосистем, учитывающих влияние КЭ, для повышения экономичности и надежности УР ЭС.

Для достижения цели работы решены следующие задачи:

1. Разработаны методы анализа УР работы ЭС, учитывающие несимметрию и несинусоидальность напряжений и токов.

2. Разработаны ММ элементов ЭС, адекватно отражающие влияние различных показателей КЭ на их технологические и экономические характеристики.

3. Разработана концептуальная ММ оптимального управления УР ЭС с учетом КЭ по критериям эффективности и надежности работы сетевого электрооборудования (ЭО).

4. Развита методы управления УР ЭС при оптимальном распределении реактивных мощностей и коэффициентов трансформации с учетом ограничений на уровни отклонений показателей КЭ.

5. Созданы алгоритмы и программы для решения задач анализа и оптимизации УР ЭС на персональных ЭВМ.

Методы исследований. В работе на основании системно - структурного подхода применены: теория графов, методы линейной алгебры, методы факторизации систем линейных уравнений с учетом разреженности матриц, метод Ньютона-Рафсона второго порядка для решения систем нелинейных уравнений УР ЭС, методы сопряженных градиентов для решения оптимизационных задач, методы внешних и внутренних штрафных функций для учета ограничений при оптимизации. Моделирование несимметричных УР ЭС основано на матричном методе анализа электрических цепей с применением компаунд-модели, метода адресных отображений и теории связанных списков.

Научная новизна. В диссертационной работе впервые:

- предложена комплексная ММ УР для анализа КЭ в электрических сетях энергосистем.

- разработан метод расчета несимметричного УР на основной частоте для узловой модели ЭС в фазных координатах. Система нелинейных уравнений УР решается методом второго порядка,

реализующим полное разложение уравнений баланса узловых мощностей в степенной ряд с учетом идентичности структур и слабой заполненности матриц узловых проводимостей и Якоби.

- предложен метод анализа распространения гармоник в Э, основанный на применении однолинейной узловой модели для соответствующих частот. Система уравнений решается путем линеаризации по Ньютону - Рафсону с учетом идентичности структур и разреженности матриц на частотах гармоник.

- разработаны ММ влияния различных показателей КЭ на основные виды оборудования ЭС, позволяющие производить оценку снижения экономических характеристик линий электропередач, трансформаторов и другого ЭО при отклонениях КЭ, в том числе с учетом фактора совместного воздействия различных показателей.

- разработана ММ оптимального управления УР ЭС с учетом КЭ, основанная на применении градиентных методов при выборе управляющих воздействий.

- предложен метод и алгоритм решения задачи оптимального распределения реактивных мощностей по критериям минимума технологического расхода ЭЭ с учетом отклонений ПКЭ.

- предложен метод и алгоритм оптимизации коэффициентов трансформации, основанный на выборе регулировочных ЭДС в качестве независимых переменных. Задача решена по критерию минимума потерь активной мощности в ЭС с ограничениями по уровням отклонений показателей КЭ.

Автор защищает:

1. Метод анализа УР ЭС на основной частоте, основанный на разложении уравнений баланса узловых мощностей в степенной ряд до членов второго порядка.

2. Методику моделирования распространения гармоник в ЭС.

3. Методику математического моделирования влияния показателей КЭ на ЭО.

4. Методику ограничения допустимых уровней отклонений ПКЭ в ЭС различных номинальных напряжений, учитывающую фактор одновременного воздействия различных показателей.

5. Концептуальную модель учета КЭ при выборе упр. влияющих воздействий на УР ЭС энергосистем.

Практическая ценность работы. Предложенная в работе методика анализа УР обеспечивает получение более полной информации о текущем режиме сети: об уровнях отклонений напряжений, уровнях несимметрии и несинусоидальности

напряжений в узлах ЭС, о потерях, обусловленных снижением КЭ и о допустимости текущего режима в целом с точки зрения влияния КЭ на оборудование ЭС. Методы оптимизации, разработанные в диссертации, обеспечивают получение оптимальных по экономической эффективности УР при соблюдении ограничений на КЭ. Методология, используемая для моделирования влияния КЭ на ЭО, дает возможность оценки как увеличения потерь и сокращения сроков службы оборудования, обусловленных снижением КЭ, так и выработки рекомендаций по ограничению отклонений показателей КЭ при их совместном воздействии. Разработанные методы и алгоритмы реализованы в виде программ для анализа и оптимизации УР в ЭС различных классов напряжений и находят применение в проектной и эксплуатационной практике.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы при разработке рекомендаций по нормированию показателей качества электроэнергии в ЭС, а также при создании и внедрении программно-вычислительных комплексов:

1. Комплекс программ оптимизации питающих сетей высшего напряжения "ЭСКОРТ-9" (внедрен в ПЭО "Львовэнерго" и др.).

2. Комплекс программ "ЭСКИЗ" анализа и оптимизации режимов ЭС на мини-ЭВМ СМ-4 / СМ-1420 (внедрен в эксплуатацию в 14 энергосистемах, в том числе в ПЭО "Киевэнерго", "Мосэнерго", "Латвэнерго" и др.). В 1988 году разработка награждена золотой медалью ВДНХ СССР, а автор - как один из разработчиков - серебрянной медалью.

3. Комплекс программ анализа установившихся режимов электрических сетей с учетом показателей КЭ (внедрен в ПЭО "Днепроэнерго" в 1990 г.).

4. Интегрированный программно-вычислительный комплекс "ЭКСПЕРТ" анализа нормальных и аварийных режимов ПЭС на персональных ЭВМ (внедрен в РЭУ "Гродноэнерго" в 1991 г.).

5. Рекомендации по нормированию уровней несимметрии и несинусоидальности напряжений при их совместном воздействии (переданы для внедрения в ПЭО "Укрэнерго" в 1992 г.)

Общий подтвержденный экономический эффект от внедрения разработок составляет 146,00 тыс. руб. в год, на долю автора приходится 29,2 тыс. руб. в год (масштаб цен соответствует 1989-1990 гг.).

Апробация работы. Основные положения и материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на

следующих научно-технических конференциях и семинарах:

- Четвертой Республиканской научно-технической конференции "Современные проблемы энергетики", г. Киев, 1985 г.
- научно-технической конференции "Управление развитием и функционированием систем электроснабжения", г. Киев, 1986 г.
- 31- Международном научном коллоквиуме "Электроэнергетические системы и установки", г. Ильменау, ГДР, 1986 г.
- Международной научно-технической конференции "Качество электрической энергии в системах электроснабжения", г. Лодзь, Польша, 1987 г.
- Международной конференции "Современные проблемы автоматизации и управления энергетическими системами", г. Гливице, Польша, 1989 г.
- научно-технической конференции "Критерии экономической эффективности в энергетике", г. Киев, 1990 г.
- Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения промышленности и транспорта", г. Днепропетровск, 1990 г.
- VI Республиканской школе-семинаре молодых ученых и специалистов, г. Алушта, 1992 г.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, в том числе 8 статей и 2 отчета по законченным НИР "Норма" и "Совместимость".

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений и содержит 168 страниц основного машинописного текста, 20 рисунков на 17 страницах, 3 таблицы, список литературных источников из 197 наименований на 21 странице и 27 страниц приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность задачи, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая ценность диссертационной работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и публикации основных результатов исследований, описаны структура и краткое содержание работы.

В первой главе предложено решение задачи расчета УР ЭС с

учетом искажений КЭ. Подход к моделированию ЭС, примененный в работе, предполагает независимое моделирование конфигурации ЭС, элементов ЭС на основной частоте и на частотах гармоник. Топология анализируемой ЭС задается адресной информационной моделью, основанной на теории связанных списков и обладающей рядом преимуществ по сравнению с матричными моделями за счет снижения требований по оперативной памяти ЭВМ и сокращению времени вычислений.

Моделирование несимметричных элементов ЭС производится с применением типизации матриц характерных элементов, что позволило сократить расход памяти ЭВМ за счет неявного хранения матриц параметров элементов сети, а также минимизировать количество вычислительных операций за счет применения специальных процедур к матрицам различных типов.

Исследования моделей элементов ЭС на частотах гармоник показали целесообразность применения характерных матриц проводимостей, что повысило эффективность расчетов.

В настоящее время анализ несимметричных режимов может быть эффективно осуществлен в фазных координатах с представлением ЭС в виде компаунд-модели. В работе использована ММ УР ЭС на основной частоте в форме уравнений небалансов узловых мощностей. Метод решения системы нелинейных уравнений УР представляет собой итерационную процедуру, основанную на полном разложении системы в ряд Тейлора:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta E \\ \Delta F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta E \Delta E \\ \Delta E \Delta F \\ \Delta F \Delta E \\ \Delta F \Delta F \end{bmatrix}$$

Основным элементом новизны является учет при линеаризации уравнений производных второго порядка, которые при выборе в качестве независимых переменных активных E и реактивных F составляющих узловых напряжений представляют собой элементы матрицы узловых проводимостей, что повышает точность моделирования и надежность получения решения. Используемые методы и алгоритмы операций с элементами матриц узловых проводимостей и Якоби учитывают их слабую заполненность.

Установившийся режим на частотах гармоник моделируется в форме уравнений нулевого небаланса, решаемых с помощью метода

Ньютона-Рафсона. Предполагается, что анализируемая трехфазная ЭС сбалансирована и спектр гармоник является каноническим. При этом гармоники напряжения (тока) могут быть разложены на симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей. Это дало возможность производить расчеты распространения каждой из гармоник, используя значения импедансов сети соответствующей последовательности в однолинейной схеме замещения, а также использовать свойство полуволновой симметрии кривых тока и напряжения. Расчет потокораспределения в ЭС с учетом ВГ определяет такие параметры УР как спектральный состав токов ветвей и напряжений узлов, перетоки и потери мощности в ветвях на частотах ВГ.

Вторая глава посвящена разработке моделей элементов ЭС для анализа влияния различных показателей КЭ. Необходимость такого анализа обусловлена не только общей тенденцией снижения КЭ в сетях, но и его существенным влиянием на технико-экономические характеристики ЭС и потребителей электроэнергии, подключенных к ним. Проблеме учета отклонений показателей КЭ в ЭС в последнее время уделяется значительное внимание, однако достаточную проработку получили вопросы влияния каждого из нормируемых показателей в отдельности. Вопросы, связанные с учетом совместного воздействия различных показателей КЭ, практически не исследованы, хотя именно такая ситуация распространена в реальных ЭС.

В этой связи возникла потребность разработки математических моделей, позволяющих производить оценку раздельного и совместного влияния отклонений, несимметрии и несинусоидальности напряжений на технико-экономические характеристики сетевого ЭО по критериям технологического расхода электроэнергии, рабочих характеристик и сроков службы основных видов оборудования ЭС и потребителей ЭЭ. Предложенный подход к моделированию базируется на определении дополнительных потерь активной мощности, обусловленных отклонениями каждого из исследуемых показателей КЭ, что позволяет адекватно отразить физические процессы, происходящие в ЭО и дает возможность учета как раздельного, так и одновременного воздействия нескольких показателей. В свою очередь, оценка увеличения потерь активной мощности в ЭО, вызванных снижением КЭ, дает возможность определения превышений температуры изоляции оборудования, что напрямую

определяет сокращение срока его службы.

В работе получены функциональные характеристики влияния ПКЭ на потери мощности в ЭО ЭС в виде

$$\Delta P = A\delta U + B\epsilon_u^2 + C \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2.$$

что обеспечило возможность решения двух важных задач:

- разработки методологии определения допустимых уровней отклонений показателей "3, учитывающих природу их комплексного воздействия на режимы работы и сроки службы силового ЭО энергосистем и потребителей;

- определения численных значений коэффициентов влияния А, В и С показателей КЭ на потери активной мощности для линий электропередач, трансформаторов, синхронных и асинхронных машин и батарей конденсаторов, позволяющие производить инженерную оценку эффективности УР работы как ЭС в целом, так и отдельных ее элементов.

Решение первой задачи позволило разработать рекомендации по нормированию отклонений ПКЭ в ЭС с учетом фактора их одновременного воздействия и реализованных в виде приложения к ГОСТ 13109-87, внедренных в Главгосэнергонадзоре Украины и ИПЭО "Укрэнерго". Решение второй задачи использовано в работе при оценке эффективности управления режимами ЭС с учетом ПКЭ.

Третья глава содержит решение задачи оптимизации распределения реактивных мощностей. Условием оптимальности УР ЭС, принят в работе, является обеспечение минимума суммарных потерь активной мощности. Диапазон изменения параметров УР задается системой технических ограничений, среди которых различаются ограничения, обусловленные диапазоном регулирования и установленной мощностью источников реактивной мощности, и ограничения, обусловленные техническими требованиями по качеству электрической энергии.

К ограничениям типа равенств, обусловленным структурой и свойствами ЭС как объекта управления, отнесены уравнения баланса узловых мощностей. Учет ограничений-равенств осуществляется автоматически при расчете текущего УР с заданными значениями варьируемых реактивных мощностей.

Ограничения, связанные с условиями регулирования источников реактивной мощности, учитываются непосредственно при коррекции варьируемых переменных путем их фиксации на

нарушенном пределе. Ограничения, обусловленные регулированием зависимых характеристик режима, учитываются в работе модифицированным методом штрафных функций.

Проблема учета показателей КЭ при решении оптимизационных задач может быть решена двояко: путем введения контролируемых показателей КЭ в число независимых переменных оптимизации, и введением их в число ограничений. Первый подход выглядит более перспективным в связи с обеспечением непосредственной связи управляющих воздействий с независимыми переменными. Однако использование наиболее эффективных градиентных методов оптимизации предполагает на каждом шаге поиска решения выполнение расчетов частных производных от целевой функции по показателям КЭ, определяемых путем пересчета результатов расчета текущего УР ЭС. В силу неявной и сложной функциональной зависимости между целевой функцией и показателями КЭ как независимыми переменными, реализация такого подхода в настоящее время встречает значительные трудности вычислительного характера. В силу изложенных причин, примененный в работе подход, при котором показатели КЭ включаются в систему ограничений, представляется на современном этапе более перспективным. Введение новых ограничений на показатели КЭ не накладывает дополнительных требований на совместность системы ограничений в целом, а исключает решения, при которых контролируемые параметры выходят за допустимые пределы, введением в целевую функцию соответствующих коэффициентов штрафа.

Комбинированный алгоритм учета ограничений, реализованный в работе, предполагает учет ограничений по независимым переменным с помощью метода сдерживающих ограничений, а по зависимым переменным оптимизации - комплексным методом внешних и внутренних штрафных функций. Так, например, внешняя штрафная функция для учета ограничений по напряжению в контролируемых узлах сети рассчитывается в соответствии с выражением

$$P_U^k(U_p) = \sum (U_p - U_p^{np})^2,$$

а внутренняя штрафная функция для учета тех же ограничений -

$$P_U^i(U_p) = \sum \left(\frac{1}{U_p - U_p^{min}} + \frac{1}{U_p^{max} - U_p} \right),$$

При нарушении ограничений по коэффициентам обратной

последовательности и несинусоидальности напряжений в контролируемых узлах сети значения штрафных функций рассчитываются соответственно

$$P_{2U}^{\varepsilon}(K_{2U}^c) = \sum (K_{2U}^c - K_{2U}^{\text{пр } z})^2,$$

$$P_{НСU}^{\varepsilon}(K_{НСU}^c) = \sum (K_{НСU}^c - K_{НСU}^{\text{пр } z})^2$$

Примененный в работе метод оптимизации использует алгоритм сопряженных градиентов в варианте Полака-Рибьера для выбора направлений поиска и предусматривающий пошаговую оптимизацию коэффициента длины шага, основанную на совместном использовании масштабирования составляющих градиента и процедуры одномерного поиска, использующей квадратичную аппроксимацию целевой функции. После двух пробных шагов в направлении поиска с коэффициентами ζ_1 и ζ_2 оптимальное значение коэффициента длины шага определяется по формуле

$$\zeta_{\text{опт}} = \frac{1}{2} \frac{(\zeta_1^2 - \zeta_2^2) \Phi_0 + \zeta_2^2 \Phi_1 - \zeta_1^2 \Phi_2}{(\zeta_1 - \zeta_2) \Phi_0 + \zeta_2 \Phi_1 - \zeta_1 \Phi_2}$$

Четвертая глава посвящена решению задачи выбора оптимальных значений коэффициентов трансформации. Специфика задачи определяется необходимостью учета дискретного характера изменения коэффициентов трансформации, связанного с переключением соответствующих анцапф. Невозможность одновременного учета непрерывных и дискретных переменных при решении задач нелинейного программирования обусловила дополнительную погрешность расчетов оптимальных значений K_T при использовании градиентных методов, подразумевающих непрерывный характер изменения независимых переменных.

В работе использован метод, реализующий концепцию оптимизации регулировочных ЭДС, под которыми понимают приращения напряжений на обмотках трансформаторов или автотрансформаторов, полученные за счет использования их средств регулирования. Выбор в качестве независимых переменных регулировочных ЭДС позволил уменьшить количество варьируемых аргументов, обеспечить совместный учет продольного и поперечного регулирования K_T и облегчить практическое использование результатов оптимизации.

Выбор независимых переменных при оптимизации K_T должен обеспечивать получение решения для агрегатов с любыми схемами регулирования. Поэтому была применена унифицированная модель

трансформирующего агрегата, позволяющая осуществить перерасчет конкретных значений K_T для различных схем включения регулировочных ответвлений в зависимости от полученных при оптимизации значений регулировочных ЭДС в виде

$$K_{f\phi} = \frac{E_{\phi}^f + E_{\phi}^{pf} + E_{\phi}^{\text{ВЛТ}} \cos \gamma + jE_{\phi}^{\text{ВЛТ}} \sin \gamma}{E_{\phi}^a + E_{\phi}^{pa} + E_{\phi}^{\text{ВЛТ}} \cos \gamma + jE_{\phi}^{\text{ВЛТ}} \sin \gamma}$$

где f, a - обозначения обмоток (ВН, СН или НН), ϕ - индекс фазы.

Использование предлагаемой модели для оптимизации коэффициентов трансформации отличается рядом преимуществ: возможностью учета совместного изменения продольных и поперечных составляющих K_T , уменьшением числа независимых переменных, возможностью учета пофазного регулирования K_T соответствующих агрегатов.

Определение компонент градиента целевой функции - суммарных потерь активной мощности в ЭС по независимым переменным - регулировочным ЭДС осуществляется путем непосредственного дифференцирования целевой функции. Для выбора направлений поиска применен алгоритм Полака-Рибьера метода сопряженных градиентов. Учет ограничений при оптимизации регулировочных ЭДС в работе производится комбинированным методом. Ограничения по диапазону изменения регулировочных ЭДС учитываются с помощью метода сдерживающих ограничений, по уровням напряжения в контролируемых пунктах сети - с помощью метода внешних штрафных функций. Учет показателей КЭ при оптимизации регулировочных ЭДС предполагает наложение на процесс поиска решения дополнительных ограничений, рассмотренных подробно в главе 3 и также учитываемых с помощью метода внешних штрафных функций.

В Приложениях приведены разработанные автором алгоритмы и программы решения систем линейных уравнений, использующих слабую заполненность матриц коэффициентов, характеристики моделей источников реактивной мощности для решения оптимизационных задач, примеры расчетов и документы об использовании и внедрении разработок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе решена актуальная задача разработки

методов, алгоритмов и программ анализа и оптимального управления режимами ЭС энергосистем с учетом показателей КЭ. При этом получены следующие основные результаты и выводы:

1. Разработана и реализована комплексная ММ для решения задач анализа и оптимизации УР ЭС с учетом отклонений, несимметрии и несинусоидальности напряжений. Модель использует методологию кибернетического моделирования и включает в себя:

- адресно-информационную модель, предназначенную для моделирования конфигурации ЭС, использующую методологию связанных списков и обеспечивающую по сравнению с матричными моделями сокращение расхода памяти ЭВМ;
- подмодель несимметричного УР ЭС на основной частоте, использующую метод узловых напряжений в фазных координатах, включающая в себя компанд-матрицы элементов ЭС и уравнения связи в форме небалансов узловых мощностей;
- подмодель УР ЭС на частотах гармоник, включающая в себя модели линейных элементов ЭС и источников гармоник в однолинейном представлении и уравнения связи в форме небалансов узловых мощностей и токов гармоник.

2. Разработан метод решения системы нелинейных уравнений УР ЭС на основной частоте, основанный на разложении исходной системы в степенной ряд до членов второго порядка. Выбор в качестве независимых переменных продольных и поперечных составляющих фазных напряжений узлов позволил получить разложение, в котором члены второго порядка соответствуют элементам матрицы узловых проводимостей, а члены старших порядков отсутствуют, что повышает надежность получения решения.

3. Разработан метод расчета уровней гармоник напряжения в сети, основанный на применении единой адресно-информационной модели и вычислительной схемы Ньютона-Рафсона для решения системы нелинейных уравнений. Отличие от известных методов состоит в раздельном моделировании линейных и нелинейных элементов сети, что сокращает на 15-20% время вычислений при сохранении заданной точности расчетов.

4. Разработан метод решения систем линеаризованных уравнений УР, основанный на двойной факторизации матриц коэффициентов с учетом их слабой заполненности. Адекватность структур матриц коэффициентов структуре матрицы узловых проводимостей при расчетах на основной частоте и частотах

гармоник позволила сократить в 2,5 – 3 раза расход памяти ЭВМ при хранении, и времени вычислений на 25–28% (в зависимости от схемы сети) за счет применения унифицированных алгоритмов поиска, выборки и модификации элементов соответствующих разреженных матриц.

5. Разработаны математические модели влияния различных показателей КЭ на основные виды ЭО ЭС и потребителей. В отличие от известных, полученные модели адекватно – по потерям мощности и нагреву – отражают влияние КЭ при совместном воздействии нескольких показателей. Предложенные в работе модели обеспечивают:

- инженерную оценку снижения экономических характеристик режима ЭС при отклонениях КЭ от норм ГОСТ 13109-87;
- уточненный расчет сроков службы оборудования, работающего в режимах с искажениями КЭ как по одному показателю, так и при комплексном воздействии отклонений, несимметрии и несинусоидальности напряжений;
- выработку требований по ограничению допустимых отклонений показателей КЭ и их нормированию в ЭС.

6. Разработана концептуальная модель оптимального управления УР ЭС с учетом КЭ, основанная на применении метода сопряженных градиентов для выбора управляющих воздействий. Обоснована целесообразность учета КЭ при решении оптимизационных задач путем введения в систему ограничений условий по предельным отклонениям нормируемых показателей КЭ.

7. Разработана модель трансформирующего агрегата для решения задачи оптимизации коэффициентов трансформации, учитывающая различные типы и схемы регулирования трансформаторов и автотрансформаторов, в том числе и с пофазным управлением. Модель ориентирована на применение регулировочных ЭДС в качестве независимых переменных оптимизации, что дает возможность совместного учета продольных и поперечных значений комплексных коэффициентов трансформации при сокращении числа варьируемых аргументов.

8. Разработаны методы и алгоритмы решения задачи оптимального управления УР ЭС путем оптимизации распределения реактивных мощностей в ЭС и выбора оптимальных значений коэффициентов трансформации. Применен метод сопряженных градиентов в варианте Полака-Рибьера с пошаговой оптимизацией ускоряющих коэффициентов, основанной на параболической

интерполяции целевой функции. Учет ограничений осуществлен комбинированным методом, включающим методы внешних и внутренних штрафных функций для независимых переменных оптимизации, и метод внешних штрафных функций – для зависимых. В дополнение к известным, предусматривается учет ограничений по коэффициентам обратной последовательности и несинусоидальности напряжений в контролируемых узлах сети, а также возможность пофазного регулирования источников реактивной мощности и трансформирующих агрегатов.

9. Разработанные в диссертации методы и алгоритмы реализованы в виде программ анализа и оптимального управления УР ЭС для персональных ЭВМ. Они эксплуатируются в ряде энергосистем Украины и СНГ, в частности в ПЭО "Киевэнерго", "Львовэнерго", "Днепроэнерго", "Мосэнерго", РЭУ "Гродноэнерго" и др. Использование программ для решения проектных и эксплуатационных задач обеспечивает обоснованное решение задач анализа, текущего и перспективного управления режимом, повышает надежность электроснабжения и КЭ при снижении потерь энергии. Согласно проведенным расчетам для реальных сетей, оптимизация распределения реактивных мощностей обеспечивает в среднем $1,4\% + 5,2\%$, а оптимизация коэффициентов трансформации $-0,8\% + 3,7\%$ снижения потерь активной мощности при стабилизации КЭ в сети.

10. По заданию Главгосэнергонадзора Украины и ГТЭО "Укрэнерго" разработаны рекомендации по ограничению показателей КЭ с учетом фактора их совместного воздействия в виде приложения к ГОСТ 13109-87. Разработанные рекомендации проходят апробацию в службах энергонадзора ряда энергосистем Украины.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Самкова В.Е., Олянишин В.О. Выбор мест оптимального секционирования электросетей 110 кВ в условиях эксплуатации // Современные проблемы электроэнергетики: Тез. докл. IV Респ. науч.-техн. конф. (Киев, октябрь 1985 г.). – Киев, 1985. – С.75-77.

2. Баженов В.А., Олянишин В.О. Учет потерь активной мощности в источниках при оптимизации распределения реактивных мощностей в энергосистемах // Вестн. Киев. политехн. ин-та.

Электротехника.- 1986.- вып.23.- С.77-79.

3. Кузнецов В.Г., Олянишин В.О., Тугай Ю.И. Оптимальное управление режимами электросетей с учетом критерия качества электроэнергии // Elektroenergieanlagen und systeme: Vortragsreihe 31 Internationales Kolloquium (Ильменау, ГДР, 27-31 октября 1986 г.).- Ильменау, 1986.- С.57-60.

4. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Олянишин В.О. Многокритериальный подход к выбору мест секционирования неоднородных электросетей // Моделирование электроэнергетических систем: Тез. докл. IX Всесоюз. науч. конф. (Рига, 12-15 мая 1987 г.).- Рига, 1987.- С.265-266.

5. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Олянишин В.О. Энергосберегающее управление режимами электросетей с учетом качества электроэнергии // Jasosc energii elektrycznej w warunkach krajowego systemu elektroenergetycznego: Materialy konferencji naukowo-technicznej (Лодзь, Польша, 28-29 мая 1987 г.).- Лодзь, 1987.- С.143-150.

6. Кузнецов В.Г., Олянишин В.О. Влияние показателей качества электроэнергии на потери мощности в сети // Техн. электродинамика.- 1987.- №3.- С.97-100.

7. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Олянишин В.О. Вопросы принятия решений при управлении режимами электрических сетей по нескольким критериям // Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления: Тез. докл. III Всес. конф. (Москва, 20-24 декабря 1988 г.).- Москва, 1988.- С.108-110.

8. Кузнецов В.Г., Колесниченко А.Б., Олянишин В.О. Анализ и поликритериальное управление режимами электрических сетей с искажающими потребителями // Современные проблемы автоматизации и управления энергетическими системами: Об. научн. тр. V межд. науч. конф. (Гливице, 28-28 сентября 1989 г.).- Гливице, 1989.- С. 104-110.

9. Кузнецов В.Г., Олянишин В.О. Метод анализа установившихся несимметричных режимов сложных электрических систем // Техн. электродинамика.- 1989.- №4.- С.81-86.

10. Кузнецов В.Г., Олянишин В.О. Моделирование процессов в электрических сетях энергосистем при наличии источников искажений // Управление и автоматизация проектирования в электроэнергетических системах: Тез. докл. Всесоюз. науч. семинара "Кибернетика электрических систем" (Челябинск, 1989 г.).- Челябинск, 1989.- С. 129-31.

мая 1990 г.) - Челябинск, 1990. - С.43-45.

11. Кузнецов В.Г., Колесниченко А.Б., Олянишин В.О. Энегообеспечение ответственных потребителей в послеаварийных режимах // Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения промышленности и транспорта: Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. (Днепропетровск, 13-15 ноября 1990 г.) - Днепропетровск, 1990. - С. 157.

12. Олянишин В.О., Джима О.Н., Шполянский О.Г. Планирование оптимальных режимов городских электрических сетей // В сб. "Преобразование и стабилизация параметров электроэнергии". - К.: Наукова думка, 1990. - С.30-33.

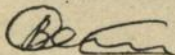
13. Олянишин В.О. Модели электрических сетей с источниками искажений для энергосберегающего управления их режимами // Проблемы управления энергосбережением и повышение эффективности региональной экономики страны: Тез. докл. Всес. науч.-техн. совещания (Минск, 1990 г.) - Ленинград, 1990. - С.163-165.

14. Тугай Ю.И., Олянишин В.О. Учет показателей качества электроэнергии при анализе эффективности режимов систем электроснабжения // Повышение эффективности и качества электроснабжения: Тез. докл. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 22-25 мая 1990 г.) - Киев, 1990. - С.38-39.

15. Кузнецов В.Г., Колесниченко А.Б., Олянишин В.О. Оптимальное управление параметрами электрической энергии в распределительных сетях // Качество электрической энергии: Сб. науч. тр. межд. науч. конф. (Слала, 25-27 сентября 1991 г.) - Слала, 1991. - С. 35-42.

Личный вклад автора. Основные результаты опубликованы в четырнадцати совместных и одной самостоятельной работах. В работах, изданных в соавторстве, личный вклад соискателя заключается в разработке моделей и методов анализа УР ЭС с учетом показателей КЭ [9, 10, 13], оценке влияния КЭ на экономические характеристики ЭС [6, 14], развитию теории и методов оптимального управления режимами ЭС [1-2, 4, 7, 12], учету показателей КЭ при оптимизации УР ЭС [3, 5, 8, 11, 15].

Соискатель



Подписано к печати 05.04.1993г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ. лист. 1,0. Уч.-изд. лист 1,0.
Тираж 100. Заказ 44). Бесплатно

Полиграф. уч.-к Института электродинамики АН Украины,
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

AB 27.134