

Инновационный подход к решению режимных задач при управлении электроэнергетическими системами

М.Ш. Мисриханов¹, А.Г. Русина²

¹ ОАО «Федеральная сетевая компания Единой Энергетической системы», Москва, Российская Федерация

² ФГБОУВПО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Российская Федерация
E-mail: anastasiarusina@gmail.com

Авторское резюме

Состояние вопроса: Управление режимами ЭЭС является актуальной задачей, и от принципов и методов ее решения зависит технологическая эффективность энергетических предприятий.

Материалы и методы: Решение режимных задач базируется на трех основных блоках: методологии, моделировании и методах исследования, активно использующих современные компьютерные технологии, позволяющие создавать интеллектуальные системы планирования режимов.

Результаты: Предложены теоретические основы решения задач управления нормальными режимами электроэнергетической системы, применение которых позволяет повысить эффективность производственных предприятий энергетики в условиях электроэнергетического рынка России.

Выводы: Численные эксперименты на тестовых и практических примерах для действующих предприятий энергетики показали правомерность принятых научных положений для решения прикладных задач.

Ключевые слова: управление, методология, кибернетические методы, интеллектуальные компьютерные системы, планирование режимов.

Innovative Approach to Solving Regime Problems in Managing Electric Power Systems

M.Sh. Misrikhanov¹, A.G. Rusina²

¹Public Corporation «Federal Grid Company of Unified Energy System», Moscow, Russian Federation

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation
E-mail: anastasiarusina@gmail.com

Abstract

Background: EPS Mode control is an important task and the technological efficiency of energy companies depends on the principles and methods of its solution.

Materials and methods: Solution to regime problems are based on three main blocks: methodology, simulation and research methods which widely use the modern computer technologies allowing to create intelligent systems of planning regimes.

Results: The theoretical foundations of control problems of normal modes of power engineering system are suggested. Their application allows to increase the efficiency of power engineering industrial enterprises according to the power engineering market in Russia.

Conclusions: Numerical experiments on the test and practical examples for the working power engineering enterprises showed the appropriateness of scientific statements presented for solving application tasks.

Key words: management, methodology, cybernetic methods, intellectual computer systems, operational planning.

Создание в России электроэнергетического рынка вызвало необходимость рассмотрения проблем управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС). Пересматривается и теоретическая база разработки задач управления нормальными режимами. Начиная с 30-х гг. XX в. в области управления режимами ЭЭС выполнено очень много работ. Однако свойства систем энергетики изменились. Почти двадцатилетний опыт работы в новых условиях показывает, что эффективность решения режимных задач по техническим индикаторам очень низкая.

Ниже рассматриваются два основных вопроса. Первый – теоретическая база при реше-

нии задач управления режимом ЭЭС. Второй – имеющиеся возможности.

Теоретическая база. Известные ученые (Д.А. Арзамасцев, В.А. Веников, В.М. Горнштейн, Л.А. Мелентьев и др.) заявляли, что единой теории управления режимами ЭЭС не существует и можно говорить только о принципах, которыми необходимо руководствоваться при решении конкретных задач. Теория базируется на процессе научного познания и включает четыре основных блока. Первый блок – методология и принципы управления. В нем отражены методы научного познания, которые применяются при исследовании энергетических систем, в том числе и режимов ЭЭС. Второй блок – модели, методы и информационные

технологии решения режимных задач. Третий блок – принятие решений по управлению режимами. Очень важную роль играет четвертый блок – адаптивность. Блок адаптивности является обратной связью между выходом и входом как для отдельных концептуальных блоков, так и в качестве цепочечной связи от любого последующего блока к предыдущему.

Теория, концепции и принципы управления энергетикой рассматривались достаточно полно для больших систем энергетики (БСЭ). Наиболее общими являются следующие методологические принципы: системный подход; программно-целевой подход; перспективный подход (стратегические разработки); моделирование задач и процессов; создание информационно-вычислительных комплексов как базового фундамента управления системами.

Системный подход является фундаментальным методологическим принципом научного познания систем на основе использования методов системного анализа. Изменение экономической основы государства в России и переход от плановой экономики к рыночной существенно усложнили свойства систем. Понятие «система» стало более широким. На сегодняшний день в производственном предприятии можно выделить четыре системы: техническую (Т), экономическую (Э), производственно-хозяйственную (ПХ), коммерческую (К). Системы могут существовать независимо или образовывать сложные единства, при этом возникает множество особенностей при их моделировании и расчетах. Увеличилось влияние внешней макро- и микросреды, возросла неопределенность их состояния и функционирования. Любая из систем может изучаться отдельно с использованием традиционной схемы системного анализа, но установившиеся связи между системами обуславливают их новые свойства. Системы различного вида имеют разные цели функционирования. Например, объединенная энергосистема (ОЭС) и ее отдельные элементы имеют разные цели функционирования. Цель ОЭС определяется как совокупность частных целей ее региональных систем и характеризуется многокритериальностью. Анализ систем и их свойств позволяет сделать следующие выводы:

1. Единство всех или части систем по целям соответствует определенным организационным решениям и их взаимодействие может меняться по всем принятым в энергетике иерархиям управления.

2. Системы имеют разные критерии оптимального управления – технические, экономические, рыночные, поэтому решение можно найти только используя многокритериальные методы.

3. Совокупности систем могут иметь различные виды иерархии в пространстве времени.

4. Координация взаимодействия систем является важнейшим вопросом эффективности их функционирования.

5. Большую роль играют информационные характеристики системы, особенно неопределенность, фактор времени, достоверность плановых расчетов.

6. Неопределенность систем – это объективный закон природы и общества. Основными направлениями исследования и учета неопределенностей являются: повышение полноты и достоверности исходной информации.

7. Все решения для настоящего состояния системы влияют на ее будущее. Эта связанность может учитываться в прогнозах, для этого необходимо создавать систему прогнозов, а не отдельные их модели.

Важнейшим звеном методологии перспективного подхода являются стратегии и принципы их разработки, особенно в задачах развития ЭЭС.

Компьютерные системы. Громадное значение при теоретических и прикладных разработках имеют возможности компьютерных систем. Современная вычислительная техника радикально отличается от той, на которой в СССР выполнялись основные исследования по управлению режимами, она позволяет решать задачи управления на новом научном уровне [1, 2]. Сегодня компьютерные системы – это не только инструментальный расчет, а это инновационная идеология интеллектуального управления.

Основной концепцией детализации свойств и задач систем является использование кибернетических методов управления на основе компьютерных систем. Применение кибернетики – это чрезвычайно широкое научное направление [3]. Если в работах до 1990 г. кибернетические основы управления назывались идеологией будущего, то сейчас это реальность, причем обязательные принципы новых разработок следующие:

- *управление во времени* (все больше становится информационным и многокритериальным);

- *оптимизация* – базовый принцип принятия решения;

- *прогнозирование* (приобретает все большую роль в управлении);

- *формализация задач* (увеличиваются, и роль человека в их преодолении усиливается).

В кибернетических системах применяются главным образом модели задач, в которых не раскрывается суть задачи и особенности системы. А главное – это исследование поведения системы. Система рассматривается как некий преобразователь, имеющий вход и выход. Физическая природа задачи и ее математическая модель могут вообще не рассматриваться. Преобразование может быть выражено в абстрактной форме, и целью его является функциональная зависимость выхода от входа.

Примером такого преобразования являются аппарат нейронных сетей и регрессионный анализ. Многие задачи энергетики решаются на основе подобных моделей, например модели «черного ящика».

Те системы энергетики, которые существуют сейчас, требуют кибернетических методов управления. Ниже предложена интеллектуальная система с кибернетическими свойствами.

Термин интеллектуальная система (ИС) толкуется различно. В англоязычной литературе *intelligent system* – это техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока – базу знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс («Википедия»). Такое толкование используется и в наших разработках. Мы называем предлагаемую компьютерную систему «ИнтелР». Это система–конструктор, которая позволяет конструировать для систем различного вида алгоритмы многих режимных задач. В ИнтелР включены блоки: база данных, базы информации, система прогноза, конструирования, планирования, принятия решения, анализа. Предусматривается *интерактивный режим получения решения*. Создание ИнтелР требует применения специальных научных основ управления режимами.

Моделирование как методологический принцип. Моделирование и компьютерные технологии – это взаимосвязанные направления. Естественно, что для любой задачи необходимо иметь формальную модель ее решения. Но если рассматривать объект управления как систему, то необходимо иметь и связанную систему моделей. Только при этом можно в целом рассматривать и автоматизировать процесс управления системой. Система динамична, динамичными свойствами обладают и модели.

В ИнтелР целесообразно включать следующие виды моделей:

1. **Структурно-логические модели.** Область моделирования – организация управления отраслью, энергетическими предприятиями, фирмами, производственными процессами. Главное назначение этих моделей – определение взаимодействия между управленческими звеньями или хозяйственными объектами, выявление содержания и количественных информационных характеристик связей между ними. В силу того что бизнес-процесс интегрирует все другие внутренние процессы и задачи, эти модели играют важную роль в формализации всех задач управления, в том числе и режимных. Обычно структурно-логические модели создаются на основе аппарата логики и экспертного анализа.

2. **Технологические модели.** Отражают работу техники и технологические процессы. Ни одна задача управления режимами не может быть рассмотрена без применения этих моделей. Эти модели очень хорошо разработаны. Однако и они модифицируются в соответствии с современными целями и содержанием задач.

3. **Информационные модели.** Дают логику отбора информации из массивов данных и алгоритм ее переработки. Обычно при этом используются аппарат статистического анализа, вычислительные эксперименты и др. В работах по АСУ эти модели достаточно полно описаны и для стадии первичной обработки информации с проверкой ее достоверности, и для стадии вторичной обработки информации с преобразованием информации к виду, который используется в программах. Важно также отметить, что информационные модели отражают природу возникновения информации и ее свойства – детерминированность, вероятностность, неопределенность, частичная неопределенность. Ни одна задача не может быть решена без применения информационной модели.

4. **Математические модели.** Дают инструментарий формализации задачи, являются основой компьютерных технологий. Математические модели разнообразны: оптимизационные, имитационные, расчетные, прогностические, обучающие (экспертные), вероятностные.

5. **Адаптивные модели.** Динамические свойства объекта могут повлиять на вид и содержание моделей. Если модели объединены в комплекс и имеется компьютерный сервис, то свойства моделей могут меняться автоматизировано или пользователем в интерактивном режиме. Это основа адаптивности информации и планов. В адаптивных моделях учитывается влияние внешней среды (природно-климатических условий, форс-мажорных обстоятельств), а не только внутренних факторов. Учет этого влияния требует применения интерактивных принципов получения прогноза и плана для рассматриваемой задачи.

В наших работах получены структуры отдельных блоков ИнтелР для задач адресного распределения потоков электроэнергии и мощности и их трассировки, моделирования структуры сетевой компании (для ОЭС Сибири, ФСК МЭС Центра), конструирования прогнозов электропотребления и мощности нагрузки (для Новосибирской энергосистемы, ОЭС Сибири, для потребителей железно дорожного транспорта), моделирования структуры системы во времени (для ОЭС Сибири) [5, 6]. Подчеркнем, что это не отдельные модели, а система моделей.

Управление режимами ЭЭС. Использование всех разработок по решению режимных задач зависит от схемы управления. Одной из главных причин низкой эффективности технологических систем энергетики является принятая схема управления, она не стимулирует раз-

витие, оптимизацию и создание интеллектуальных систем. Доминирующим звеном в управлении является ее организационная схема – централизованная или децентрализованная. При централизованном управлении имеется жесткая линейная схема пространственной иерархии. При децентрализованном наиболее универсальной является схема резонансного управления, при которой имеется независимая реакция всех звеньев системы на возмущающие воздействия. Схема резонансного управления многократно сложнее, чем централизованного. Может быть и смешанная схема.

В общем случае на рынках регулятором коммерческих отношений является цена. Только рыночные механизмы для таких сложных объектов, как энергетические предприятия, недостаточны, поскольку кривая спроса на электроэнергию неэластична и государство контролирует цены, определяет их ограничения и механизмы формирования.

Система подвержена регулярным возмущающим воздействиям по параметрам – детерминированным и случайным. Это вызывает необходимость нахождения нового состояния системы и новых планов. Для этого используются директивная или оптимизационная схемы. Разрабатывается новый план. Различные предприятия энергетики имеют разную реакцию на возмущающие воздействия, что определяется директивно.

Задача управления существенно усложняется при многокритериальной оптимизации. При дезинтеграции системы ЕЭС используются различные критерии и управление приобретает компромиссную основу. На оптовом рынке критерий – это цена продаж/покупки, на региональном – доход и прибыль, для генерирующих и сетевых компаний – издержки, для предприятий-потребителей – цена покупки. Только конкурентный рынок соответствует идеологии резонансного управления. Его регулятором является цена. Всякий ценовой сигнал воспринимается и производителями и покупателями как возмущающее воздействие. Олигопольный рынок подчиняется в основном правилам «сговора» между доминирующими продавцами и для других его частей реакция на ценовые сигналы мала. Для монопольного рынка резонансные методы управления, по существу, не применимы. Все региональные рынки в России монопольные, а оптовый – олигопольный. В энергетике проводится очень большая работа по развитию конкурентных рынков, поэтому резонансные методы будут развиваться.

Форма управления в значительной мере влияет на состав режимных задач, их модели и критерии. При технологическом управлении чаще всего координирующими потоками являются потоки мощности и энергии. Направление координирующих воздействий в этом случае строго соответствует древовидной иерархиче-

ской структуре управления. Главной задачей является поддержание энергетических балансов и качества электроэнергии.

При резонансном управлении координирующие потоки – мощность и энергия – не дают качественной обратной связи, поскольку не отражают экономических интересов подсистем, что необходимо учитывать в рыночных условиях при хозяйственной независимости партнеров. Задача усложняется тем, что необходимо обеспечить технологическое единство системы при экономической независимости ее подсистем. Каждая подсистема заинтересована в увеличении объема продаж, и ее доход зависит от этого товара.

Координирующие потоки можно рассматривать как потоки стоимости параметров режимов. В общем случае резонансная схема к управлению режимами не применима, так как ЭЭС – это искусственная техническая система. Она хорошо структурирована, и ее структурные звенья уже при создании системы имеют иерархический принцип действия при различных возмущающих воздействиях. Это определяется их режимными свойствами и функциями в ЭЭС. В организационной схеме жестко определено, кто и как реагирует на возмущающие воздействия. В противном случае система теряет живучесть. Поэтому и при резонансной форме нельзя исключить иерархические принципы. В качестве принципа взаимодействия целесообразно принять принцип согласования, при котором каждый нижестоящий элемент получает право при решении своей задачи рассматривать связующие входы как дополнительные свободные переменные. В этом случае координация сводится к снятию расхождений между фактическими и желаемыми результатами взаимодействия.

Параметры режима могут быть представлены в виде компонент, имеющих различную природу, шаг дискретности и возможности регулирования, они индивидуальны для различных энергетических объектов. Кроме того, решение задачи расчета и оптимизации режимов на каждом из уровней имеет свою цель, разную степень эквивалентирования и агрегации информации, что также приводит к различиям стоимостных характеристик.

Методика решения режимных задач.

На основе приведенных выше теоретических принципов рассмотрено достаточно много режимных задач. Методика их решения дается в виде нескольких уровней:

1. *Свойства объекта* (процессы, законы, параметры, технические решения).

2. *Цель управления объектом.* Цели подразделяются: на технические (КПД); экономические (себестоимость, издержки, инвестиции); коммерческие (прибыль, рентабельность, срок окупаемости инвестиций); экологические; политические; военные. Устанавливаются связи

между ними и принципы учета многокритериальности.

3. *Декомпозиция задач* по виду режимов, по объектам, по значимости. Применяется иерархический принцип декомпозиции задачи.

4. *Информационные свойства задач* (детерминированная, вероятностная, неопределенная информация), определяющие модели и методы обработки информации.

5. *Дифференциация моделей задач* по назначению (математическая, информационная и пр.).

6. *Метод решения.*

7. *Средства решения* (компьютеризация, алгоритм, программа).

Инновационные задачи. Для систем с современными свойствами возникают новые режимные задачи. Кратко приведем примеры и содержание рассмотренных задач.

Задача расчета режимов с использованием метода «электрического эквивалента» [5]. Сформулированная выше цель резонансного управления – снижение потоков стоимости для каждого из объектов – требует получения стоимостных характеристик вида $St(Z)$. При этом поток стоимости выполняет функцию координирующей воздействия. Вектор режимных параметров (Z) становится по сути вектором, характеризующим технико-экономическое состояние системы, и должен включать не только технические (X, Y), но и стоимостные (St) параметры, следовательно, $Z(X, Y, St)$. При таком подходе все энергетические свойства генерирующих компаний (ГК) и экономические показатели генерирующих и сетевых компаний (СК) могут учитываться активными сопротивлениями, что позволяет применять программы расчета нормальных режимов ЭЭС. В этом случае в уравнение состояния системы вводится специальная столбцовая матрица стоимостей. Это позволяет модифицировать уравнения состояния ЭЭС, сохранив вычислительную схему хорошо разработанных алгоритмов. Технологическими единицами в энергетике являются электрические станции (при выбранном составе агрегатов), электрические сети и потребители электрической энергии. Для каждой из технологических единиц и эквивалентных объектов на различных уровнях смешанного взаимодействия имеются свои особенности моделирования. Без стоимостных характеристик осуществить резонансное управление невозможно. Стоимостные характеристики $St(Z)$ должны быть получены для всех звеньев пространственной, временной и ситуативной иерархий.

Задача адресных расчетов потоков мощности и электроэнергии и их трасс [6]. В этой задаче по матрицам токораспределения моделируются трасса и определяются индивидуальные балансы для покупки/продажи электроэнергии и мощности.

Адресные расчеты производятся на основе алгоритма расчета нормальных режимов системы с использованием матрицы токораспределения задающих токов нагрузок по ветвям [5]. По ее данным определяется адресность потоков мощностей. Например, ее использование возможно для определения составляющих потерь мощности в ветвях схемы сети от протекания по ним токов нагрузок.

Задача многокритериальной оптимизации режимов. При оптимизации режимов используются различные критерии, которые зависят от объекта, целей управления, видов рынков и правил, установленных для энергетических объектов. Многокритериальность можно учитывать различными способами, но наиболее рациональными являются иерархические.

При решении режимных задач могут использоваться различные критерии оптимизации. Оптимизация внутренних издержек предприятий энергетики – оптимизация по издержкам или по КПД. Использование электроэнергии и мощности энергетических предприятий на электроэнергетическом рынке – «коммерческая оптимизация» по критерию максимума прибыли. Представленные критерии имеют определенную область применения, они связаны и взаимозависимы. Связь выражается в виде иерархии. Наиболее рациональной является иерархия от нижнего уровня энергетического процесса к верхнему: максимум КПД → минимум издержек → максимум прибыли.

Схема определяется для систем определенного вида, в их границах и с учетом решаемых задач [4]. Остановимся на получении стоимостных оценок на примере активной мощности объекта. В условиях эксплуатации в качестве основы для получения стоимостной оценки предприятий ЭЭС могут быть приняты издержки на производство и передачу энергетической продукции. Очевидно, что учет условно-постоянных издержек не влияет на наклон и форму абсолютной энергетической характеристики. Если при координации взаимодействия по мощности условно-постоянные издержки не влияют на результат принимаемого решения, то при координации по стоимости необходимо учитывать абсолютные характеристики издержек, отражающие как топливную (ресурсную) их составляющую, так и условно-постоянную.

Вид зависимости подведенной мощности от мощности станции постоянно меняется и является функцией многих параметров технологического процесса. Для ТЭС, например, это температура питательной воды, температура охлаждающей воды, температура уходящих газов, качество топлива и т.д. Следовательно, для каждого интервала осреднения имеется многообразие расходных характеристик, обусловленное многообразием технологических условий. Цена на энергоноситель, как и другие дискретно изменяющиеся параметры (в том

числе, условно-постоянные материальные затраты), имеет шаг осреднения, обусловленный существующей системой учета и реальными возможностями получения качественной информации по этим составляющим. Чаще всего интервалом осреднения выбираются месяц, квартал, год, поскольку именно на этих интервалах возможно получение достоверной информации.

Нами получены численные значения только лишь одного параметра режима, имеющего товарную ценность, – активной мощности, и они говорят о необходимости детальной проработки задачи получения стоимостных характеристик $St(t)$.

Заключение

Анализ имеющихся научных и практических результатов показывает, что существует достаточно много задач управления режимами, для которых необходимо проводить научные исследования и практические разработки. Без этого невозможно повысить эффективность режимов и технологическую эффективность предприятий энергетики. В настоящее время основой новых решений должны стать: научные принципы, учитывающие изменившиеся свойства систем энергетики; интеллектуальные компьютерные системы; инновационный подход.

Список литературы

1. **Автоматизация** управления энергообъединениями / под ред. С.А. Совалова. – М.: Энергия, 1979. – 422 с.
2. **Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А.** Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

Мисриханов Мисрихан Шапиевич,

ОАО «Федеральная сетевая компания Единой Энергетической системы»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: anastasiarusina@gmail.com

Русина Анастасия Георгиевна,

Новосибирский государственный технический университет,
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем,
e-mail: anastasiarusina@gmail.com

3. **Винер Н.** Кибернетика и общество. – М.: Инстр. лит., 1958. – 200 с.

4. **Оперативно-производственная информация в энергетике** / под ред. В.А. Семенова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 350 с.

5. **Русина А.Г.** Разработка модели электрического эквивалента и принципов адресного распределения потоков и потерь мощности электроэнергетической системы: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2006. – 157 с.

6. **Русина А.Г., Филиппова Т.А.** Современные концепции оптимизации режимов электроэнергетических систем: мат-лы Объединенного симпозиума «Энергетика России в XXI веке: стратегия развития – восточный вектор», 30 августа – 3 сентября 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sei.irk.ru/symp2010/papers.html>

References

1. Sovalova, S.A. *Avtomatizatsiya upravleniya energoob'edineniyami* [Automation of Control of Power Engineering Enterprises]. Moscow, Energiya, 1979. 422 p.

2. Venikov, V.A., Zhuravlev, V.G., Filippova, T.A. *Optimizatsiya rezhimov elektrostantsiy i energosistem* [Mode Optimization of Electric Power Plants and Power Engineering Systems]. Moscow, Energoatomizdat, 1990. 352 p.

3. Viner, N. *Kibernetika i obshchestvo* [Cybernetics and Society]. Moscow, Inostrannaya literatura, 1958. 200 p.

4. Semenova, V.A. *Operativno-proizvodstvennaya informatsiya v energetike* [Operational Productive Information in Power Engineering]. Moscow, Energoatomizdat, 1987. 350 p.

5. Rusina, A.G. *Razrabotka modeli elektricheskogo ekvivalenta i printsipov adresnogo raspredeleniya potokov i potery moshchnosti elektroenergeticheskoy sistemy*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of Electric Model and Principles of Targeted Flow Distribution and Power Wastes of Electrical Engineering System. Cand. tech. sci. diss.]. Novosibirsk, 2006. 157 p.

6. Rusina, A.G., Filippova, T.A. *Sovremennye kontseptsii optimizatsii rezhimov elektroenergeticheskikh sistem* [Modern Conceptions of Mode Optimization of Electric Power Systems]. *Materialy Ob'edinennogo simpoziuma «Energetika Rossii v XXI veke: strategiya razvitiya – vostochnyy vektor», 30 avgusta – 3 sentyabrya 2010* [Materials of United Symposium «Russian Power Engineering in XXI century: development strategy – east direction», August 30 – September 3, 2010]. Available at: <http://sei.irk.ru/symp2010/papers.html>