

На правах рукописи

Полижаров Андрей Сергеевич

Анализ и совершенствование методов и средств
формирования диспетчерских графиков энергосистем
по активной мощности с учётом состояния основного
оборудования электростанций

Специальность 05.14.02 - “Электростанции и электроэнергетические системы”

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Москва – 2008 г.

Работа выполнена в филиале ОАО «НТЦ электроэнергетики»-«ВНИИЭ», г. Москва.

Научный руководитель:

доктор технических наук
Макоклюев Борис Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
Рабинович Марк Аркадьевич

кандидат технических наук
Кудряшов Юрий Михайлович

Ведущая организация:

Филиал ОАО «СО ЕЭС» –
Московское региональное
диспетчерское управление, г. Москва

Защита диссертации состоится 20 января 2009 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 512.002.01 при ОАО «Научно-технический центр электроэнергетики» по адресу: 115201, г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3.

Отзывы на реферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять на имя ученого секретаря Диссертационного совета Д 512.002.01 по адресу: 115201, г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3, ОАО «НТЦ электроэнергетики».

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке филиала ОАО «НТЦ электроэнергетики» - «ВНИИЭ».

Автореферат разослан “___” декабря 2008 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 512.002.01

доктор технических наук

Новиков Н.Л.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Для обеспечения оптимального функционирования электроэнергетического комплекса страны, надежного и качественного энергоснабжения при оптимальных затратах, обеспечивающих минимальную цену для потребителей электроэнергии и тепла, *Постановлением Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 N 526 "О реформировании электроэнергетики РФ"* был ускорен процесс преобразований в электроэнергетической отрасли страны. В частности, функции по диспетчерскому управлению были закреплены за Системным оператором Единой энергетической системы (СО ЕЭС). При выполнении этих функций Системный оператор взаимодействует со многими предприятиями и административными объектами. С введением оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) и, прежде всего, балансирующего рынка (БР) возрос объем обрабатываемых данных и производимых СО ЕЭС и его филиалами расчётов для планирования и ведения режима. В частности, с введением ОРЭМ изменениям подверглись процессы планирования диспетчерских графиков, баланса активной мощности и электроэнергии. Образовавшаяся в результате реформирования децентрализованная структура отрасли (в части производства, сбыта и, отчасти, распределения электроэнергии) также предъявляет дополнительные требования к информационной среде предприятий энергетики. Таким образом, возникла необходимость поиска новых технологий в области анализа диспетчерских графиков, состояния оборудования и средств формирования информационной среды, обработки, хранения и передачи информации. Настоящая диссертация посвящена анализу и возможным путям развития и совершенствования методов и средств формирования диспетчерских графиков нагрузки электростанций и энергосистем по активной мощности и оценки используемого для её выработки основного оборудования электростанций.

Цель и задачи работы. Основная цель работы - повышение эффективности диспетчерского управления за счёт принятия более оптимальных решений по управлению генерацией активной мощности и снижения количества ошибочных действий диспетчерского персонала. Задачи работы заключались в обобщении и критическом анализе современных методов и средств анализа диспетчерских графиков, информационных структур, описывающих оборудование и режимные параметры энергосистем, и последующей разработке современной объектной информационной модели, методов и средств, позволяющих решать на обобщённой платформе задачи обработки диспетчерских графиков, формирования компонент баланса активной мощности в условиях децентрализованной структуры электроэнергетики и функционирования конкурентных рынков мощности, электроэнергии и, в частности, балансирующего рынка.

Методика исследований. На основе исследований ретроспективных данных диспетчерских команд и графиков, а также взаимосвязанного состояния основного оборудования электростанций выявлялся характер основных зависимостей для последующего аналитического описания. На основе аналитического описания диспетчерских графиков с применением методов теории графов, объектного и темпорального подходов к информационному моделированию разрабатывались методы и алгоритмы расчётов диспетчерских графиков, компонент баланса мощности и анализа состояния оборудования. Разработанные методы и алгоритмы апробировались путём опытной эксплуатации в Московском РДУ и дополнялись с учётом опыта работы. Созданные в результате работы программные средства внедрялись в эксплуатацию в филиалах СО ЕЭС.

Научная новизна:

1. На основе проведённого критического анализа определены основные аспекты практического применения современных методов и средств информационного обеспечения и формирования диспетчерских графиков и балансов активной мощности энергосистем. Вместе с тем показаны задачи, требующие дальнейшего развития.
2. Разработаны методы и алгоритмы обработки и хранения диспетчерских графиков и информации о состоянии оборудования электростанций на основе объектного моделирования данных.
3. Разработан аналитический метод расчёта диспетчерских графиков активной мощности с учётом команд диспетчеров на основе модели структуры оборудования и режимных параметров электростанций.
4. Разработан метод расчёта компонент балансов активной мощности с учётом изменений состава и состояния оборудования.
5. На основе разработанных методов и алгоритмов реализованы программные компоненты для решения практических задач.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На основе разработанных методов созданы программные компоненты “Состояние оборудования”, “ЭЖК диспетчера РДУ”, “ЭЖК начальника смены станции”. Программные компоненты используются в ежедневной практике диспетчерского управления Московского РДУ с 2004 года. Внедрение ЭЖК позволило сократить время фиксации команд, что облегчает действия диспетчеров в период реакции на команду диспетчера вышестоящего уровня, когда необходимо быстро распределить нагрузку по субъектам управления. Так же удалось сократить количество ошибок при фиксации команд на 20%. ЭЖК обеспечил доступ служб диспетчерского управления (сопровождения рынка,

оперативного планирования и т.д.) к оперативным данным по диспетчерским графикам и текущему состоянию оборудования.

Компоненты внедрены в эксплуатацию также в 18-ти филиалах СО ЕЭС.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались:

- На I,II,III,IV,V специализированных научно-технических семинарах "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии" (2003-2007 гг.).
- На научно-практической конференции "Единая система классификации и кодирования в электроэнергетике. Проблемы и пути решения." (2006 г.)
- На четвёртом научно-техническом семинаре-выставке «Нормирование и снижение потерь электрической энергии в электрических сетях».(2006 г.)
- На всероссийской конференции «Разработки молодых специалистов в области электроэнергетики — 2008»
- На седьмом научно-техническом семинаре «Системы АИИС КУЭ (АСКУЭ) и автоматизация расчетов с потребителями электроэнергии в энергосистемах» (2008 г.)
- На семинарах во Всероссийском институте повышения квалификации энергетиков (ВИПК энерго)
- На семинарах в филиалах СО ЕЭС (ОДУ Урала, Юга, Сибири, Северо-Запада, Востока).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 16 публикациях, в их числе три статьи в центральных отраслевых журналах "Электрические станции", "Энергетик" и 13 в сборниках докладов различных семинаров и конференций. В статьях, написанных в соавторстве, основные положения, касающиеся темы диссертации, сформулированы автором.

Структура и объём диссертации. Диссертация общим объёмом 118 страниц состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (73 наименования) и содержит 118 страниц текста, 31 рисунок и 5 таблиц.

Основное содержание работы

В первой главе произведён анализ существующих методов и средств обработки данных по составу и состоянию оборудования, диспетчерских графиков электростанций и энергосистем используемых в диспетчерском управлении. Рассмотрены основные разработки, используемые для решения этих задач. Как следует из проведённого анализа материалов и публикаций, автоматизация отрасли и сектора диспетчерского управления, в частности, а так

же модернизация технической базы средств управления за последние годы получили существенное развитие. Прежде всего, это следствие реформирования энергетики. Введение ОРЭМ и, в частности, БР привело к изменению требований к точности и оперативности процесса планирования и ведения режимов ЕЭС. За последние несколько лет с учётом специфики рынка электроэнергии и мощности было разработано несколько новых методик планирования, для реализации которых внедрен ряд программных комплексов, большая часть которых функционирует на уровне ЦДУ и ОДУ. Прежде всего, это комплексы “БАРС”, “ЛИНКОР”, “РАСТР”, используемые для актуализации расчётной модели, оптимизации режимов энергосистем и расчета установившегося режима. Программный комплекс “РАСТР” предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем. ПО «ЛИНКОР» осуществляет расчет диспетчерских графиков электростанций по критерию минимизации стоимости производства активной мощности с использованием ценовых характеристик электростанций и на основе расчета электрического режима ЕЭС. Актуализация расчетной модели выполняется с помощью программного обеспечения «БАРС», которое решает комплекс задач сопровождения рынка электроэнергии и мощности.

Вместе с тем, можно отметить недостаточное внимание уделяемое вопросу автоматизации в области управления генерацией в части обработки команд диспетчера. На текущий момент этот вопрос решается, как правило, программными средствами, разработанными силами специалистов самих филиалов СО ЕЭС, либо с помощью программы “КомандАрт”, имеющей достаточно ограниченный функционал. Вопрос учёта состава и состояния оборудования так же имеет недостаточно проработанные аспекты, в то время, как эта информация необходима для решения вопросов и планирования, и оперативного управления. В рассмотренных в диссертации публикациях отсутствуют упоминания о готовых решениях и общих методиках для анализа данных состояния оборудования. Следует заметить, что изменения состояния основного оборудования электростанции сказываются на балансе мощности энергосистемы, вследствие этого его анализ в режиме реального времени является важной задачей диспетчерского управления. На текущий момент в филиалах СО ЕЭС эксплуатируется параллельно несколько различных баз данных оборудования – в “СК-2003”, в ПК “Заявки”, и в ПК “ГеКон”. Обобщённой модели, позволяющей единообразно описать предметную область большинства технологических задач решаемых в диспетчерском управлении, в текущей практике не существует. В главе произведено обобщение и критический анализ методов построения информационных моделей для целей обеспечения различных функций управления в энергетике в России и за рубежом. На примере отечественного и зарубежного опыта показана необходимость формирования единой информационной среды предприятий отрасли. На основе проведённого анализа публикаций и практики диспетчерского управления были сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе с учётом анализа современных подходов и средств построения информационной среды диспетчерского управления предложены основные методы формирования объектной информационной модели описания структуры оборудования и режимных параметров на основе онтологии предметной области задач энергетики. Этот метод является одним из наиболее перспективных для построения модели с развитой системой метаданных, и в частности используется в общей информационной модели (СІМ). На основе предложенных методов разработана модель описания структуры основного оборудования электростанций и его характеристик. Предложенная модель более полно и детально по сравнению с СІМ, используемой в стандартах МЭК (ІЕС), описывает структуру оборудования применительно к практике диспетчерского управления ЕЭС России в задачах, поставленных в диссертации. Например, описание группы оборудования в СІМ возможно с помощью класса EquipmentContainer или EquipmentList, однако понятия режимной генерирующей единицы (РГЕ) и группы точек поставки (ГТП), необходимые при планировании и учете работы предприятий на ОРЭМ отсутствуют. Отмечено, что использование объектного подхода и классификация оборудования позволяет осуществить гармонизацию с международными стандартами, так как они используют аналогичные подходы к построению модели.

Разработана модель *описателя состояния оборудования*, позволяющая единообразно представлять информацию по ремонтам, резервам и другому состоянию оборудования. Любой объект диспетчерского управления, представленный в информационной модели, содержит в себе этот описатель как часть (агрегирует). Свойство *состояние* описывает текущее состояние оборудования и может принимать значение одного из видов ремонта, значение *в работе* или *в холодном резерве* (ХР) и т.п. Информация о состоянии оборудования может быть получена из разных источников. Это могут быть данные телеметрии, открытая заявка или непосредственно ручной ввод. Информация об источнике является важной, т.к. нельзя исключать возможность противоречий данных из различных источников.

Разработана информационная модель представления диспетчерских команд, которая используется в алгоритмах расчёта диспетчерских графиков. На уровне РДУ, в оперативном цикле, наибольший интерес среди диспетчерских графиков представляют: план балансирующего рынка (ПБР), уточнённый диспетчерский график (УДГ) и фактический график генерации т.к. они связаны непосредственно с вопросом ведения режима. Для расчёта УДГ требуются данные о командах по управлению генерацией активной мощности, отданных дежурным диспетчером. Так как выполнение диспетчерской команды приводит к изменению состояния энергетического объекта, последовательность отданных команд можно представить как последовательность событий изменения состояния объекта. Описатель состояния объекта, связанного с

выполнением диспетчерской команды в представленной модели, называется *журнал команд*. На рис.1 представлена схема класса для представления диспетчерской команды. Схема сформирована согласно стандарту описания онтологической модели Integrated Definition 5(IDEF5). На схеме окружность определяет некое понятие – класс объекта, окружность с жирной точкой – экземпляр определённого класса – объект. Для наглядности на схеме представлен краткий список диспетчерских команд и причин.

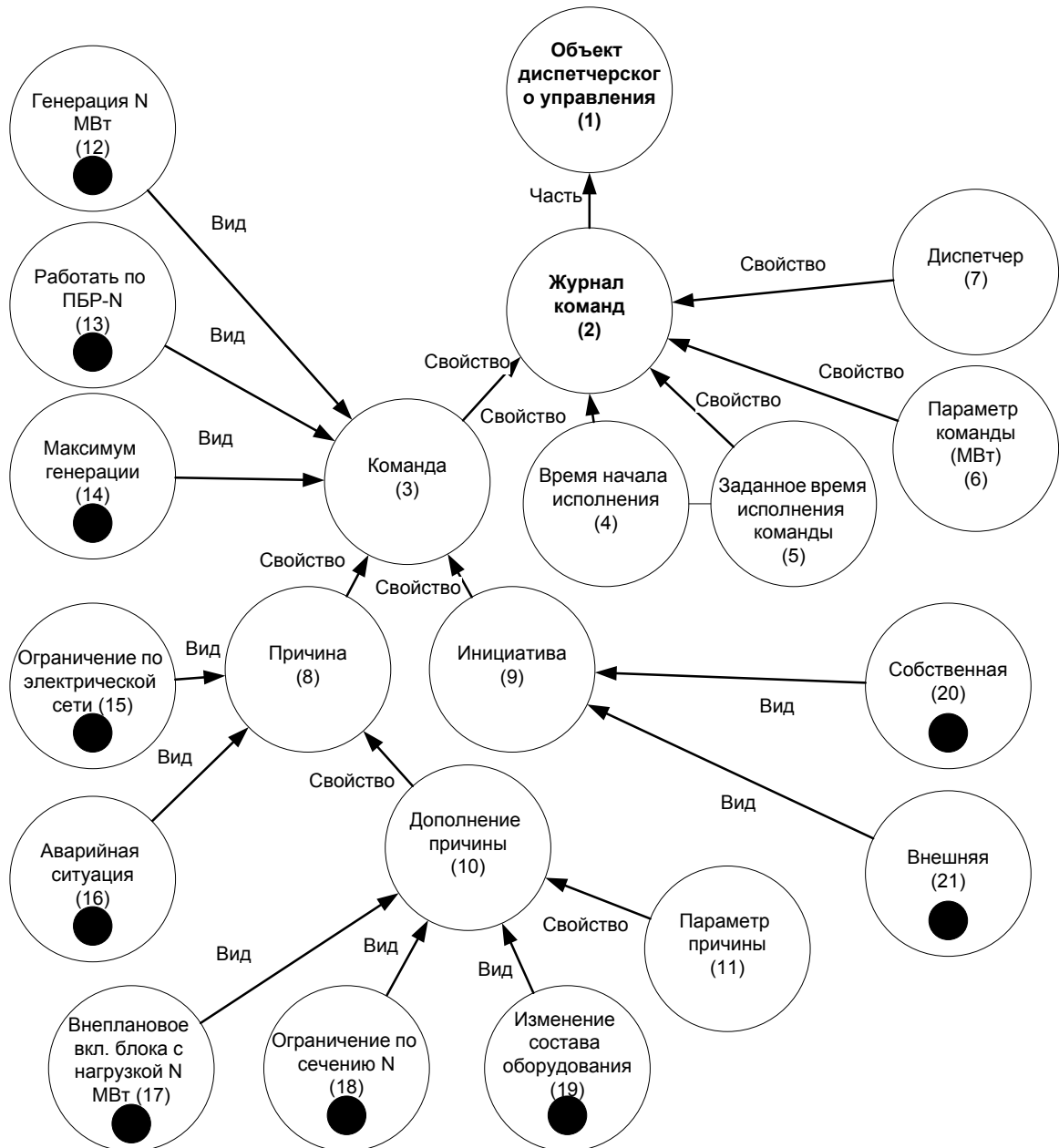


Рис. 1. Представление диспетчерских команд в информационной модели.

Так как стандартизированный список диспетчерских команд и их причин представлен в регламенте СО ЕЭС, необходимо сформировать его в объектной модели. Подобный подход позволяет обеспечить формализованное хранение команд и причин, т.к. при введении новой команды будет сохраняться ссылка на один из объектов в списке команд, а не текст с наименованием команды.

К рассмотренным объектным моделям, при реализации программных алгоритмов могут быть применены, в частности, методы теории графов. Если представить схему класса *журнала команд* (рис. 1) как направленный граф, можно описать его с помощью матрицы смежности вершин. На рис. 1 понятия пронумерованы от 1 до 21. Полагая понятия – вершинами графа, а отношения между ними – рёбрами, элемент матрицы, в зависимости от типа отношения, можно задать как:

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если понятие } i \text{ не связано с } j \\ 1, & \text{если } i \text{ является свойством } j \\ 2, & \text{если } i \text{ является видом } j \\ 3, & \text{если } i \text{ является частью } j \end{cases} \quad (1)$$

Для практического применения описанной модели, разработана структура её представления в объектной базе данных “Энергостат”.

В третьей главе изложены разработанные методы, алгоритмы обработки и хранения диспетчерских графиков и информации о состоянии оборудования на основе объектного моделирования данных. Выделен ряд графиков, аналитическое описание которых в целом является достаточно сложным, однако, на определенных отрезках имеет простое описание. Как правило, это графики, характер которых зависит от определённых событий. К ним можно отнести уточнённый диспетчерский график и график снижения мощности электростанций. С математической точки зрения функции таких графиков могут быть представлены совокупностью простых функций, каждая из которых определена только на своём отрезке времени. При этом совокупность всех отрезков будет равна области определения функции. Будем называть такую функцию $f(t)$ кусочно-детерминированной. Её можно определить формулой:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t), \text{ при этом } f_i(t) = 0 \quad \forall t \in [t_1, t_i) \cup [t_{i+1}, t_{n+1}), \quad (2)$$

где f_i – простая функция, t_1 – точка начала первого отрезка, t_{n+1} – точка конца последнего отрезка, n – количество отрезков, на которые разбита область определения функции $f(t)$.

Тогда значение функции в любой точке может быть определено как:

$$f(t) = f_i(t) \quad \forall t \in [t_i, t_{i+1}), i \in [1, n], \quad (3)$$

где $f_i(t)$ – простая функция определённая на отрезке i , t_i – точка начала отрезка i , t_{i+1} – точка начала следующего отрезка.

Таким образом, внутри каждого отрезка мы оперируем простой функцией, что достаточно удобно при расчётах. Самым простым примером кусочно-детерминированной функции является кусочно-линейная. Такая функция может быть также определена набором событий, возникающих в моменты времени, когда функция меняет свой вид, то есть множеством значений $(t_i, f_i(t))$. В этом случае, если функция меняет вид относительно редко, и число n мало, можно получить существенный выигрыш в объёме

данных, требуемых для хранения графика функции $f(t)$. При этом методическая погрешность дискретного представления отсутствует, что может быть крайне важно для расчётов.

Для практического применения кусочно-детерминированных функций разработан метод их представления и хранения в объектной модели базы данных комплекса "Энергостат". БД является темпоральной, что позволяет хранить ретроспективу изменения свойств. Каждому значению свойства объекта ставится в соответствие значение времени в которое оно начало действовать. Такие свойства называются темпоральными. Кортежем темпоральных свойств будем называть группу свойств, изменяющихся одновременно в определенные моменты времени. Используя кортеж темпоральных свойств, описывающих поведение функции внутри детерминированного отрезка времени, можно организовать хранение кусочно-детерминированной функции средствами объектной БД.

Для обработки и хранения информации о состоянии оборудования, так же как и для диспетчерских команд, используется метод темпоральных кортежей. На основании разработанной в главе 2 модели можно рассчитать влияние текущего состояния оборудования на составляющие баланса мощности. В зависимости от решаемых задач, баланс имеет то, или иное представление, глубину детализации его разделов. Структурная схема показателей баланса мощности оборудования изображена ниже на рис. 2.

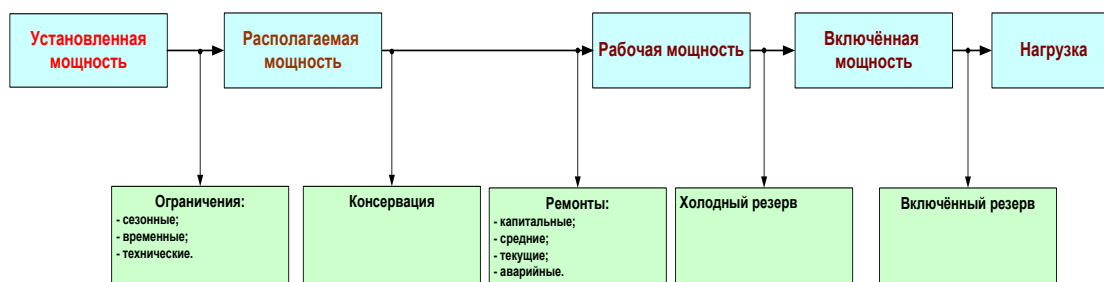


Рис.2. Структурная схема показателей баланса активной мощности оборудования электростанции.

Можно показать, что для описания кусочно-детерминированной функции снижения мощности одного агрегата достаточно темпорального кортежа $(T, STATE, P_{CH})$. Где T – время переключения, $STATE$ – состояние оборудования, P_{CH} – снижение мощности. Время переключения есть момент, когда оборудование изменило своё состояние на $STATE$. Используя свойство темпоральности, представим снижение мощности как функцию времени – $P_{CH}(t)$ и функцию состояния оборудования от времени – $STATE(t)$. При этом функция может принимать значения:

$$STATE(t) \in \{P, XP, K, TP, CP, KP, AP\}, \quad (4)$$

где, P – в работе, XP – холодный резерв, K – консервация, TP – текущий ремонт, CP – средний ремонт, KP – капитальный ремонт, AP –аварийный ремонт.

Введём для каждого вида состояния бинарную функцию от времени, каждая из которых принимает значение 1 только в моменты времени, когда оборудование находится в конкретном состоянии. Для холодного резерва, например, можно записать:

$$F_{xp}(t) = \begin{cases} 1 : STATE(t) = XP \\ 0 : STATE(t) \neq XP \end{cases} \quad (5)$$

Где $STATE(t)$ – функция состояния оборудования от времени. Аналогично вводим функции $F_p, F_k, F_{тр}, F_{ср}, F_{кр}, F_{ар}$.

Тогда, снижение мощности связанное с ремонтами можно записать как:

$$P_{снр}(t) = P_{сн}(t)(F_{тр}(t) + F_{ср}(t) + F_{кр}(t) + F_{ар}(t)). \quad (6)$$

Расчёт графиков ограничений использования мощности оборудования выходит за рамки задачи диссертации. Положим что эти графики доступны для каждого агрегата и описываются функцией $P_{огр}(t)$. Тогда располагаемая мощность может быть записана как:

$$P_{рас}(t) = P_{уст} - P_{огр}(t). \quad (7)$$

Пусть $P_{снк}(t)$ – график снижения мощности из-за консервации оборудования, тогда рабочая мощность может быть определена как:

$$P_{раб}(t) = P_{рас} - P_{снк}(t) - P_{снр}(t) \quad (8)$$

Аналогично включённая мощность:

$$P_{вкл}(t) = P_{раб}(t) - P_{xp}(t) = P_{рас} - P_{снк}(t) - P_{снр}(t) - P_{xp}(t) \quad (9)$$

Фактические данные по графику мощности генерации агрегата, как правило, можно получить из оперативного информационного комплекса (ОИК). Пусть он описывается функцией $P_{факт}(t)$. Тогда на каждый момент времени можно рассчитать мощность остающуюся на включённый резерв

$$\begin{aligned} P_{вк.р}(t) &= P_{факт}(t) - P_{вкл}(t) = \\ &= P_{факт}(t) - (P_{уст} - P_{огр}(t) - P_{снк}(t) - P_{снр}(t) - P_{xp}(t)) \end{aligned} \quad (10)$$

Для анализа выполнения плановых ремонтов требуется информация о том, сколько часов за определённый период агрегат находится в ремонте. Так время нахождения в конкретном состоянии можно рассчитать по формуле:

$$\Delta T_{xp} = \sum_{i=1}^n (T_{i+1} - T_i) F_{xp}(T_i) \quad (11)$$

где ΔT_{xp} - время которое оборудование находится в холодном резерве во временном отрезке $[T_1, T_{n+1}]$, n – количество изменений состояния оборудования в отрезке времени $[T_1, T_{n+1}]$, T_i – время переключения i -го состояния.

Наибольший интерес в практике диспетчерского управления представляют суммарные данные по ГТП, электростанции и энергосистеме в целом. Используя группировку оборудования по блокам, ГТП и электростанциям реализованную в разработанной информационной модели,

можем рассчитать суммарные показатели по указанным группам. Просуммировав компоненты баланса по всем электростанциям энергосистемы можно получить фактический баланс мощности энергосистемы на любой момент времени с расчётом рабочей и включённой мощности. Данные о нагрузке электрических станций, сальдо-перетоке и потребляемой мощности энергосистемы являются одними из основных режимных показателей и могут быть получены из ОИК, по данным телеметрии. Пусть они описываются соответственно функциями: $P_H(t)$, $P_{СП}(t)$ и $P_{П}(t)$. При этом:

$$P_{П}(t) = P_H(t) - P_{СП}(t) \quad (12)$$

Тогда формула баланса мощности энергосистемы с учётом состояния оборудования может быть представлена следующим образом:

$$P_{П}(t) = \sum_{i=1}^n P_{уст,i} - \sum_{i=1}^n P_{огр,i}(t) - \sum_{i=1}^n P_{снК,i}(t) - \sum_{i=1}^n P_{снР,i}(t) - \sum_{i=1}^n P_{ХР,i}(t) - \sum_{i=1}^n P_{вк.р,i}(t) - P_{СП}(t), \quad (13)$$

где n – количество агрегатов всех электростанций энергосистемы;

$P_{П}(t)$ – потребление энергосистемы;

$P_{СП}(t)$ – сальдо-переток энергосистемы;

$P_{уст,i}$ – установленная мощность i -го агрегата;

$P_{огр,i}$ – функция ограничений мощности по i -му агрегату;

$P_{снК,i}$ – функция снижения мощности определяемое консервацией i -го агрегата;

$P_{снР,i}$ – функция снижения мощности определяемое выводом в ремонт i -го агрегата;

$P_{ХР,i}$ – функция снижения мощности определяемое выводом в холодный резерв i -го агрегата;

$P_{вк.р,i}$ – функция включённого резерва мощности i -го агрегата.

Суммарное снижение мощности лишь в определенной степени, позволяет судить о состоянии оборудования. Разработанные методы и алгоритмы позволяют, при необходимости, определить влияние конкретного оборудования на общий баланс энергосистемы.

На основе данных о текущем состоянии оборудования, как было показано выше, может быть рассчитан график включённой мощности ГТП. Данный график позволяет оценить максимальную нагрузку оборудования, которую диспетчер может задействовать. Его можно использовать для проверки выполнимости задаваемого диспетчерской командой графика генерации. Критерий выполнимости можно определить следующим образом:

$$P_{ГТП,удг}(t) < P_{ГТП,вкл}(t), \quad (14)$$

где $P_{ГТП,удг}$ – функция рассчитанного уточнённого диспетчерского графика по ГТП;

$P_{ГТП,вкл}$ – функция включённой мощности по ГТП.

Следует так же рассмотреть возможность учёта в критерии резерва включённой мощности. Пусть максимально допустимая для использования мощность:

$$P_{ГТП,max}(t) = P_{ГТП,вкл}(t) - P_{ГТП,вк.р.}(t), \quad (15)$$

где $P_{ГТП,вкл}$ – функция включённой мощности по ГТП,

$P_{ГТП,вк.р.}$ - функция включенного резерва по ГТП.

Тогда критерий выполнимости УДГ:

$$P_{ГТП,удг}(t) < P_{ГТП,max}(t). \quad (16)$$

Изменения в режиме, в частности вывод генерирующего оборудования в ремонт учитываются планами балансирующего рынка, которые пересчитываются четыре раза в сутки. Однако данный метод применим в качестве дополнительной проверки ПБР и проверки выполнимости УДГ на временных интервалах между расчётами ПБР. Так как предложенные алгоритмы и методы могут функционировать в режиме реального времени и позволяют произвести на обобщённой платформе совместный анализ различных факторов, их можно использовать в программах советчика диспетчера для исключения ошибочного распределения нагрузок по ГТП.

В четвёртой главе дано описание разработанных программных средств, используемых для практического применения разработанных и рассмотренных выше методов расчёта диспетчерских графиков активной мощности и анализа состава и состояния основного оборудования электростанций. Разработаны программные средства реализации предложенной информационной модели, интерфейсы и программные алгоритмы доступа к объектной модели. Для доступа к объектам и параметрам информационной модели используется стандартный язык запросов (SQL). Технологические задачи выделяются из цикла подготовки информации и получают информацию из базы с использованием SQL-запросов, или с помощью разработанных специализированных программных компонент.

Для использования разработанной информационной модели был расширен классификатор оборудования и объектов организационной схемы и доработана структура базы данных комплекса “Энергостат”. Для реализации хранения и обработки темпоральных кортежей, описанных в главе 2, был разработан и модернизирован ряд программных алгоритмов и методов. Использование средств комплекса “Энергостат” позволило существенно упростить программную разработку и внедрение.

На основе разработанных методов и алгоритмов комплекс был дополнен компонентами "Электронный журнал команд" и "Состояние оборудования" для решения следующих практических задач:

- Обработка и хранение диспетчерской информации, включая диспетчерские команды по управлению генерацией, данные состава и состояния оборудования электростанций и других энергообъектов, графики ремонтов;
- Расчёт диспетчерских графиков, графиков снижения мощности и компонент баланса мощности электрических станций и энергосистем;
- Расчёт и прогноз отклонений диспетчерских графиков электрических станций и энергосистем в режиме реального времени.

Из базы данных, где хранится информационная модель, программные компоненты получают необходимые данные – названия станций, характеристики оборудования, перечень стандартных документируемых диспетчерских команд и их причин (рис. 3). Наличие единого обновляемого классификатора позволяет осуществить обмен данными между базами данных (БД) на различных уровнях иерархии диспетчерского управления. Это обеспечивает гибкость системы. Например, для реализации поддержки нового перечня стандартных документируемых диспетчерских команд и причин их возникновения требуется достаточно простое обновление классификатора, что возможно осуществить удаленно через существующие каналы связи.



Рис. 3. Структурная схема функционирования компонент "Электронный журнал команд" и "Состояние оборудования".

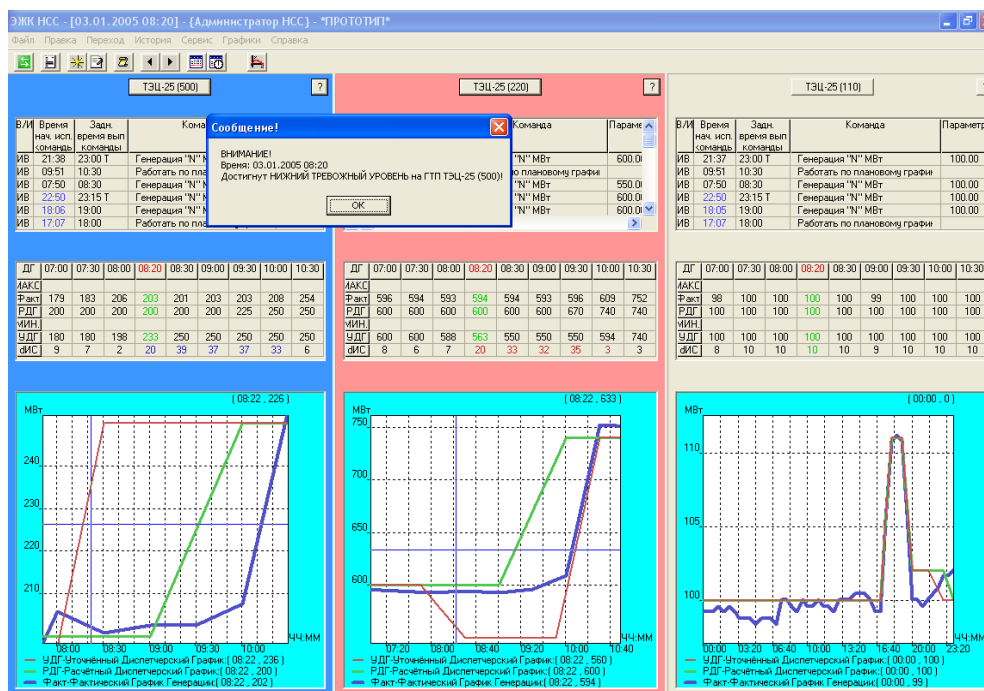


Рис. 4. Сигнализация о сверхнормативных отклонениях диспетчерских графиков в ЭЖК-НСС.

Данные планов балансирующего рынка и фактические графики могут загружаться как из ОИК ("СК-2003" и других), так и из макетов или других источников. Диспетчерские команды вводятся вручную. Данные о состоянии оборудования актуализируются на основе данных о заявках в комплексе "АСУРЭО". Для предоставления пользователю рассчитанных данных реализованы необходимые оконные формы (рис. 4).

Один из разделов главы посвящён опытным расчётам, проведённым на базе собранной с помощью разработанных программных компонент информации о составе и состоянии оборудования, диспетчерских командах и диспетчерских графиках.

Заключение.

В работе получены следующие научные и практические результаты:

1. Произведено обобщение и критический анализ существующего состояния методов и средств в области обработки диспетчерской информации в филиалах СО ЕЭС и энергокомпаний. Произведён анализ зарубежного опыта разработки информационных сред предметной области диспетчерского управления активной мощностью. Обоснована необходимость единой классификации и кодификации объектов энергетики.
2. С учётом анализа современных технологий построения информационной среды диспетчерского управления предложены новые методы формирования модели описания структуры оборудования и режимных параметров. На основе предложенных

методов разработана модель описания структуры основного оборудования электростанций и его характеристик. Использование объектного подхода в сочетании с классификацией оборудования позволяет облегчить гармонизацию разработанной модели с международными стандартами, использующими аналогичные подходы к построению модели.

3. Разработаны методы, алгоритмы обработки и хранения диспетчерских графиков и информации о состоянии оборудования на основе объектного моделирования данных.
4. На основе модели описания структуры оборудования и режимных параметров электростанций разработан аналитический метод расчёта диспетчерских графиков по активной мощности с учётом команд диспетчеров с использованием кусочно-детерминированных функций. Разработан метод представления диспетчерских команд в объектной модели с использованием коротежей темпоральных свойств.
5. Разработан метод и алгоритм учёта состояния оборудования в расчёте диспетчерского графика. Метод позволяет в режиме реального времени отслеживать выполнимость диспетчерских графиков генерации на основе текущего состояния генерирующего оборудования.
6. На основе модели описания основного оборудования электростанций разработан метод расчёта составляющих балансов мощности с учётом событий изменения состояния оборудования. Для автоматизации актуализации данных о состоянии оборудования разработаны программные средства интеграции с комплексом “АСУРЭО” (ПК “Заявки”).
7. На основе разработанных методов и алгоритмов реализованы программные компоненты для решения следующих практических задач:
 - Обработка и хранение диспетчерской информации, включая диспетчерские команды по управлению генерацией, данные состава и состояния оборудования электростанций и энергообъектов, графики ремонтов;
 - Расчёт диспетчерских графиков, графиков снижения мощности и компонент баланса мощности электрических станций и энергосистем.
 - Расчёт и прогноз отклонений диспетчерских графиков электрических станций и энергосистем в режиме реального времени.

Программные компоненты используются в ежедневной практике диспетчерского управления Московского РДУ с 2004 года. Разработанные

компоненты также интегрированы в комплекс Энергостат и внедрены в эксплуатацию в 18-ти филиалах СО ЕЭС.

Основные положения диссертации, выдвигаемые автором на защиту:

1. Для более эффективного диспетчерского управления ЕЭС России и её составных элементов требуется обобщённая модель, позволяющая единообразно описать предметную область решаемых технологических задач. В настоящее время в практике эксплуатации обобщённая модель не применяется. Прежде всего, актуально формирование единой обобщённой информационной модели состава, состояния и режимных параметров основного оборудования, поскольку эти данные необходимы для большинства решаемых при диспетчерском управлении технологических задач.
2. Использование объектного подхода к классификации энергообъектов, процессов и их свойств позволяет сформировать указанную обобщённую модель и в последствии осуществлять гармонизацию с международными стандартами, поскольку в них используются аналогичные подходы.
3. На основе предложенной информационной модели с использованием кусочно-детерминированных функций разработан аналитический метод расчёта диспетчерских графиков с учётом команд диспетчеров. Для практического использования разработанного метода реализованы соответствующие программные средства.
4. Разработан метод расчёта компонент балансов мощности с учётом событий изменения состояния оборудования и соответствующие программные средства.
5. На основе разработанных методов и алгоритмов реализованы программные компоненты для решения практических задач.

Основные результаты диссертационной работы изложены в **16 публикациях**, в их числе три статьи в центральных отраслевых журналах:

1. Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Владимиров А.И., Данильцев С.С. Регистрация команд диспетчера РДУ и расчет отклонений диспетчерских графиков с использованием компонент комплекса “Энергостат” // Энергетик, 2007, № 10

2. Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Информационные системы для решения технологических задач на энергообъектах. // Энергетик, 2007, № 8.

3. Макоклюев Б.И., Полижаров А. С. Анализ диспетчерских графиков и состояния оборудования энергосистем на основе объектной модели данных. // Электрические станции, 2008, № 3.

Так же основные результаты работы изложены в 13 опубликованных докладах на различных семинарах и конференциях:

4. Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Информационная структура и программные средства объектно-темпоральной базы оборудования и измеряемых параметров с учетом СИМ-стандартов на основе реляционных СУБД // Сборник докладов четвертого специализированного научно-технического семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2006.

5. Антонов А.В., Артемьев А.А., Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Салманов Б.И., Обработка исходной информации и проведение расчетов по планированию потребления и балансов в энергообъединениях России с использованием комплекса "Энергостат" // Сборник докладов четвертого специализированного научно-технического семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2006.

6. Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Щипицин И.А., Владимиров А.И., Данильцев С.С., Ушаков В.В., Чижикова И.Ю., Чепкасова О.А., Подготовка информационной базы оборудования, измерений и реализация технологических задач РДУ с использованием средств комплекса "Энергостат" // Сборник докладов четвертого специализированного научно-технического семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2006.

7. Макоклюев Б.И., Антонов А.В., Набиев Р.Ф., Полижаров А.С., Салманов Б.И. Анализ и планирование электропотребления, балансов мощности и электроэнергии с использованием программного комплекса "Энергостат" // Сборник докладов на семинаре "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2003.

8. Макоклюев Б.И., Антонов А.В., Набиев Р.Ф., Полижаров А. С. Средства комплекса "Энергостат" для обработки информации состава оборудования, измерительных приборов и режимных параметров и последующего расчета балансов электроэнергии и потерь // Сборник докладов на семинаре "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2004.

9. Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Владимиров А.И., Данильцев С.С. Регистрация команд диспетчера РДУ и расчет отклонений диспетчерских графиков с использованием компонент комплекса "Энергостат" // Сборник докладов на семинаре "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2004.

10. Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Владимиров А.И., Данильцев С.С., Чижикова И.Ю., Чепкасова О.А. Использование средств комплекса «Энергостат» для обработки данных измерений, состава оборудования и решения технологических задач региональных диспетчерских управлений и энергообъединений // Сборник докладов на семинаре "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: НЦ ЭНАС, 2005.

11. Антонов А.В., Макоклюев Б.И., Полижаров А.С., Щипицин И.А., Владимиров А.И., Данильцев С.С., Ушаков В.В., Чижикова И.Ю., Чепкасова О.А. Подготовка информационной базы оборудования, измерений и реализация технологических задач РДУ с использованием средств комплекса "Энергостат" // Сборник докладов на семинаре "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: Элекс-КМ, 2006.

12. Полижаров А.С., Антонов А.В., , Обработка и хранение информации измерений, состава и состояния оборудования энергообъектов для различных технологических задач // Сборник докладов пятого специализированного семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: Элекс-КМ, 2007.

13. Полижаров А.С. Опыт применения программных компонент комплекса "Энергостат" для диспетчерских задач // Сборник докладов пятого специализированного семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: Элекс-КМ, 2007.

14. Артемьев А.А., Антонов А.В., Полижаров А.С., Ёч В.Ф., Опыт внедрения программных комплексов планирования электропотребления в филиалах СО ЦДУ ЕЭС и сбытовых компаниях // Сборник докладов пятого специализированного семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: Элекс-КМ, 2007.

15. Антонов А.В., Артемьев А.А., Полижаров А.С., Обзор функций новых версий программного комплекса "Энергостат" // Сборник докладов пятого специализированного семинара "Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии", М.: Элекс-КМ, 2007.

16. Полижаров А.С., Антонов А.В. Использование подсистем комплекса Энергостат для обработки и анализа состава и состояния оборудования // Сборник докладов семинара "Системы АИИС КУЭ (АСКУЭ) и автоматизация расчётов с потребителями электроэнергии в энергосистемах", М.: Диалог Электро, 2008

Филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики» - «ВНИИЭ»
Рег. №4 11.12.2008 г. Тираж 80 экз.