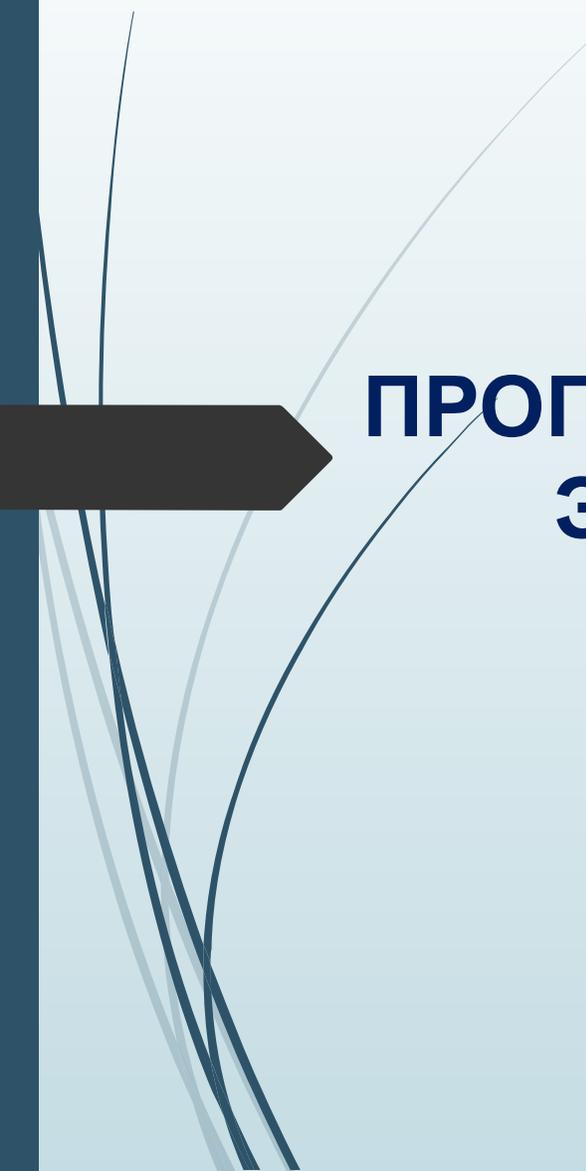


ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Оперативно-диспетчерское управление нормальными режимами электроэнергетических систем



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Периодичность прогнозирования электропотребления (ЭП)

В соответствии с основными циклами планирования и управления режимами ЕЭС России временная иерархия планирования и прогнозирования потребления разделяется на три основных интервала - долгосрочный, краткосрочный и оперативный.

Долгосрочное планирование включает периоды от месяца до года вперед и от года до нескольких лет вперед,

Краткосрочное планирование производится на период от суток до месяца вперед.

При **оперативном** управлении режимами используется оперативный ежечасный прогноз графика потребления на все часы, остающиеся до конца суток.

Прогнозирование электропотребления (ЭП) осуществляется Системным оператором по территориям операционных зон ОДУ и РДУ и в целом по ЕЭС России.

Термины и определения при моделировании ЭП

- ***Интервал моделирования*** – интервал времени, составленный из интервала упреждения и ретроспективного интервала, на котором определена обучающая выборка;
- ***Интервал упреждения*** – интервал времени, на котором выполняется прогнозирование (на котором рассчитываются прогнозные значения);
- ***Ретроспективный интервал*** – интервал времени, которому принадлежат фактические данные, включаемые в обучающую выборку.
- ***Обучающая выборка*** – ряд данных, принадлежащих ретроспективному интервалу и интервалу упреждения, на основе которых выполняется расчёт параметров модели, используемой для прогнозирования;
- ***Точки притяжения*** – ожидаемые значения электропотребления, включаемые в обучающую выборку на интервале упреждения с целью стабилизации прогнозных значений.

Модели электропотребления

Электропотребление - случайный нестационарный процесс (независимо от интервала моделирования).

Общий **принцип** моделирования - декомпозиция исходного процесса на:

- **тренд** - описывает устойчивые тенденции изменения процесса на интервале времени,
- **периодические составляющие** - определяют циклические – год, месяц, неделя, сутки (с учетом статистической достоверности) - изменения процесса,
- **нерегулярная составляющая** - характеризует случайную, заведомо непрогнозируемую часть потребления и вероятные отклонения фактических значений ЭП от тренда, выделенного из исходного процесса.

Модели электропотребления

Стандартные (типовые) условия задач краткосрочного планирования предполагают наличие прогнозных значений ЭП на интервалах упреждения от 2 до 11 суток вперёд.

Для автоматизированного **краткосрочного** прогнозирования ЭП могут использоваться разные модели в зависимости от глубины обучающей выборки, принятой за репрезентативную:

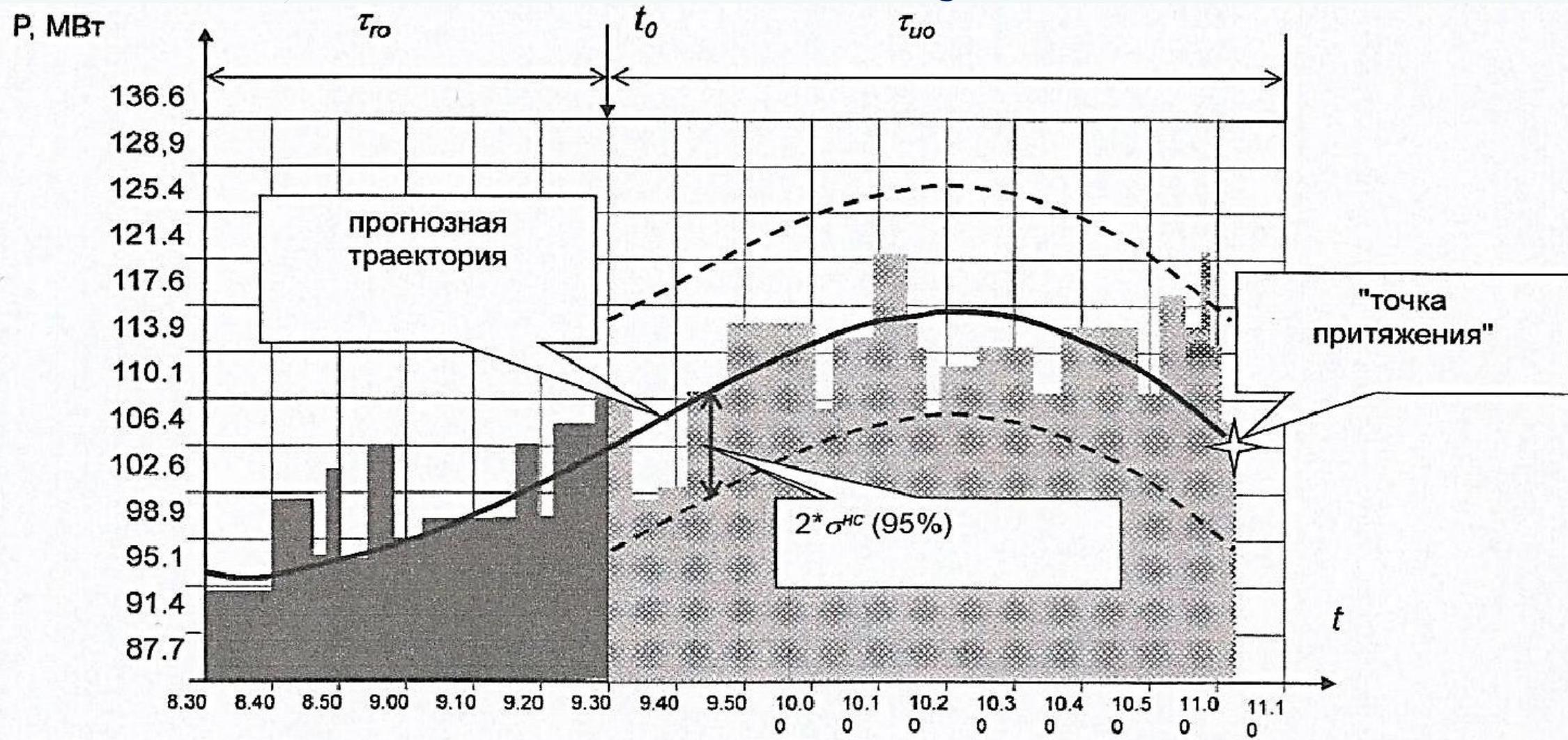
- прогнозирование на основе сезонных кривых;
- прогнозирование на основе средних суток, полученных статистической обработкой суток в пределах обучающей выборки;
- многокомпонентное прогнозирование;
- распределение среднемесячных величин;
- комбинированные модели.

Выделенная в результате декомпозиции траектория, выраженная в математическом виде, используется в дальнейшем в качестве прогнозирующей математической модели, т.е. модели, применяемой для расчёта прогнозных значений ЭП.

Прогнозирование ЭП на основе сезонных кривых



Прогнозирование ЭП на основе метода «скользящих суток»



Программно-аппаратные комплексы для прогнозирования ЭП

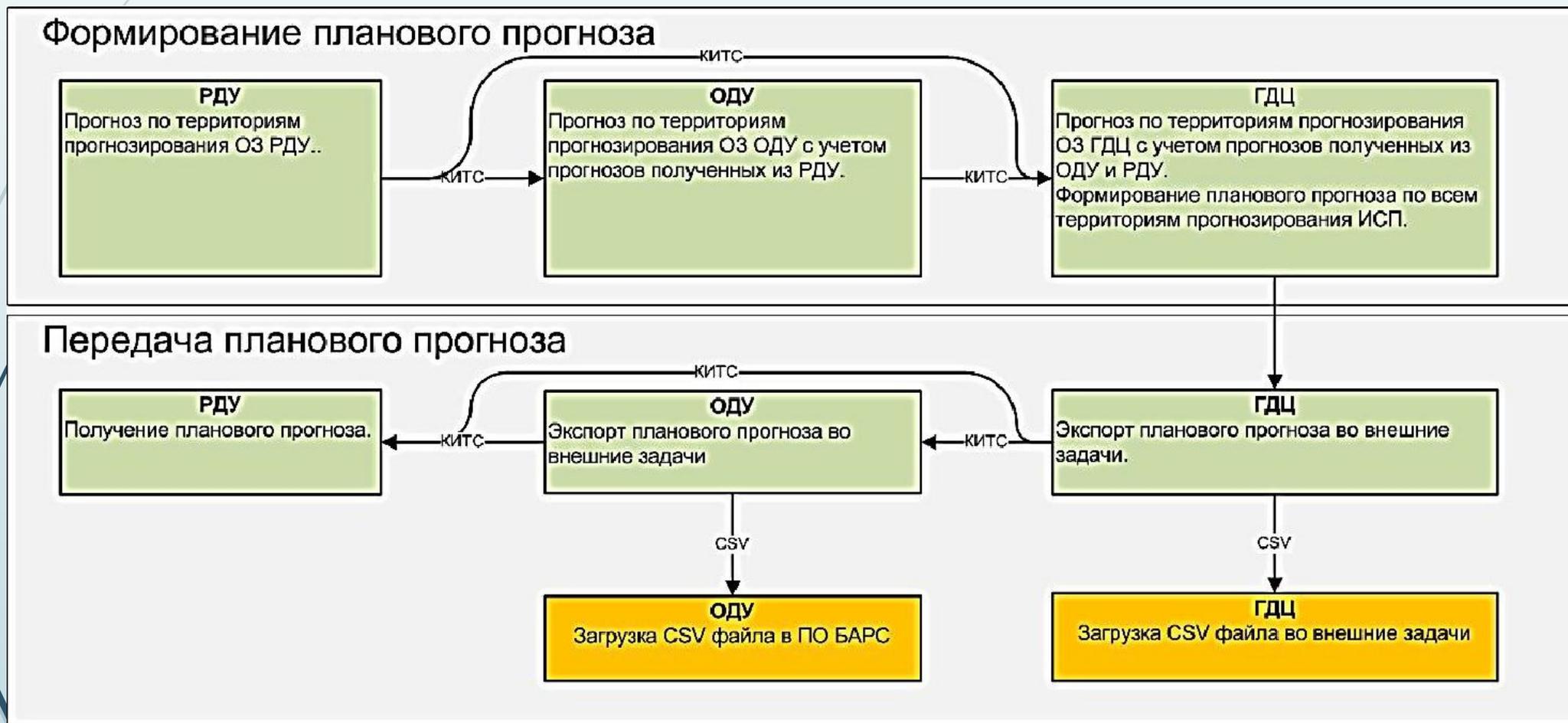
Программный комплекс (ПК) «Энергостат» - функционирует в автоматическом режиме и обеспечивает прогнозирование электропотребления как для краткосрочного, так и оперативного планирования режимов энергосистемы. При внедрении в различных энергосистемах и энергокомпаниях производится настройка и адаптация ПК для обеспечения необходимой функциональности, а также реализация порядка планирования, принятого на конкретном объекте.

Основные функции ПК:

- подготовка структуры и группировка параметров;
- загрузка и анализ фактических данных;
- статистический, корреляционный и регрессионный анализ;
- прогнозирование параметров;
- расчет балансов мощности;
- прогнозы электропотребления по территориям, выполненные на нижестоящих уровнях диспетчерского управления.

Программно-аппаратные комплексы для прогнозирования ЭП

ПАК «Иерархическая система прогнозирования ЭП» (ИСП) - обеспечивает формирование прогнозных значений электропотребления территорий прогнозирования и согласованность (балансировку) прогнозов электропотребления, выполненных на различных уровнях прогнозирования: исполнительный аппарат Системного оператора (ГДЦ - ЦДУ), филиалы Системного оператора ОДУ и РДУ.



Программно-аппаратные комплексы для прогнозирования ЭП

Консоль ПП - Администратор [компьютер-W5-TC11, пользователь-koltsk] [Сервер-PROGNOZ-R, База-PROGNOZ]

Консоль Мониторинг формы ДЮП Настройка

Обновить Контроль прогноза Акцепт Глубокий прогноз

Акцепт прогноза

01:00 25.11 Вт

Название	Акцепт
ОЭС (модель СК)	ОДУ
Архангельск (модель СК)	ОДУ
Карелия (модель СК)	ОДУ
Колма (модель СК)	ОДУ
Комзнерга (модель СК)	ОДУ
Ленэнерго (модель СК)	ОДУ
Новгородэнерго (модель СК)	ОДУ
Псковэнерго (модель СК)	ОДУ
Янтарэнерго (модель СК)	ОДУ

Контейнер территорий, по которым выполняется прогнозирование

Операция выполнено в

расчет в РДУ	01:00 25.11
получено из РДУ	09:35 24.11
расчет в ОДУ	14:30 23.11
акцептовано (ОДУ)	14:35 23.11
согласовано в ОДУ	
отправлено в ЦДУ	
получено в ЦДУ	
Приращение из	скол. Энергостат

Время расчета (упреждение)

Комзнерга (модель СК)

Факт Акцепт Расчет ППБР Заяв Эстат ЭСК Акцепт вчера из РДУ

из РДУ вчера Соглас Соглас вчер Факт1 23.11.00 Вт Факт2 16.11.00 Вт Факт3 26.10.00 Вт

Акцептованный прогноз

Форма отображения/скрытия кривых

Кривая фактических значений для сравнения

Прогноз РДУ

Окно выбора фактов для сравнения

Таблица значений

5:54 25.11 V=1020.5 Акцепт=1053 из РДУ=977 Ф1=970 Ф2=962 Ф3=864

Факты для сравнения Факт 1 за 23.11.00 Вт

время	Акцепт-прогноз	Расчет	Прогноз из РДУ	Согласованный	Соглас-акцепт	Факт1 за 23.11.00 Вт	Факт вчер	Факт	Факт2 за 16.11.00 Вт	ППБР	Заяв	Эстат	ЭСК	Акц-ППБР	Акц-Заяв	Акц-Эстат
01:00 25.11	1024		972			1000	997		950							
02:00 25.11	1002		954			984	983		937							
03:00 25.11	995		951			972	974		942							
04:00 25.11	1014		951			967	975		944							
05:00 25.11	1039		965			969	981		943							
06:00 25.11	1054		970			971	995		971							
07:00 25.11	1073		1003			993	1025		969							

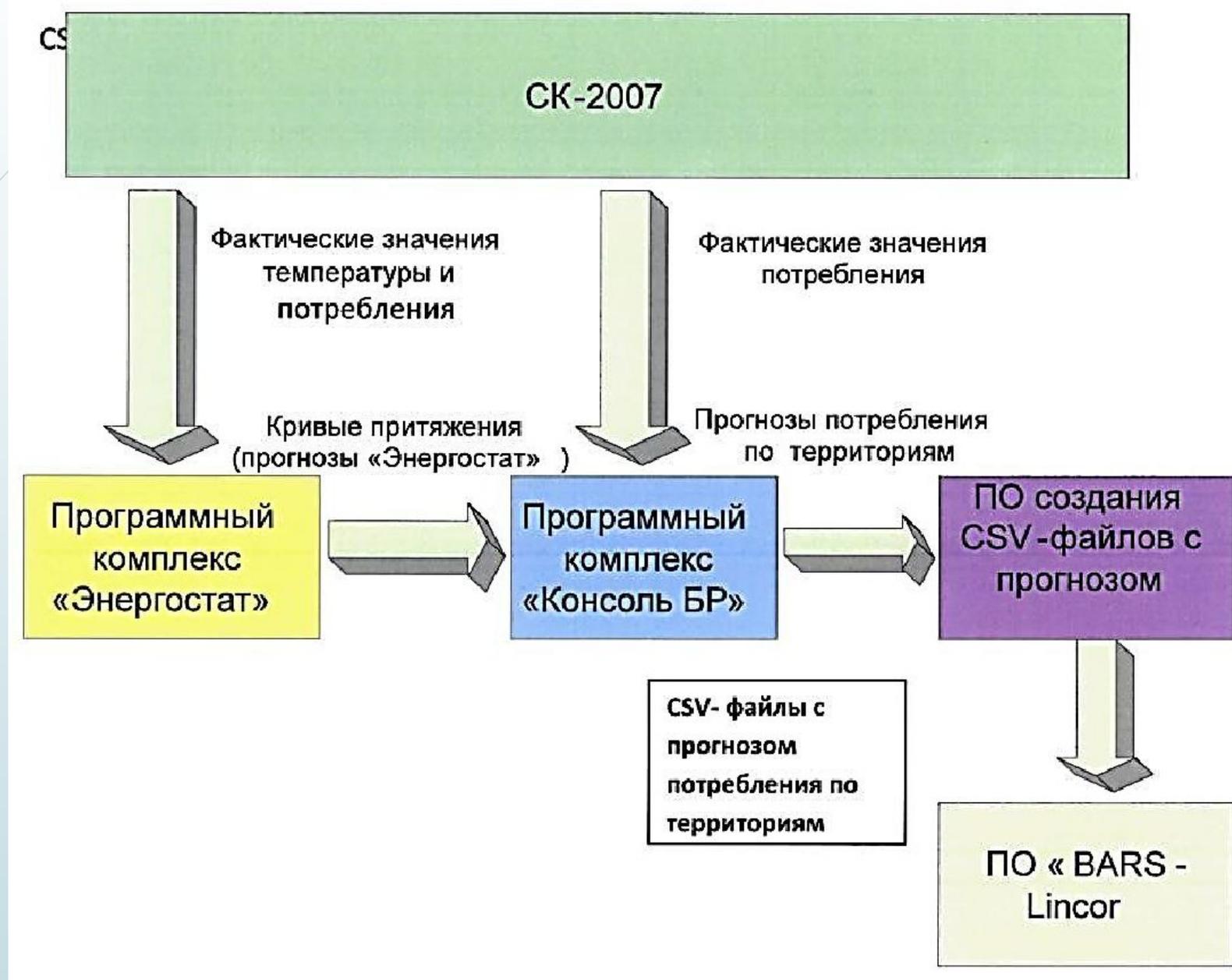
Акцептованный прогноз потребления

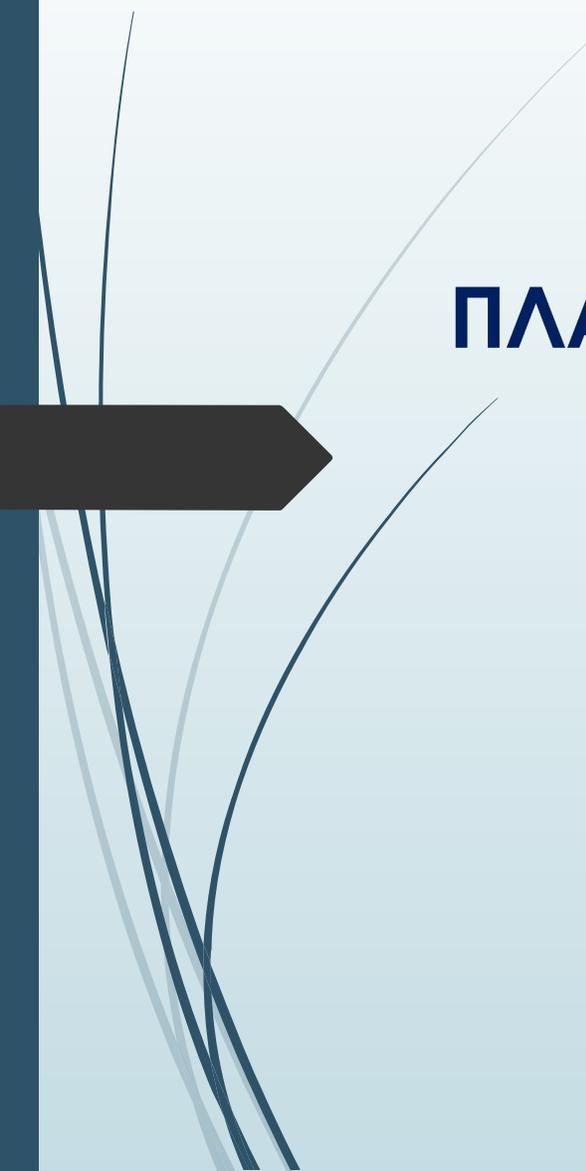
11:15:24

Пуск РММ от РДУ - Outbo... Монитор СК-2003 D:\Харков,Преза... Консоль ПП Microsoft PowerPoint...

ПК «Консоль БР» - был разработан для функционирования на балансирующем рынке (БР), т.е. для расчетов внутри-суточной оптимизации режима, технология которых отличается от таковой при расчетах диспетчерских графиков. Но исходный ПАК был адаптирован для работы на временных интервалах до недели вперед.

Программно-аппаратные комплексы для прогнозирования ЭП





ПЛАНИРОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКИХ ГРАФИКОВ (КРАТКОСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ)

Общие положения и термины

Задачи суточного планирования режимов:

- обеспечение **надежности** функционирования и качества электроэнергии в ЕЭС России;
- разработка **оптимальных** суточных графиков работы электростанций и электрических сетей Единой энергетической системы России;
- обеспечение **допустимых параметров** электрических режимов.

Общие положения и термины

Диспетчерский график - это заданные объекту диспетчерского управления (ЕЭС, ОЭС, энергосистемы, предприятия электрических сетей (ПЭС), электростанции) на планируемый период времени **значения величин**:

- мощности генерации (графики генерации);
- мощности межсистемных, межгосударственных перетоков (графики перетоков);
- мощности потребления (графики потребления);

а также заданные **параметры режима**:

- резервы активной мощности ЕЭС, ОЭС, энергосистем и электростанций;
- уровни напряжения в контрольных точках электрической сети (графики напряжения);
- при необходимости - графики реактивной мощности для электростанций и подстанций, имеющих синхронные компенсаторы и батареи статических конденсаторов.

Общие положения и термины

Основные *требования* к диспетчерскому графику:

- сбалансированность потребления электрической энергии и генерации с учетом перетоков и потерь в электрических сетях;
- минимизация суммарных затрат покупателей электроэнергии с учетом ограничений на параметры электроэнергетических режимов, определяемых условиями надежной работы энергосистемы и отдельных объектов электроэнергетики;
- поддержание требуемых резервов мощности и уровней напряжения;
- учет прогноза потребления и характеристик электрических станций и сетей;
- учет прогнозного баланса производства и поставок электрической энергии (мощности) и тарифов, утверждаемых Федеральной службой тарифов РФ.

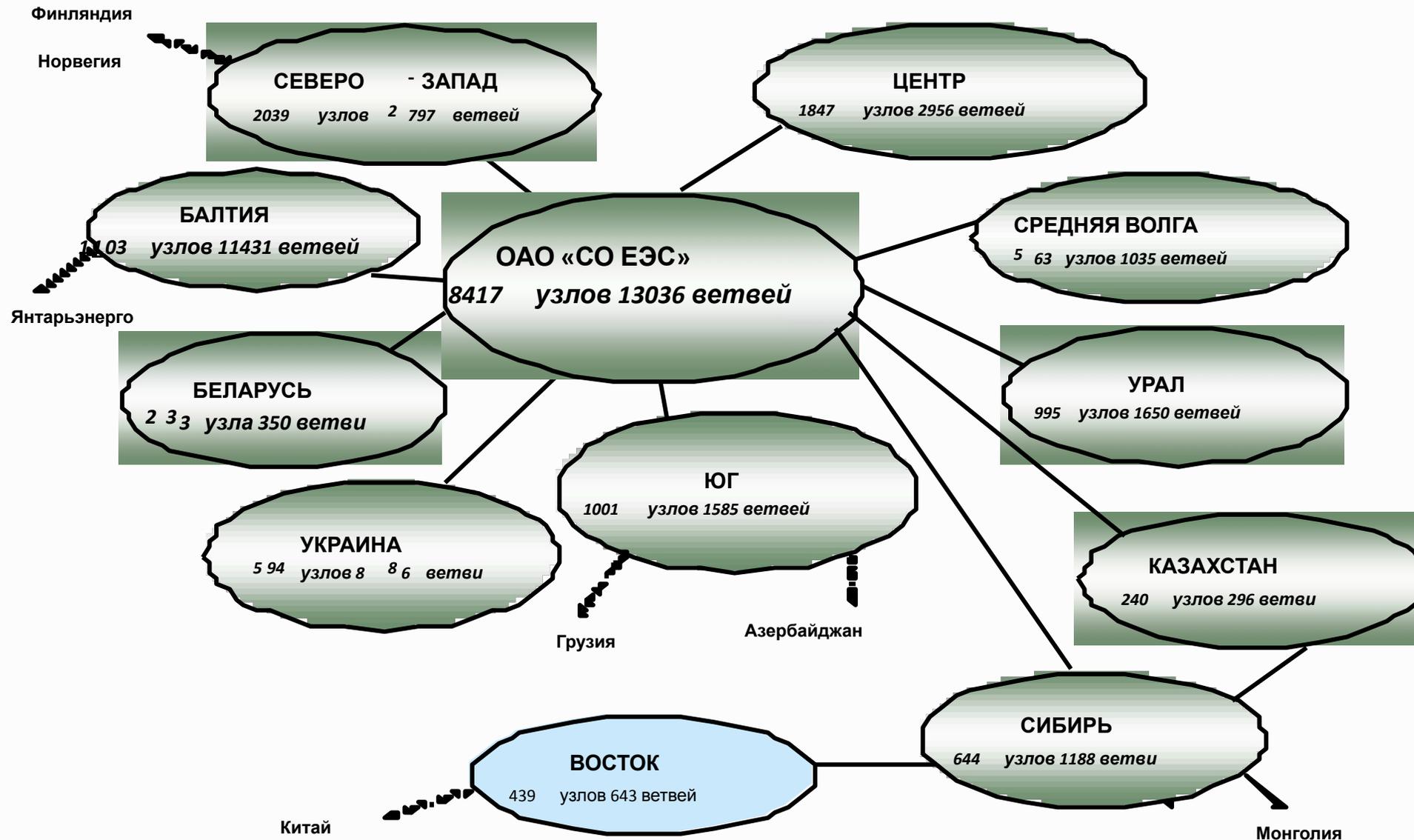
Общие положения и термины

Электроэнергетическая технология планирования диспетчерского графика (ЭТП ДГ) – технология краткосрочного планирования графиков потребления мощности и электроэнергии, нагрузки и резервов мощности на включенных в работу генераторах, потоков мощности и электроэнергии в электрической сети, основанная на решении задачи нелинейной комплексной оптимизации электроэнергетического режима по активной и реактивной мощности, производимая **на полной электрической схеме энергосистемы** и учитывающая все виды существенных ограничений, присущих ЕЭС России

Цели внедрения ЭТП ДГ:

- сокращение количества иерархических уровней СО, участвующих в оптимизационных расчетах при планировании ДГ;
- повышение точности планирования диспетчерского графика за счет более достоверного моделирования системных условий электрических режимов.

Большая расчетная модель (БРМ)



По состоянию на 01.01.2016 расчетная модель оптового рынка электроэнергии включала в себя:

- узлов – 8777;
- ветвей – 13630;
- сечений – 882;
- агрегатов РГЕ (режимных генерирующих единиц) – 1332;
- электростанций – 658;
- энергоблоков – 2475.

Технологическая инфраструктура оптового рынка электроэнергии и МОЩНОСТИ

Информационные ресурсы Системного оператора

- технологические сайты филиалов Системного оператора ОДУ (ТС СО);
- специализированный технологический сайт «Балансирующий рынок» (сайт БР);
- специализированный технологический сайт «Конкурентный отбор мощности» (сайт КОМ);
- программно-аппаратный комплекс Система обмена уведомлениями о составе и параметрах генерирующего оборудования (ПАК «MODES-Terminal»).

Информационная поддержка ЭТП ДГ

XML (Extensible Markup Language) - это новый расширяемый язык разметки документов, позволяющий структурировать информацию разного типа. Формат *XML* широко используется для хранения информации в структурированном виде, это популярная альтернатива привычным базам данных. На данный момент *XML* рекомендован Консорциумом Всемирной паутины как формат для обмена информацией между различными системами обработки данных и другим ПО.

XML разрабатывался как язык с простым формальным синтаксисом, удобный для создания и обработки документов программами и одновременно удобный для чтения и создания документов человеком, с подчёркиванием нацеленности на использование в *Web*-среде. Язык называется расширяемым, поскольку он не фиксирует структуру разметки, используемую в документах: разработчик волен создать структуру разметки в соответствии с потребностями к конкретной области, будучи ограниченным лишь синтаксическими правилами языка.

XML-документ представляет собой обычный текстовый файл, в котором при помощи специальных маркеров создаются элементы данных, последовательность и вложенность которых определяет структуру документа и его содержание. Основным достоинством *XML* документов является то, что при относительно простом способе создания и обработки (обычный текст может редактироваться любым текстовым процессором и обрабатываться стандартными *XML* анализаторами), они позволяют создавать структурированную информацию, которую хорошо "понимают" компьютеры.

Информационная поддержка ЭТП ДГ

Уведомления о составе и параметрах генерирующего оборудования (макет XML53500) используются для решения задач:

ВСВГО: проведение расчетов недельного планирования в рамках технологии выбора состава включенного генерирующего оборудования

РСВ: формирование прогнозного диспетчерского графика (ПДГ) на операционные сутки X в рамках суточного планирования режимов

БР: формирование ППБР и ПБР в рамках оперативного планирования режимов

Готовность генерирующего оборудования: определение показателей способности генерирующего оборудования к выработке электроэнергии

Статистика: формирование отчетной информации о составе и параметрах генерирующего и сетевого оборудования за прошедшие периоды

Программно-аппаратная реализация ЭТП ДГ

В процессе формирования диспетчерского графика на любом интервале времени имеет место тесное взаимодействие между всеми субъектами и объектами диспетчерского управления. Для реализации такого взаимодействия на всем пространстве ЕЭС России создан иерархически и территориально распределенный программно-аппаратный комплекс (ПАК) **«MODES-Terminal»**, представляющий собой территориально и иерархически распределённую систему подготовки и сбора данных для планирования диспетчерских графиков и доведения их до субъектов и объектов - участников ОРЭМ.

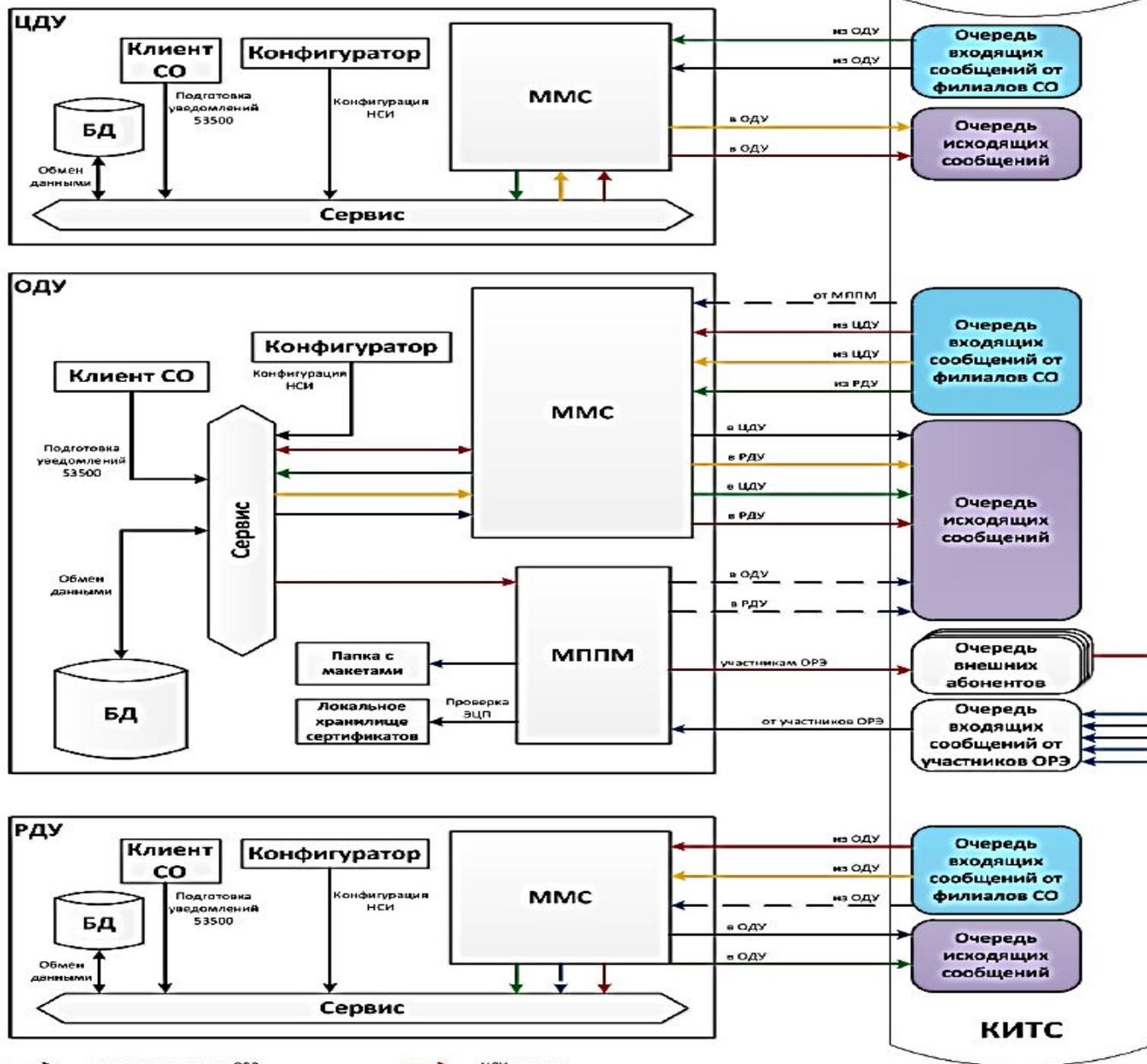
Система **«MODES-Terminal»** состоит из трех основных частей:

- шлюз СО и инфраструктура очередей КИТС СО;
- программное обеспечение сбора, подготовки и формирования изменений параметров генерирующего оборудования в операционных зонах РДУ и ОДУ (Клиент СО);
- программное обеспечение центра подготовки и формирования изменений параметров генерирующего оборудования электростанции – участника оптового рынка электроэнергии и мощности (КИСУ).

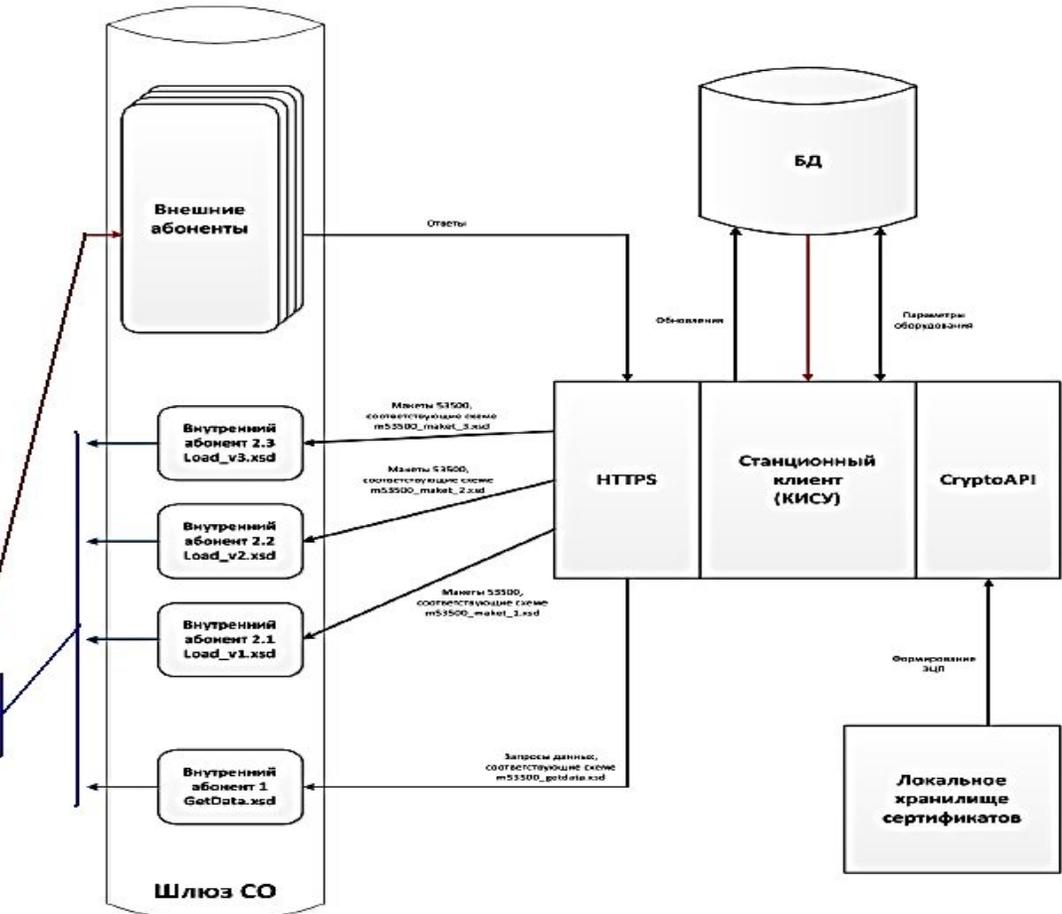
Архитектура ПАК MODES-Terminal

Архитектура ПАК «MODES-Terminal» второй очереди:



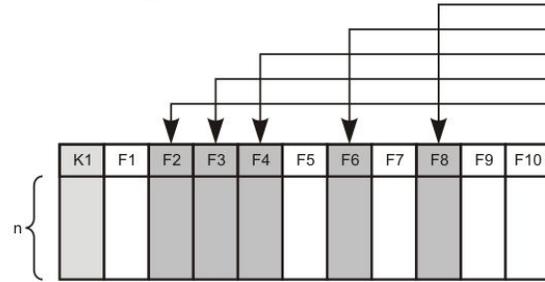


Архитектура системы MODES-Terminal

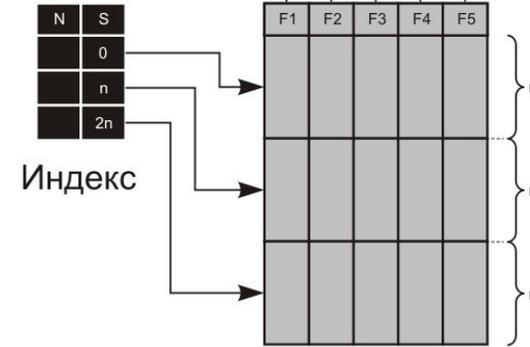


Технология «Мегаточка»

Постоянная таблица

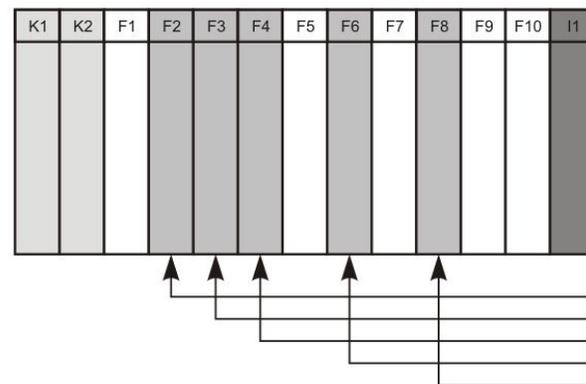


T-таблица

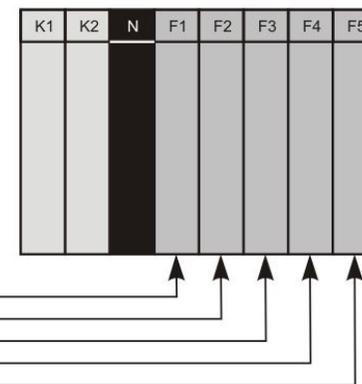


		F2,F3,F4,F6,F8				F1,F2,F3,F4,F5
Пост. таблица	Пост. ключи	Пост. поля	Индикатор	Перем. таблица	Перем. ключи	Перем. поля
	K1,K2	F2,F3,F4,F6,F8	I1		K1,K2	F1,F2,F3,F4,F5

Постоянная таблица



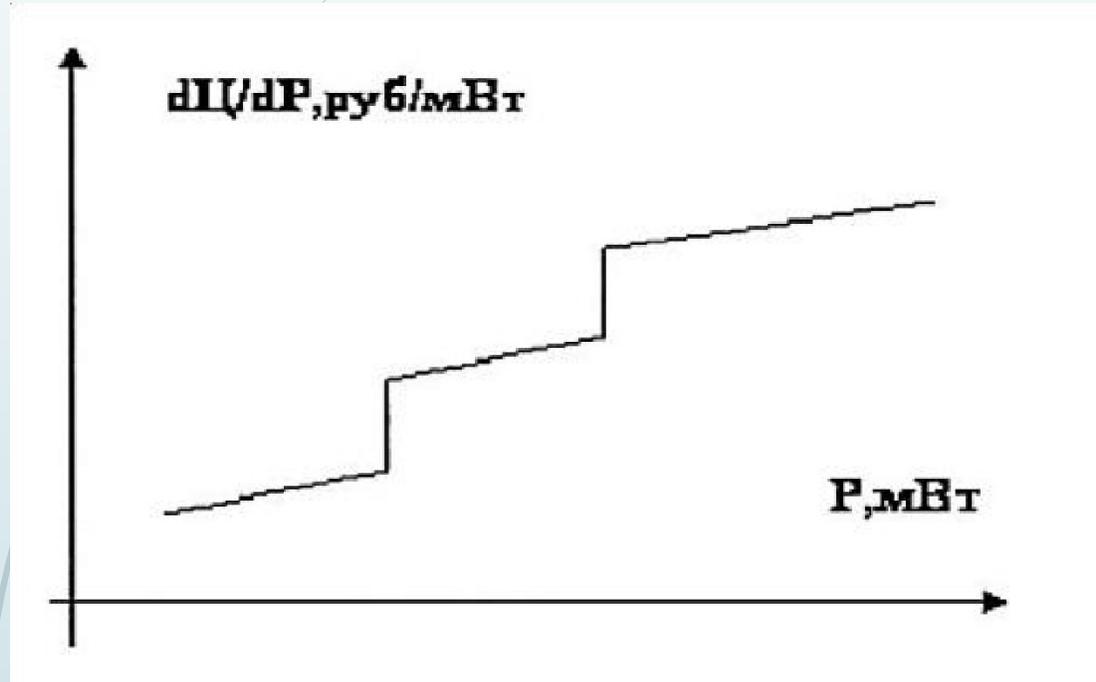
N-таблица



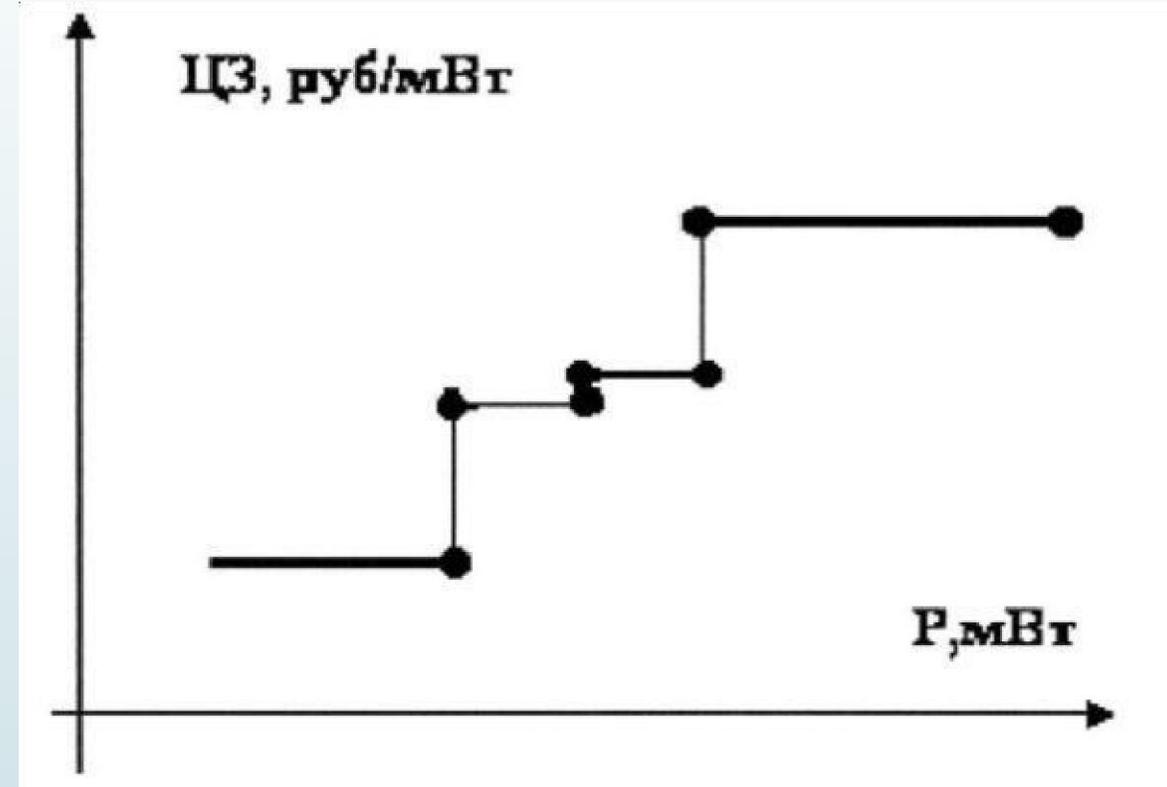
Программный комплекс «Барс»



Энергетические характеристики РГЕ



Характеристика относительных Приростов стоимости топлива - ХОПС



Ценовая заявка участника ОРЭМ

Целевые функции ЭТП ДГ

- критерий ОРЭМ - минимизация суммарных затрат покупателей электрической энергии (задается диспетчерскому управлению извне Некоммерческим партнерством «Администратор торговой системы»). Целевая функция на этапе планирования «торгового» графика имеет вид:

$$F = \min \left(\sum_{j=1}^m c_{Hj} \cdot P_{Hj} - \sum_{i=1}^n c_{Gi} \cdot P_{Gi} \right)$$

- критерий Системного оператора - минимум суммы ценовых характеристик по всем генераторам (для интервального расчета – по всем генераторам за весь период времени):

$$F = \min \left(\sum_{i=1}^n c_{Gi} \cdot P_{Gi} \right)$$

Ограничения в задаче ЭТП ДГ

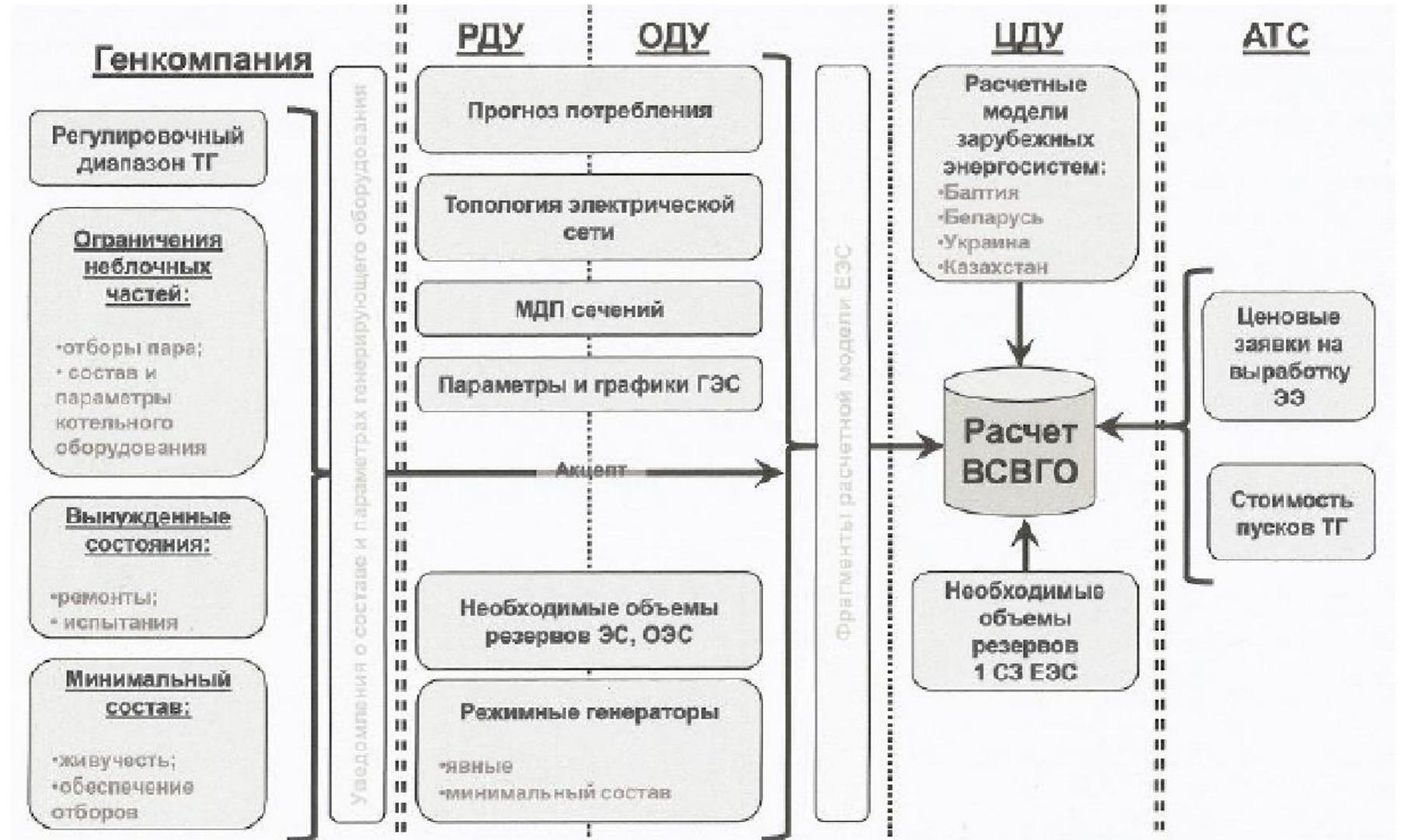
Для решения задачи оптимизации необходимо учесть все заданные ограничения:

- по пропускной способности контролируемых сечений;
- по суточной выработке ГЭС;
- по выработке ТЭС ОГК с учетом обеспеченности топливом (газ, уголь, мазут);
- по рабочей мощности режимных генераторных единиц (РГЕ);
- по скорости сброса/набора нагрузки;
- должен быть обеспечен баланс электрической энергии и мощности.

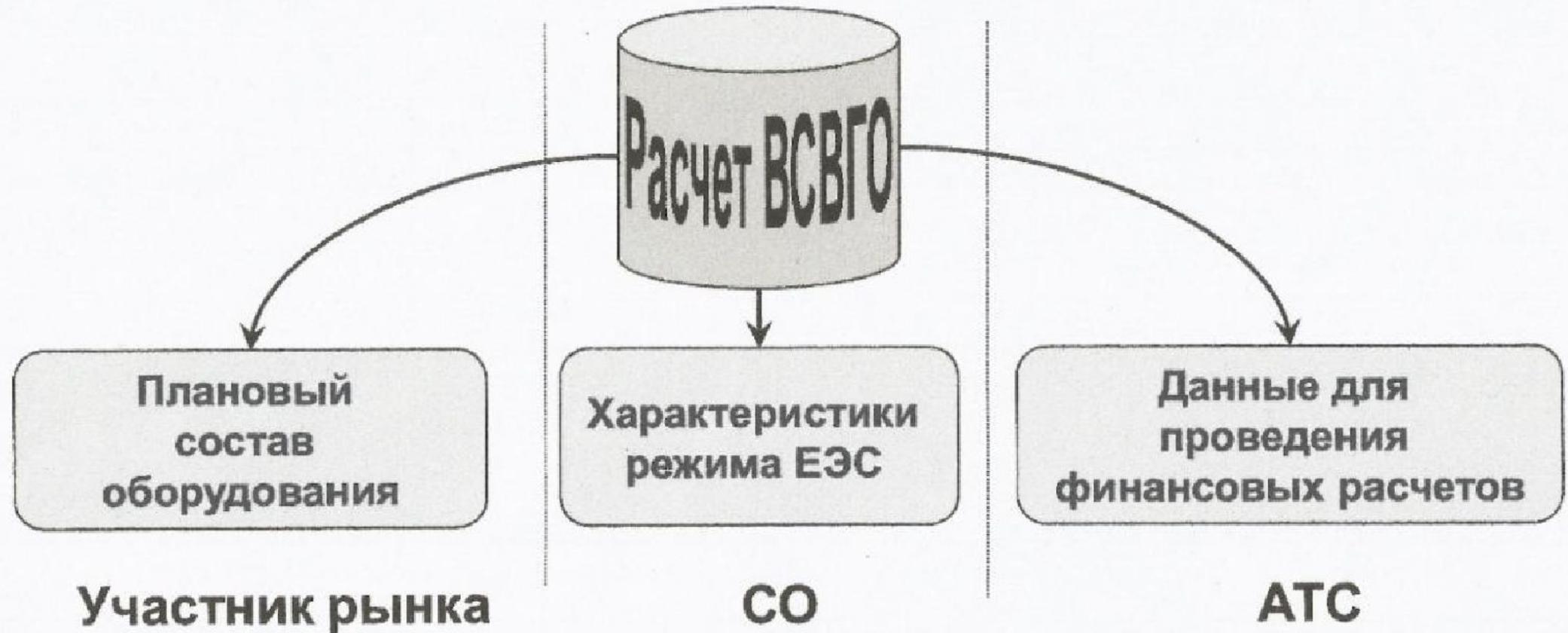
Технология краткосрочного планирования режима



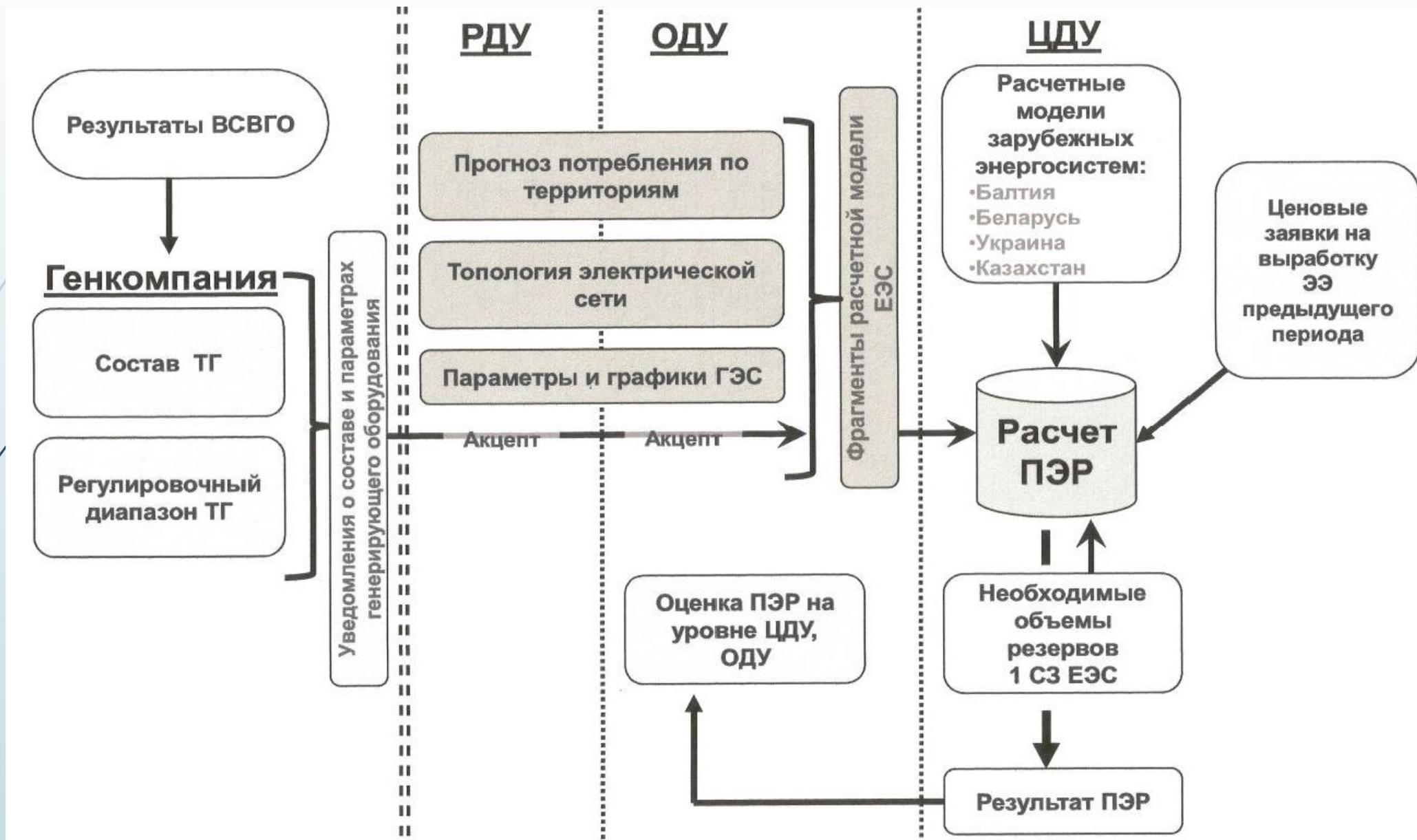
Технология выбора состава включенного оборудования (ВСВГО)



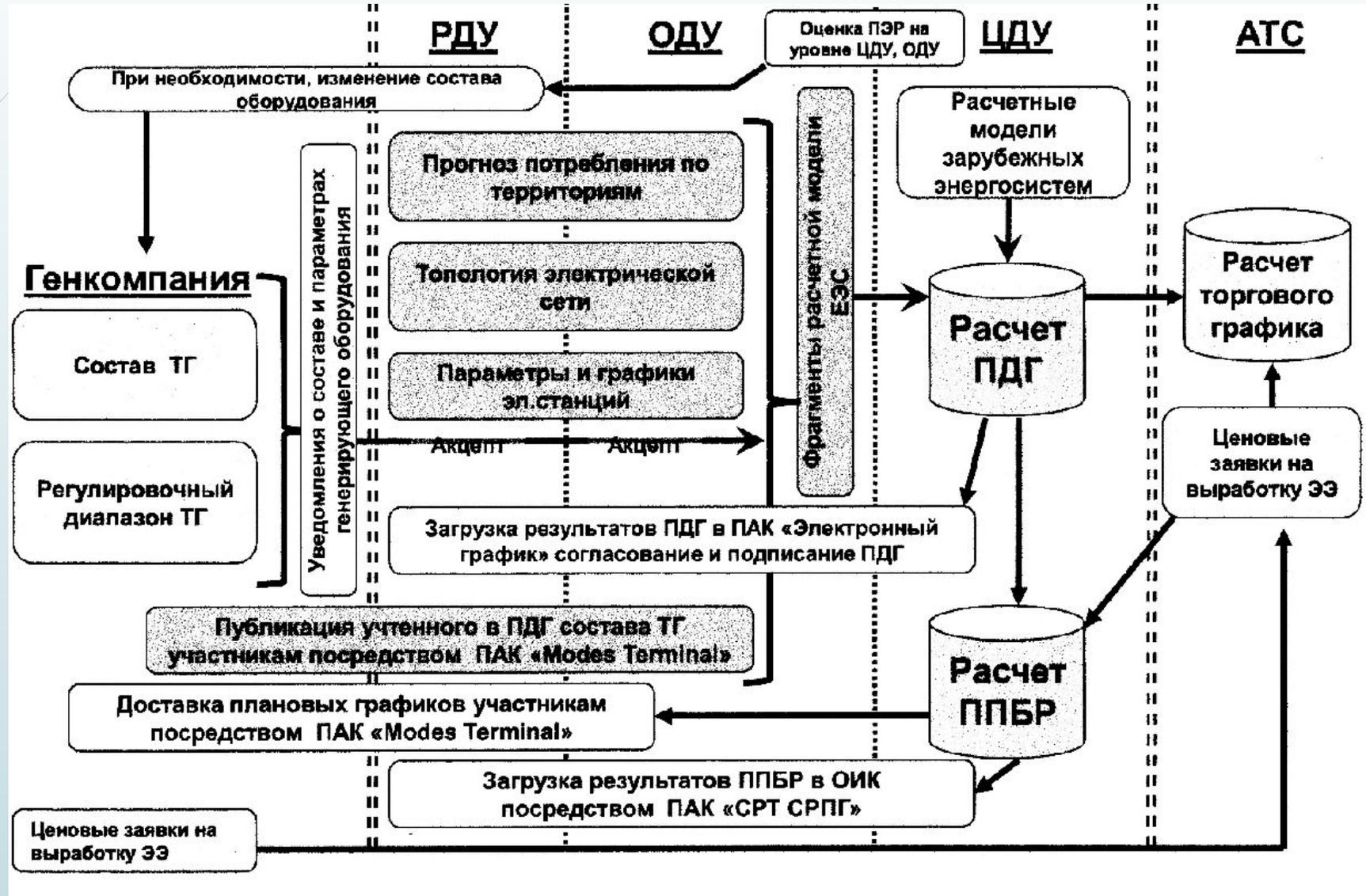
Технология выбора состава включенного оборудования (ВСВГО)



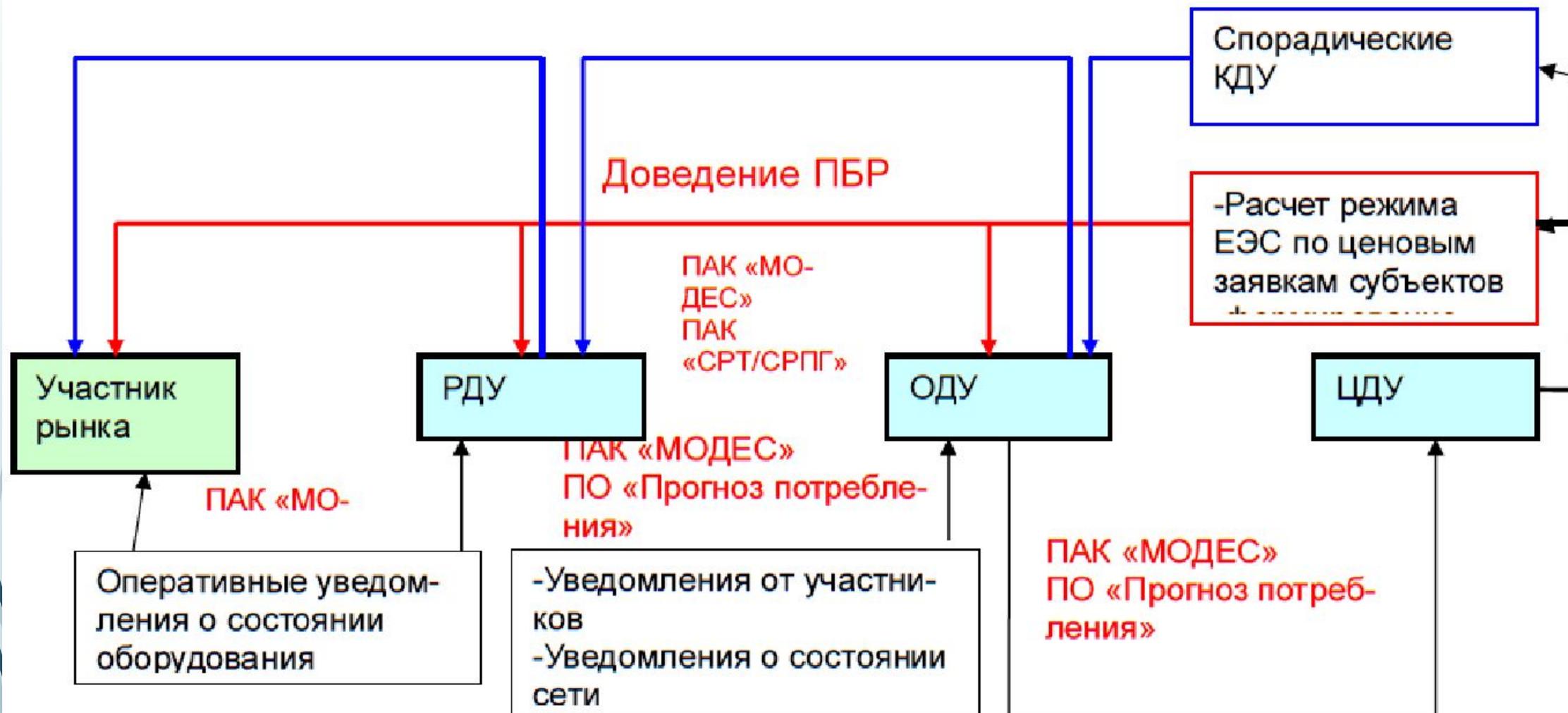
Расчет предварительного электрического режима (ПЭР)



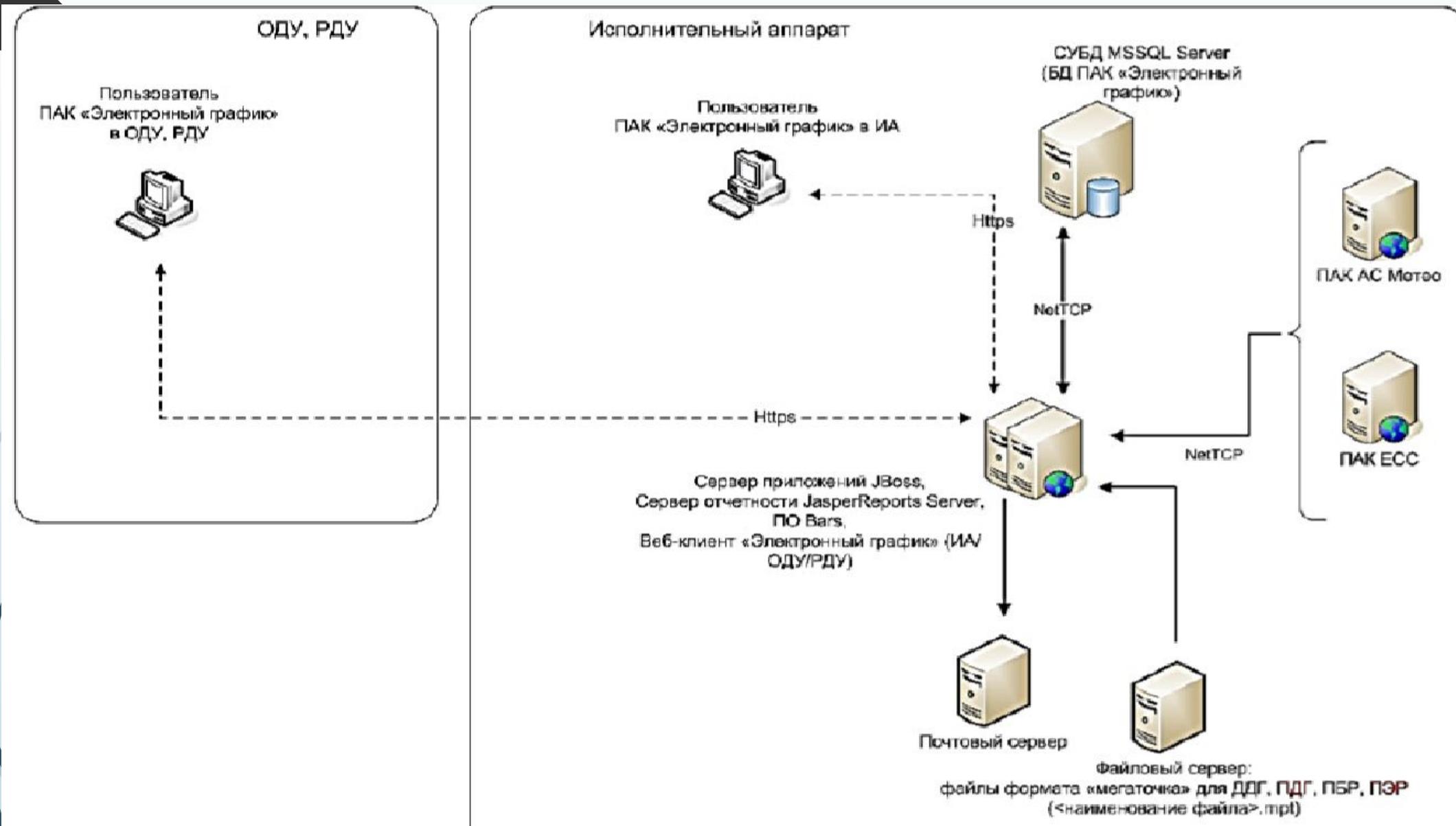
Расчет прогнозного диспетчерского графика (ПДГ) и предварительного плана балансирующего рынка (ППБР)



Технологическая схема расчета ПБР в день X



Структурная схема ПАК «Электронный график»



Технические средства формирования ПДГ и ППБР

Во всех диспетчерских центрах Системного оператора используются следующие программно-аппаратные комплексы (ПАК):

- ***ПАК «Система регистрации и межуровневого обмена командами диспетчерского управления, отчетной и плановой информацией на базе XML-сообщений» (ПАК «СРТ/СРПГ»);***
- ***ПАК «Формирование прогнозных диспетчерских графиков операционных зон диспетчерских центров Системного оператора (ПАК «Электронный график»);***
- ***ПАК «MODES-Terminal»;***
- ***оперативно-информационный комплекс СК-2007, который будет рассмотрен в гл. 5;***
- ***корпоративная интеграционно-транспортная система (КИТС),***

Интерфейс контроля выполнения ПБР

