

Релейная защита и автоматика энергосистем 2012  
29 - 31 мая 2012, ВВЦ, Москва



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

## Современные системы противоаварийной автоматики

---

Демчук Анатолий Тимофеевич, ОАО «СО ЕЭС»



# Причины, определяющие высокую значимость системы ПА ЕЭС России

2

## Особенности ЕЭС ЕЭС России

- реверсивность потоков активной мощности
- ограничение режимов условиями устойчивости
- необходимость передачи больших объемов электроэнергии на большие расстояния
- необходимость управления при нормативных возмущениях





**Обеспечение живучести энергосистемы при аварийных возмущениях**

**Повышение степени использования пропускной способности электрических сетей энергосистемы**



**ПА для повышения степени использования пропускной способности:**

- **Автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ)**

**ПА для обеспечения живучести:**

- **Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР);**
- **Автоматика ограничения снижения частоты (АОСЧ, включает в себя АЧР, АЧВР, ЧАПВ, ЧДА);**
- **Автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН);**
- **Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ);**
- **Автоматика ограничения повышения напряжения (АОПН);**
- **Автоматика ограничение перегрузки оборудования (АОПО)**



### **Совершенствование алгоритмов локальной автоматки:**

- *Уход от релейных принципов;*
- *Интеллектуализация*

### **Создание нового программно-технического комплекса ЛПА:**

- *Новая система обработки входных сигналов;*
- *Связь с АСУ ТП;*
- *Связь с ЦСПА*



## Принцип 2ДО в ЛАПНУ и ЦСПА при решении задач АПНУ

- *Избыточность управляющих воздействий;*
- *Ограничение режимов*

## Принцип 1ДО в ЦСПА

- *Эффективность;*
- *Возможность совершенствования*



## Пути повышения эффективности существующих видов ПА

7

- Внедрение современных программно-технических средств;
- Разработка высокоадаптивных алгоритмов ПА – за счёт повышения точности моделирования процессов в защищаемом объекте управления (детальный системный учёт влияющих факторов);
- Использование современных принципов построения архитектуры систем, выполняющих сложные расчёты в непрерывном режиме;
- Широкое применение возможностей СМНР и FACTS;
- Обеспечение определения УВ для нерасчётных возмущений – для недопущения каскадных аварий.



Таблица УВ от верхнего уровня ЦСПА





## Примеры ЛАПНУ. Управляющая таблица

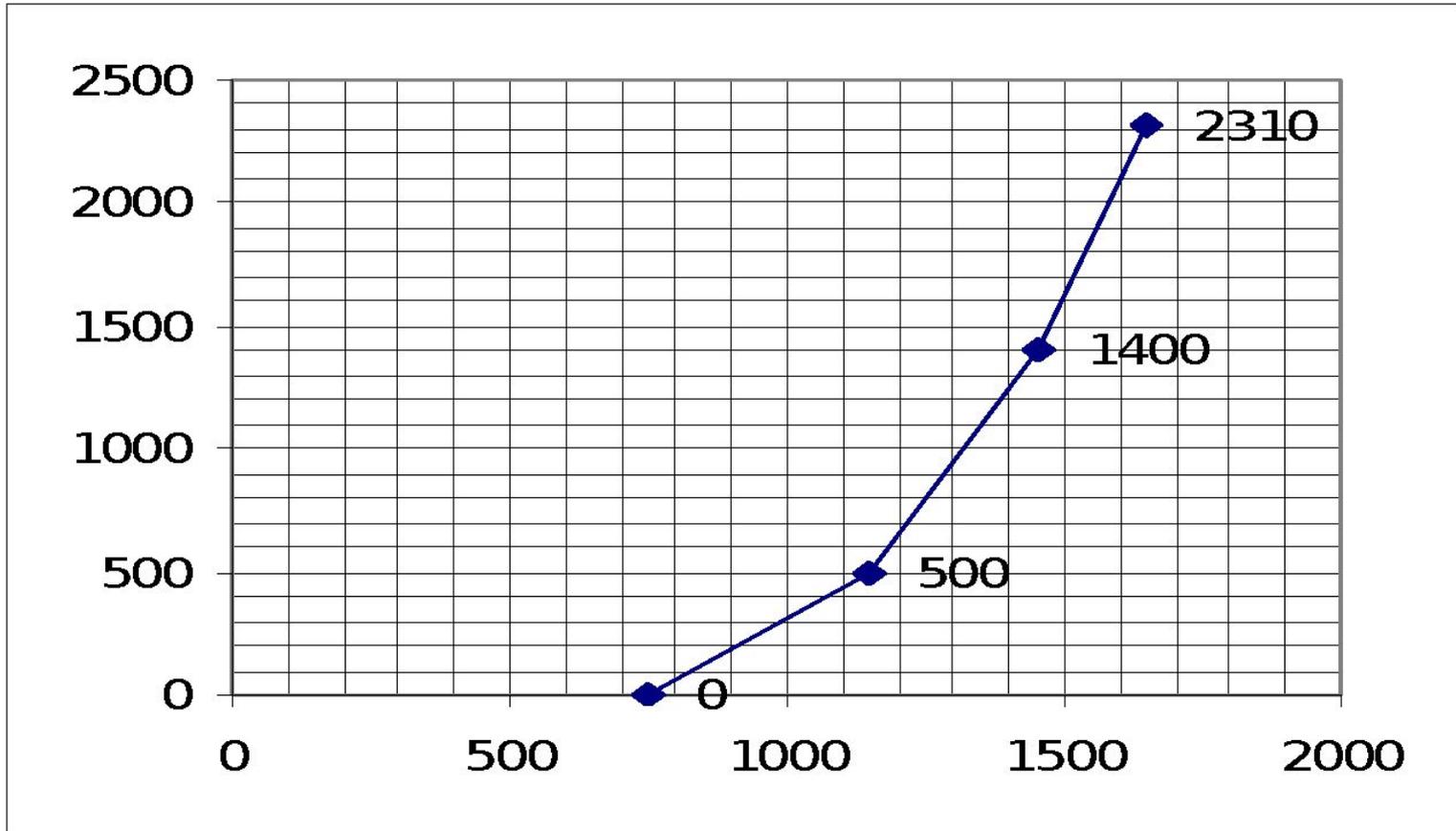
9

Схема сети, схема станции (Ncx)	Аварийное отключение ВЛ- 500, ВВ, С.Ш. (ЛПО) ЛПО	Действие УПА						
		Сечение	Номер хар-ки и знач. Ку		Очередность привлечения УВ (ОГ, РТ, ОН)			признак min ОГ (1- да, 0 – нет)
			№	Ку				
ВЛ-500 включены, все выключатели включены	18	-1	1	1,2	РТ1, РТ2, РТ3, РТуд	ОГ3, ОГ1, ОГ2		1
		+1	6				ОН1, ОН2, ...	-
		+3	7				ОН1, ОН2, ...	-
	33	-1	2	1,15	-	ОГ3, ОГ1, ОГ2		1
	23	-1	2	1,15	РТ1, РТ2, РТ3, РТуд	-		-



# Примеры ЛАПНУ. Настроечная характеристика УВ

$P_{ув}$  (МВт)



$P_{в\ сеч.}$  (МВт)



# Структура ЦСПА

Доаварийная телеинформация

Сигналы об аварийном отключении

Подсистема «Телемеханика»

Верхний уровень ЦСПА

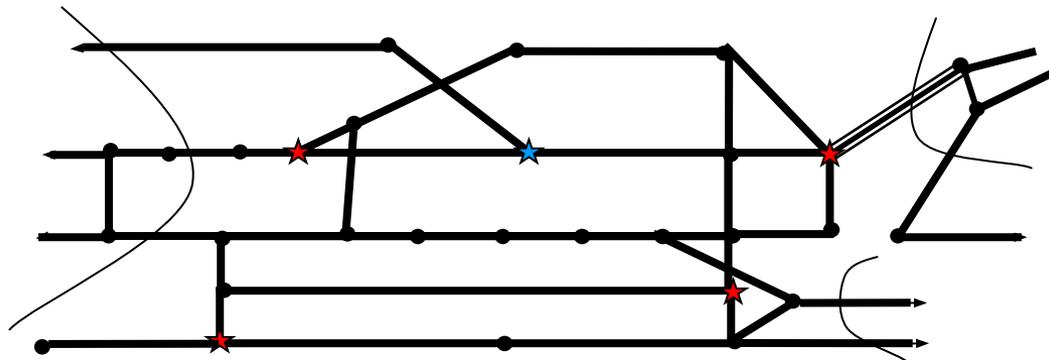
Низовой уровень ЦСПА  
(Удаленные контроллеры ПА)

Подсистема передачи аварийной и управляющей информации

В ОДУ  
(РДУ)

Команды управляющих воздействий

Объект управления – ОЭС (РЭС)





**Подсистема «Телемеханика»**

**Ввод телеинформации**

**Оценка телеинформации  
Получение достоверной  
картины режима**

**Расчет управляющих воздействий  
для каждого учитываемого  
аварийного возмущения**

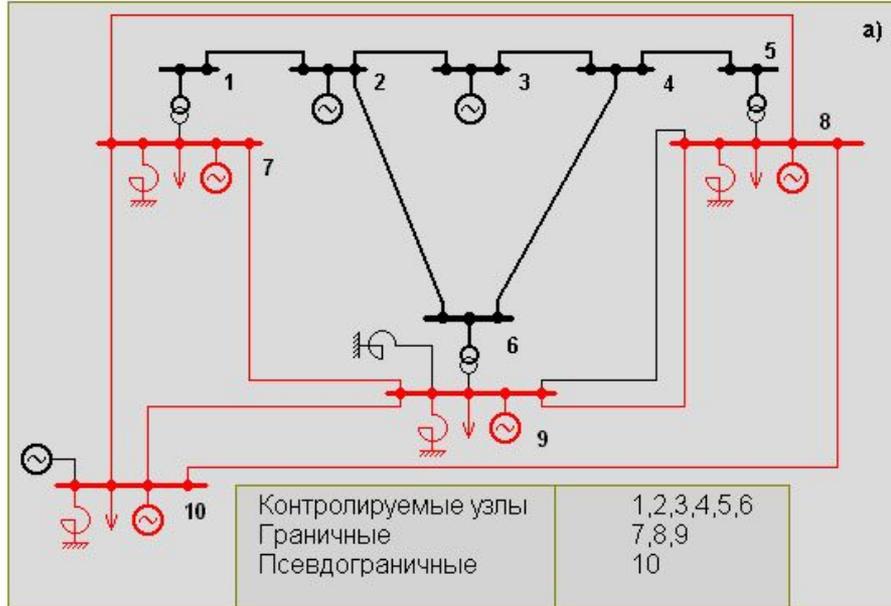


**Контроль диспетчера**

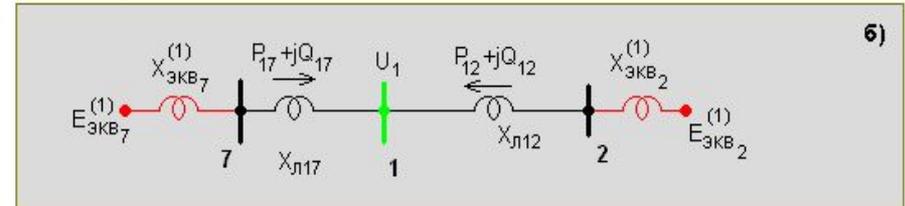
*Вывод решений на низовой уровень ЦСПА (удаленный контроллер  
противоаварийной автоматики)*



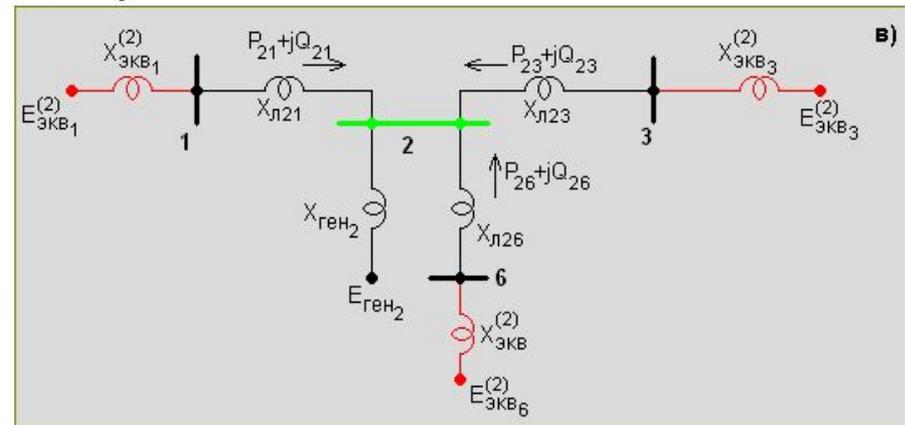
Расчетная схема ЭС



Модель узла 1



Модель узла 2



Расчёт проводимостей эквивалентных генераторов:

$$\bar{Y} \cdot \bar{U}_i = \bar{I}_i \quad , \text{ где } i = [1, \text{Нузл.}]$$

$$\bar{I}_i = (0, 0, \dots, j_i = 1, \dots, 0)$$

$$\bar{U}_i = \bar{Y}^{-1} \cdot \bar{I}_i$$

$$Y_{экв,ijk} = Y_{i-jk} \left( \frac{U_i}{U_{jk}} - 1 \right)$$

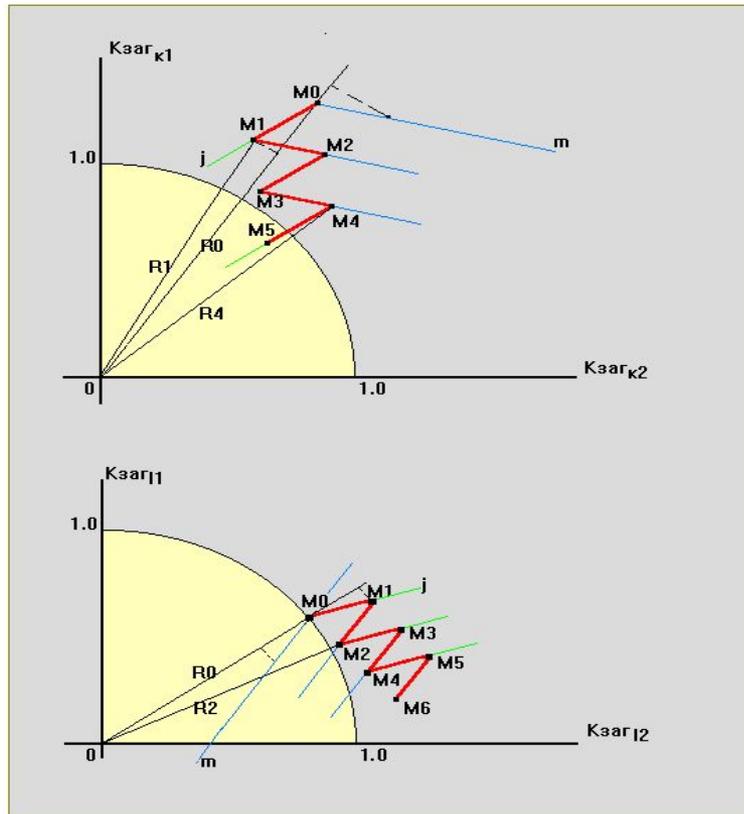


## ДИАГРАММА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УЗЛОВОЙ МОДЕЛИ

### Расходящийся процесс

Диаграмма поиска оптимального управления для совокупности двух узловых моделей

Расходящийся процесс



$$F_k^{(j)} = \sum_{i=1}^n \frac{KP_i^{(j)} \cdot K_{заг_i}}{P_{max_i}}$$

где  $F_k^{(j)}$  - проекция вектора изменения режима при управлении на радиус-вектор ПАР;

$\frac{KP_i^{(j)}}{P_{max_i}}$  - изменение  $K_{заг}$   $i$ -го луча звезды при единичном управлении в  $j$ -м узле.

Ранжировка по совокупности всех звезд

$$\Phi^{(j)} = \sum_i \gamma_i F_i^{(j)}$$

где  $i$  – номер звезды из «черного» списка;

$\gamma_i$  – коэффициент, характеризующий тяжесть режима  $i$ -й звезды.

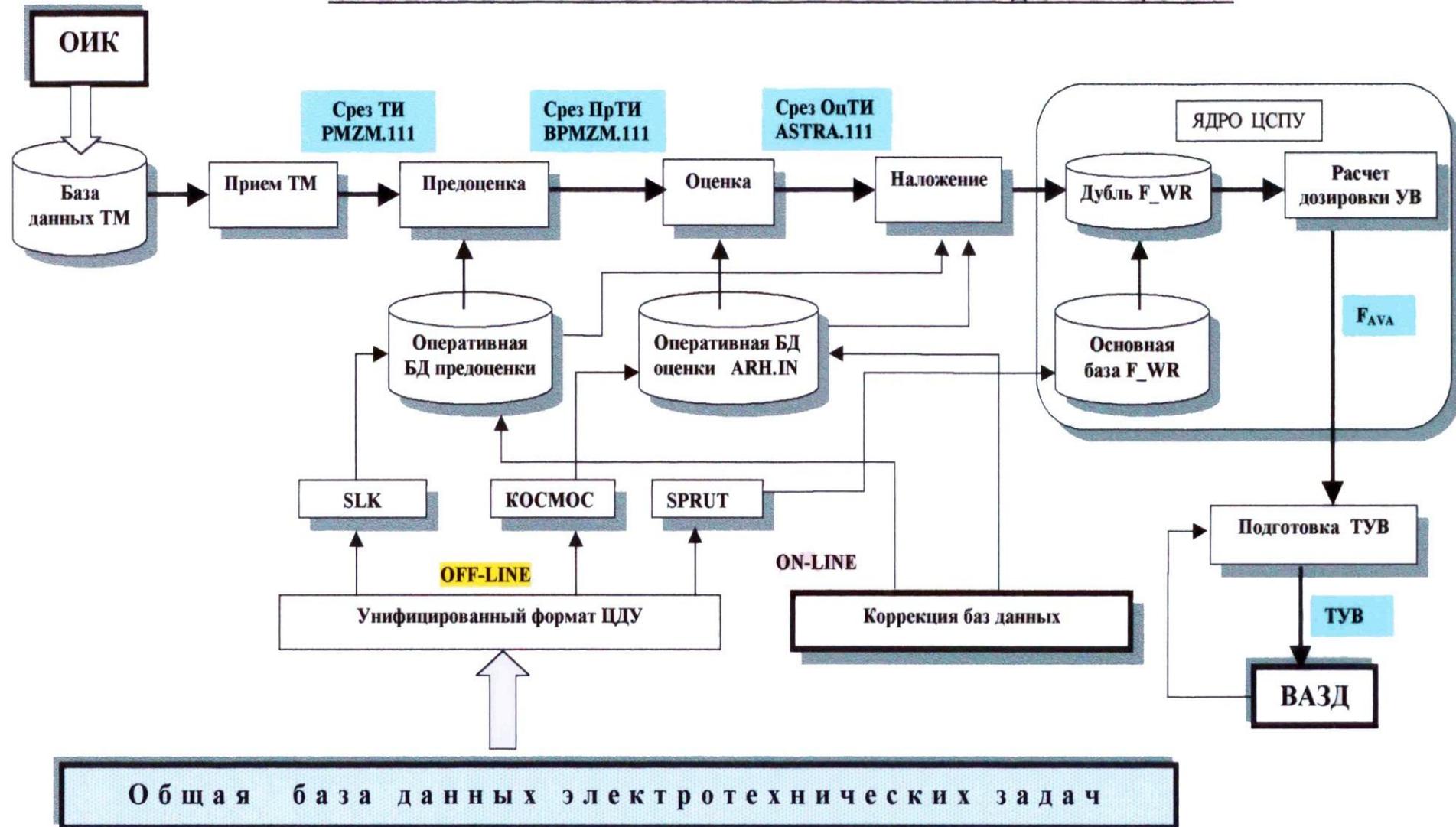
Условие выбора места очередной ступени УВ

$$\Phi^{j \max} = \max_j \{ \alpha_j \beta_{jm} \Phi^{(j)} \}$$



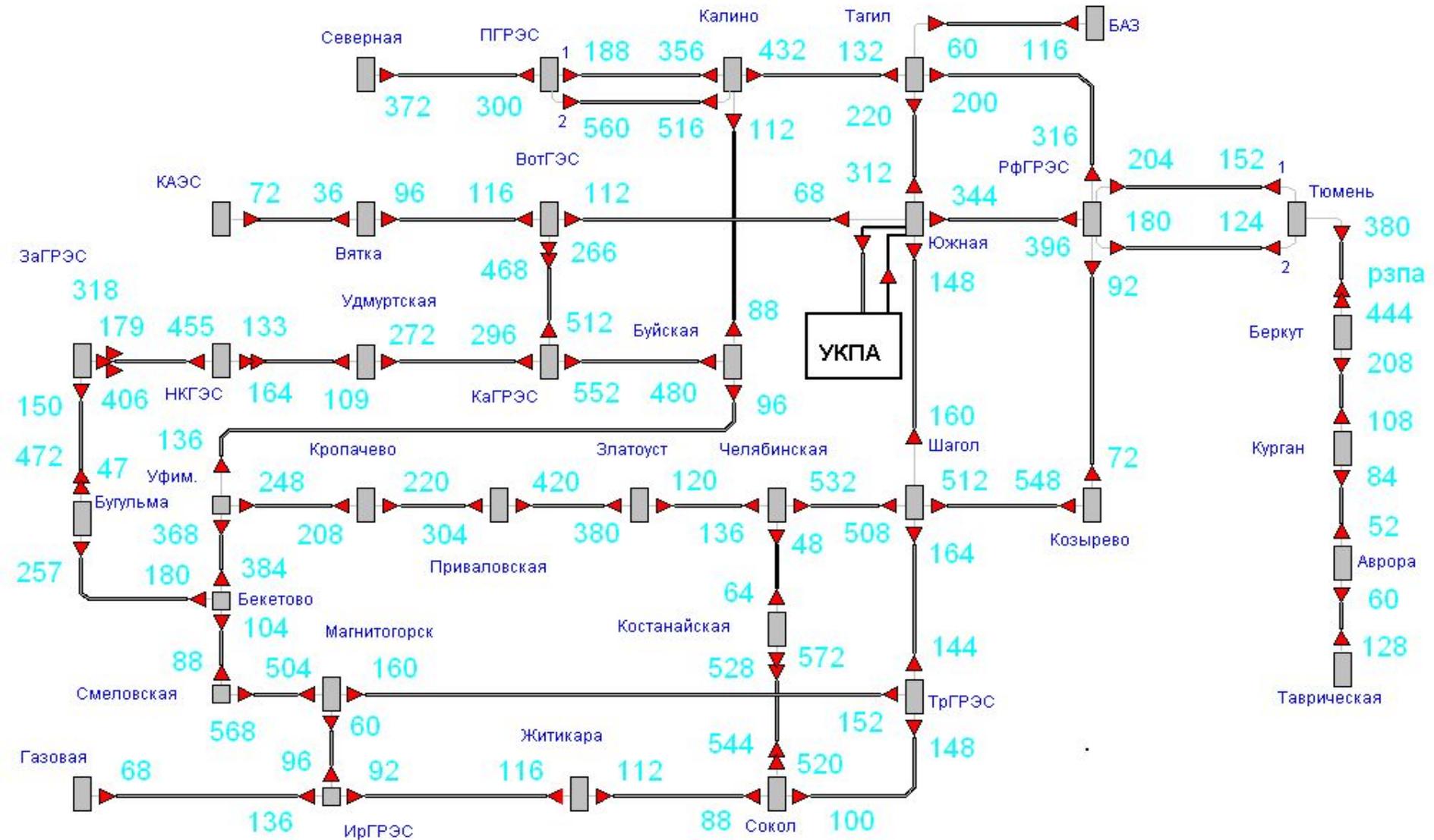
# Архитектура технических средств

## АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ЦСПУ





# Система передачи аварийной и управляющей информации





Основная цель разработки ЦСПА нового поколения – повышение точности и сокращение избыточности управляющих воздействий (снижение ущерба) и расширение области допустимых режимов работы энергосистемы при ограниченном объеме УВ.

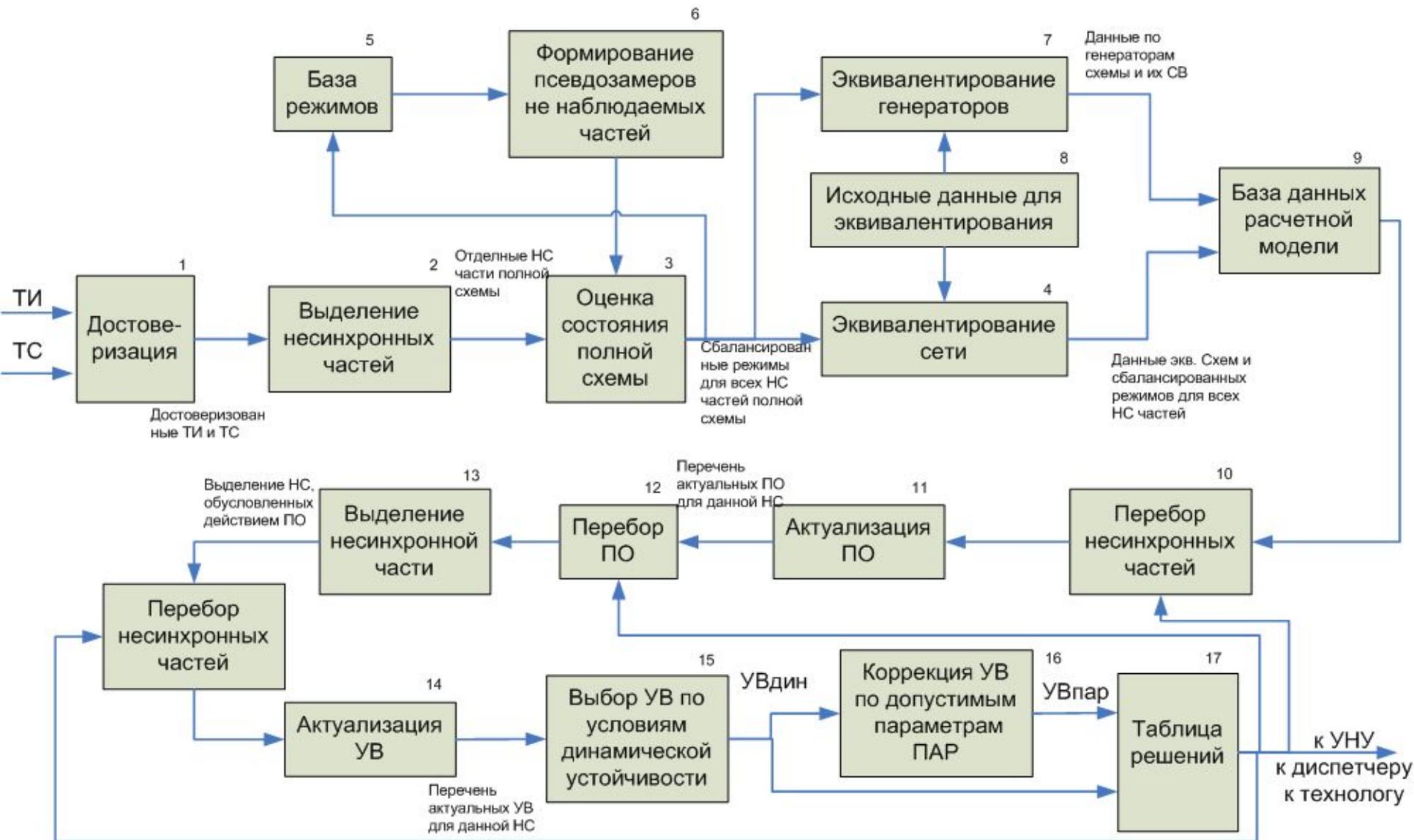
Основная задача, для достижения указанной цели - разработка универсальных алгоритмов расчета УВ по условиям статической и динамической устойчивости с учетом:

- нормативных запасов устойчивости по активной мощности и напряжению и ограничений по токовой загрузке элементов сети;
- динамической составляющей аварийных процессов, обусловленной как короткими замыканиями, так и действиями линейной автоматики для локализации аварийного возмущения (АПВ) на базе подробных (общепринятых) моделей основных элементов и средств регулирования и автоматики энергосистем.

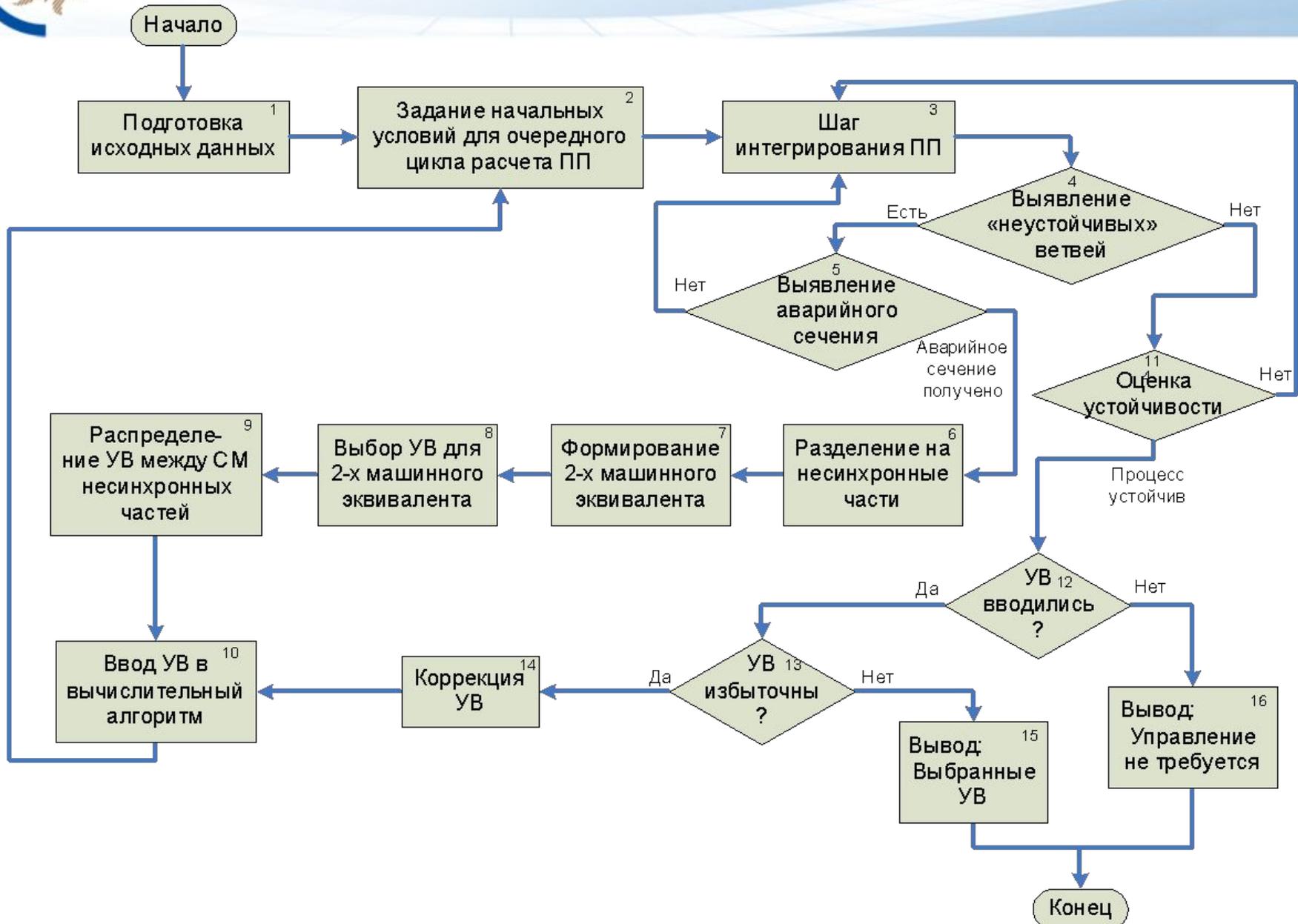


# Общая функциональная схема технологического алгоритма ЦСПА

18



# Функциональная схема алгоритма выбора УВ по условиям динамической устойчивости





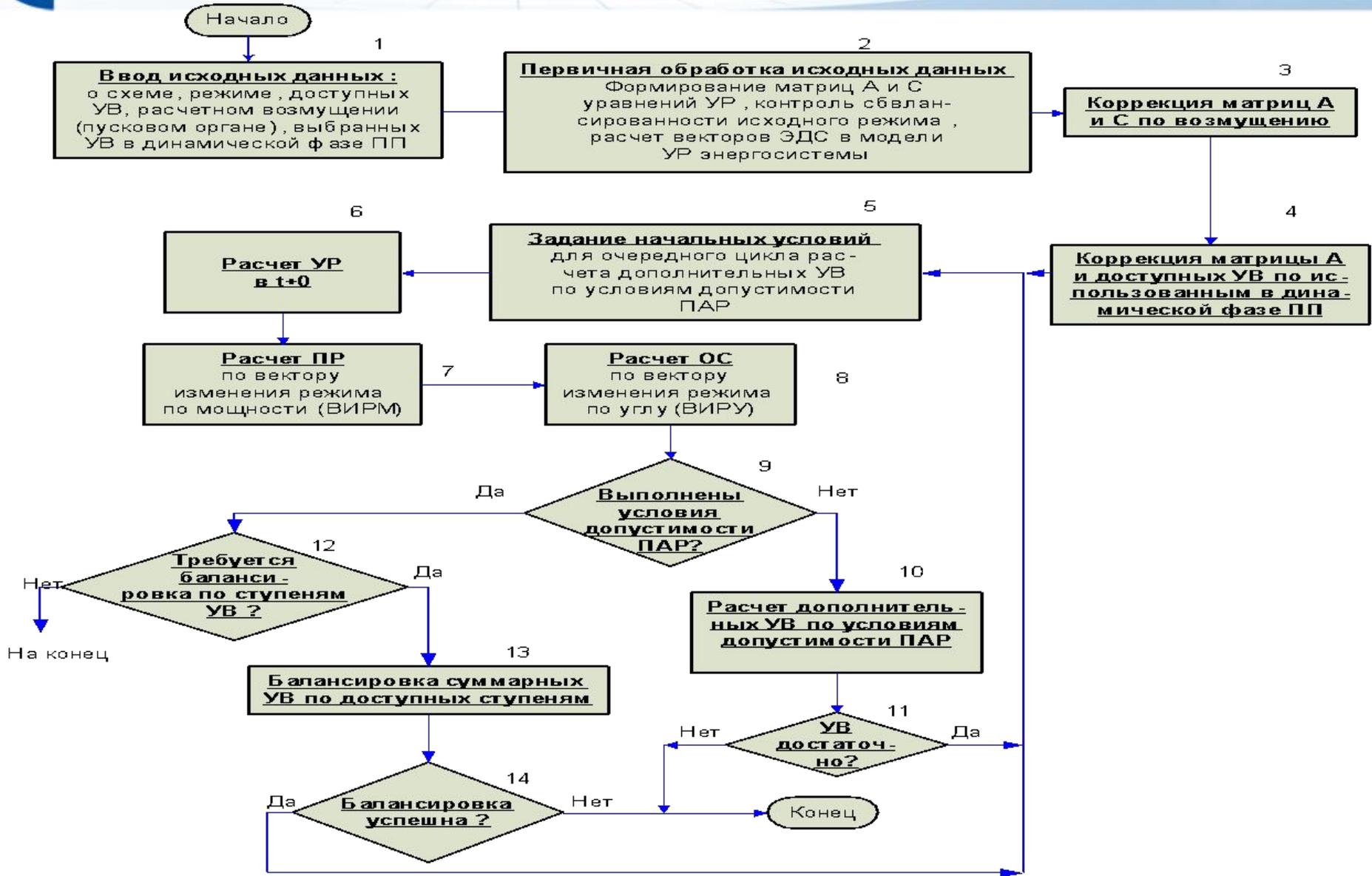
## Модели элементов для расчета динамической устойчивости

20

<b>Генераторы</b>	<p>Полными уравнениями с АРВ и СВ без моделей турбин. Возможно задание E за X.</p> <p>В дальнейшем – модели турбин (упрощенные) с АРС</p>
<b>Нагрузки</b>	<p>Статическими характеристиками и синхронными двигателями.</p> <p>В дальнейшем для ограниченного числа нагрузок – асинхронный двигатель + шунт.</p>
<b>Аварийные возмущения</b>	<p>Изменение (отключение) генераторов, изменение нагрузок, включение/отключение шунтов в узлах (КЗ), отключение ветвей.</p>
<b>УВ</b>	<p>Изменение генераторов, отключение генераторов, изменение нагрузок, электрическое торможение.</p> <p>Учет запаздывания на ввод УВ.</p> <p>В дальнейшем – импульсная разгрузка</p>



# Функциональная схема алгоритма расчета УВ по условиям допустимости ПАР

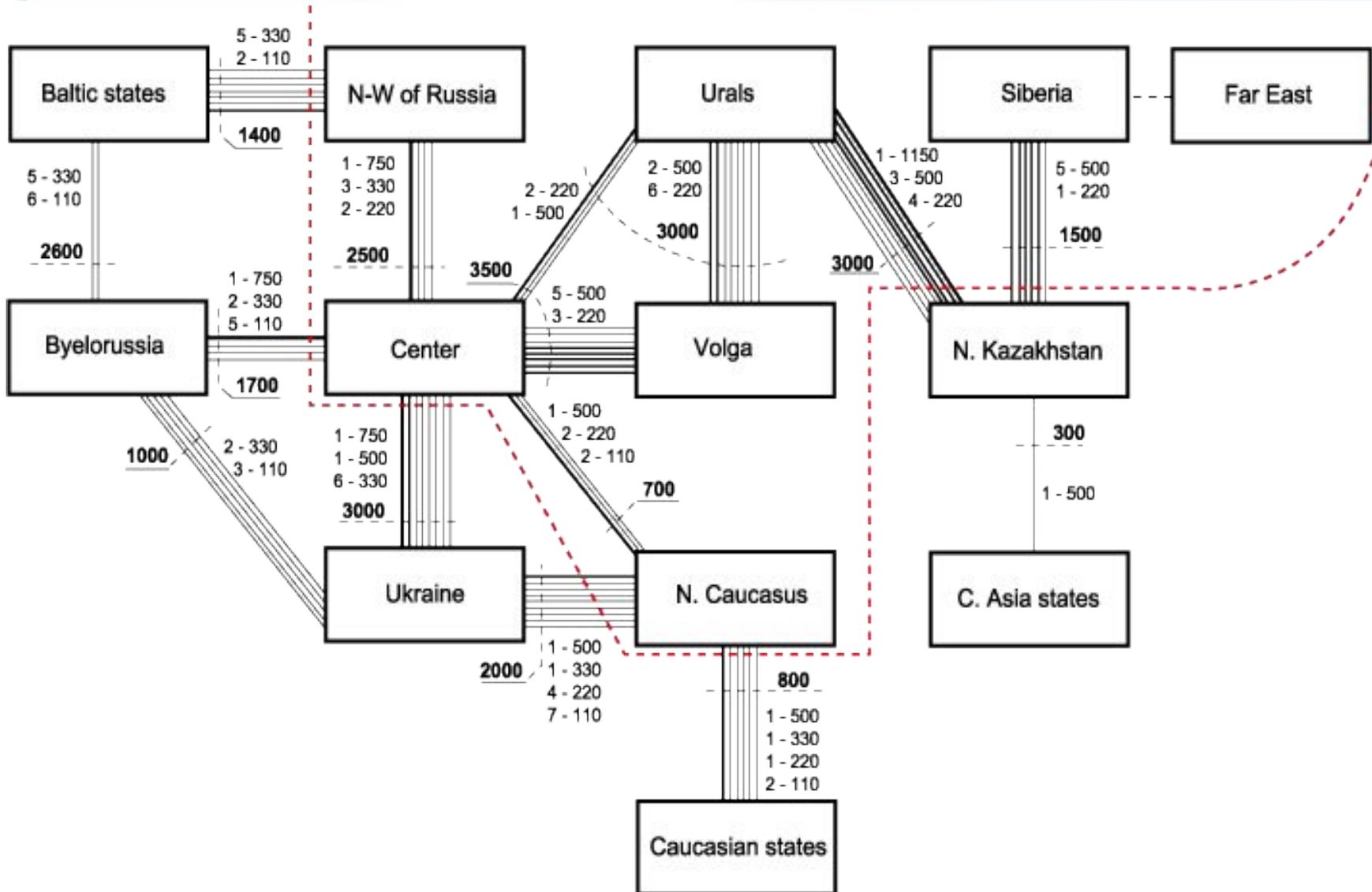




<b>Генераторы</b>	Е за Х. Мощность (турбины) с учетом регулирующего эффекта по частоте
<b>Нагрузки</b>	Статическими характеристиками по напряжению и частоте
<b>Аварийные возмущения</b>	Определяется блоком расчета динамической фазы переходного процесса
<b>УВ</b>	Изменение генераторов, отключение генераторов, изменение нагрузок



# Структура ЕЭС/ОЭС





- **Создание координирующей системы противоаварийной автоматики (КСПА) ЕЭС России, для эффективной координации ЦСПА ОЭС и РЭС путём обеспечения этих ЦСПА текущими значениями:**
  - ▣ **внешних эквивалентов для расчётных моделей зон, защищаемых ЦСПА;**
  - ▣ **максимально-допустимых небалансов при реализации управляющих воздействий ЦСПА;**
  - ▣ **максимально допустимых набросов мощности при отключении ВЛ на транзитные связи зон, защищаемых соседними ЦСПА,**  
**(сроки создания 2013-2016);**
- **Разработка и реализация принципов противоаварийного управления энергосистемами мегаполисов(2012-2014)**
- **Создание автоматики восстановления электроснабжения погашенных энергорайонов (2013-2015)**



- **ПА является важнейшим необходимым элементом системы управления режимами ЕЭС России.**
- **Эффективное развитие энергосистем возможно только на основе комплексного подхода, гармонично сочетающего как строительство генерации и сетей, так и внедрение систем управление режимами, исключительно важную роль среди которых играют системы ПА.**



# www.so-ups.ru

## Оперативная информация о работе ЕЭС России

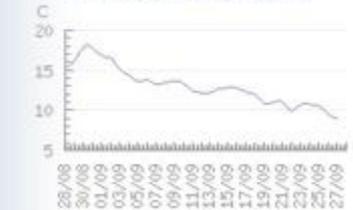


### Индикаторы ЕЭС

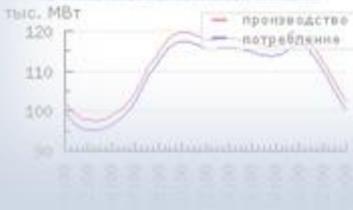
Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



План генерации и потребления



### Новости Системного оператора

25.09.2011 16:27  
Рязанское РДУ приняло участие в тренировке по ликвидации аварий в региональной энергосистеме  
Ситуация в Рязанской энергосистеме сложилась в условиях аномально низких температур.

23.09.2011 14:45  
Системный оператор провел натурные испытания Единой энергосистемы России  
Цели испытаний - проверка фактического действия систем параллельного регулирования генерирующего оборудования, оценка влияния ввода услуг по нормированному параллельному регулированию частоты на характеристики ЕЭС России, определение частных характеристик ЕЭС России и энергосистем стран-участниц параллельной работы с ЕЭС России.

23.09.2011 11:18  
Курское РДУ приняло участие в ликвидации условного нарушения электроснабжения потребителей города Курска и Курской области  
22 сентября в рамках подготовки к прохождению осенне-зимнего периода 2011/2012 г. состоялась тренировка по ликвидации условного нарушения электроснабжения потребителей города Курска и Курской области. В ней приняли участие представители региональных энергетических компаний, сотрудники ГУ МЧС России по Курской области и работники коммунальных служб города Курска.

**Демчук Анатолий Тимофеевич, ОАО «СО ЕЭС»**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ САЙТ  
КОНКУРЕНТНОГО  
ОТБОРА МОЩНОСТИ

САЙТ  
БАЛАНСИРУЮЩЕГО РЫНКА

ВАКАНСИИ

РАСКРЫТИЕ  
ИНФОРМАЦИИ

NEWS  
ПОДПИСКА НА НОВОСТИ

МИНЭНЕРГО РОССИИ