

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА
КООРДИНАЦИИ РЕЖИМОВ И
УПРАВЛЕНИЯ ИМИ В КОНЦЕПЦИИ
Smart Grid**

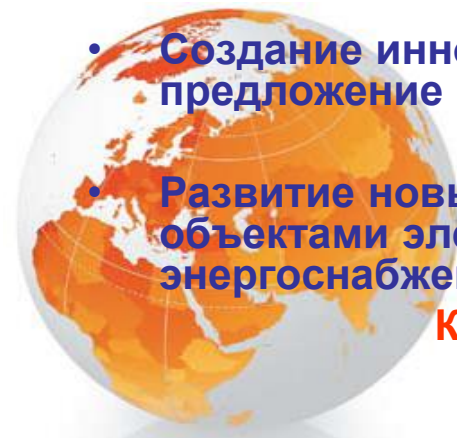




КЛЮЧЕВЫЕ ЗАДАЧИ Smart Grid

- Создание недискриминационных стимулов для развития потенциала для всех участников модернизации ЭЭС и, в первую очередь, для потребителей.
- Масштабная модернизация электроэнергетики через внедрение инновационных технологий и решений, включая новые методы управления.
- Создание принципиально новой технологической платформы энергообъединений, включая модернизированную электрическую сеть с активно-адаптивными элементами.
- Оптимизация соотношения структур централизованной и распределенной энергетики.
- Создание инновационных видов услуг, обеспечивающих лучшее ценовое предложение и разнообразие выбора для субъектов рынков электроэнергии.
- Развитие новых принципов и алгоритмов технологического управления объектами электроэнергетики с целью обеспечения надежности энергоснабжения и качества электроэнергии.

Ключ: создание непротиворечивой интеллектуальной платформы для принятия решений в целях развития ЕЭС России.





ЦЕЛИ ВНЕДРЕНИЯ

Экономические риски субъектов энергорынков зависят от условий параллельной работы ЭЭС, а также регламентов оптового и розничных рынков электроэнергии.

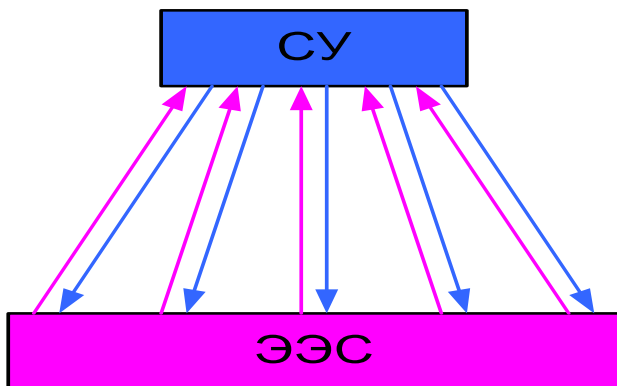
- Соответствующая система координации должна обеспечить совместное решение задач расчета и планирования балансов (режимов) работы энергообъединений. Целевая задача координации – определение оптимальных значений и предельных ограничений для каждого субъекта (как производителей, так и потребителей электроэнергии).
- Режим торговли (значения перетоков мощности и цены за продаваемую / покупаемую электроэнергию в пределах каждого часа) может быть сформулирован как математическая задача, не требующая для своего решения передачи информации в централизованную систему управления.
- При реализации этой задачи сохраняются полномочия и функции операторов рынков электроэнергии, решающих задачи внутренних рынков в пределах зоны ответственности.
- Экономический эффект, получаемый в результате совместной координации (оптимизации) условий параллельной работы энергосистем и сетей, может являться основой для взаимовыгодных партнерских отношений при планировании и реализации перетоков электроэнергии в ЭЭС.



СУЩЕСТВУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ КООРДИНАЦИИ РЕЖИМОВ

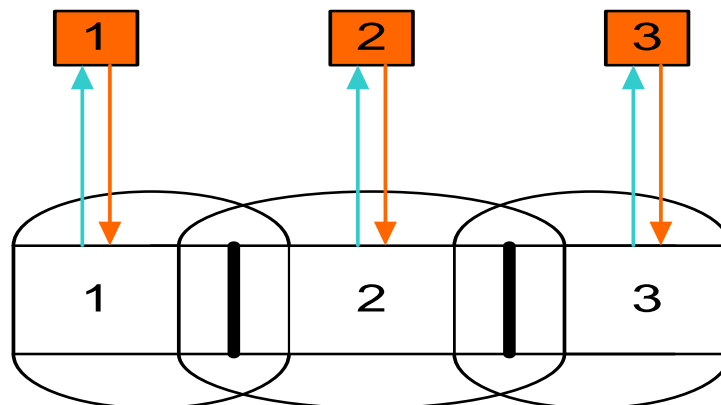
Система координации должна обеспечить совместное решение задач расчета и планирования режимов работы энергообъединений.

Централизованная



Эта система обеспечивает совместное решение задач расчета и планирования режимов работы энергообъединений только при условии передачи всех данных в единый центр управления.

Децентрализованная



Эта система обеспечивает совместное решение задач расчета и планирования режимов работы энергообъединений только при условии «бинарных» согласований результатов каждым из центров управления.



КОНЦЕПЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В условиях распределенных объектов электроэнергетики и (или) рынков электроэнергии и центров их управления требуется создание и внедрение новых условий и форм недискриминационного вовлечения объектов управления в процесс обеспечения надежной и экономичной работы энергообъединений.

Отличительные свойства концепции распределенной системы, основанной на принципах функционального моделирования, в сравнении с централизованной и децентрализованной системами управления:

- Каждая часть энергосистемы (электрической сети) представляет собой иерархическую подсистему.
- Расчет оптимального режима сети для каждой подсистемы выполняется самостоятельно на компьютере, находящемся в пределах данной подсистемы.
- Расчет оптимальных потоков мощности между подсистемами выполняется компьютером верхнего уровня, решающим задачу оптимизации, имеющую размерность числа граничных переменных.





СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА





ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА И КООРДИНАЦИИ РЕЖИМОВ

- Распределенная система расчета и планирования построена и функционирует как иерархическая структура, в которой компьютеры нижнего уровня выполняют операции с системами уравнений подсистем, а компьютер верхнего уровня выполняет операции с системой уравнений связи, в которую входят только граничные переменные (перетоки мощности между подсистемами).

Передача данных между нижним и верхним уровнями организована следующим образом:

с нижнего уровня на верхний передаются данные о функциональных характеристиках подсистем



с верхнего уровня на нижний передаются данные о вычисленных значениях граничных переменных





ОРГАНИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

1. Формирование систем уравнений подсистем и расчет функциональных характеристик каждой подсистемы на компьютерах нижнего уровня.



2. Передача функциональных характеристик подсистем по каналам связи из компьютеров нижнего уровня в компьютер верхнего уровня.



3. Формирование и решение систем уравнений связи на центральном компьютере верхнего уровня.



4. Передача данных о значениях граничных переменных из компьютера верхнего уровня в компьютеры нижнего уровня.



5. Расчет значений внутренних переменных подсистем в компьютерах нижнего уровня.



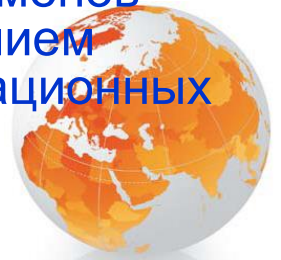


ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СРЕДА

- **Компоненты архитектуры** : координирующий процесс, локальный диспетчер, клиентская библиотека и средства мониторинга.
- Взаимодействие компонентов осуществляется по собственному протоколу, реализованному поверх протокольного стека TCP/IP, применяемого в глобальных компьютерных сетях.

Основные функции :

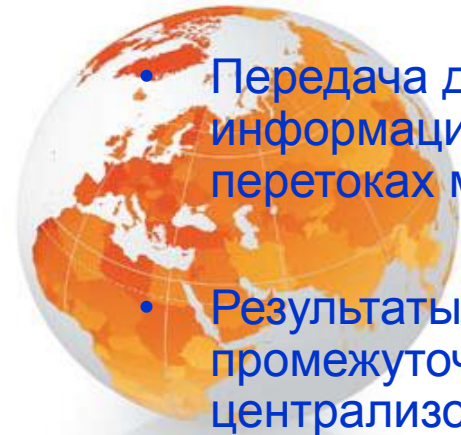
1. Отслеживание доступных вычислительных ресурсов с возможностью их динамического подключения и отключения.
2. Обмен между параллельными процессами задачи.
3. Удаленный запуск параллельных процессов по событию запуска одного из них.
4. Мониторинг хода выполнения задачи с отслеживанием обменов данными между параллельными процессами и обнаружением логической некорректности в программировании информационных обменов.





СВОЙСТВА ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

- Все вычисления, относящиеся к расчету режима подсистем, выполняются в параллельном режиме на компьютерах нижнего уровня.
- Все исходные и конечные данные, относящиеся к режиму подсистем, сохраняются в компьютерах нижнего уровня.
- Расчет оптимальных значений перетоков мощности между подсистемами выполняется на компьютере верхнего уровня.
- Передача данных между компьютерами ограничивается информацией о функциональных характеристиках подсистем и перетоках мощности между подсистемами.
- Результаты расчетов в распределенной системе (конечные и промежуточные) совпадают с результатами расчетов в централизованной системе.





АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭЭС

1. Формирование систем уравнений подсистем на основе базового алгоритма Ньютона-Рафсона, в которых приращения граничных переменных представляются как неизвестные величины.
2. Исключение внутренних переменных и получение функциональных характеристик подсистем в виде уравнений, представляющих соотношения между векторами граничных переменных при выполнении условия компенсации невязок внутренних переменных в подсистемах.
3. Формирование системы уравнений связи, имеющей размерность числа граничных переменных, с помощью подстановки выражений из функциональных характеристик подсистем в уравнения закона Кирхгофа для граничных переменных и решение этой системы уравнений.
4. Подстановка вычисленных значений приращений граничных переменных и определение приращений внутренних переменных с помощью выполнения обратного хода по Гауссу в системах уравнений подсистем.



РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВЫХ РАСЧЕТОВ

- Выполнены расчеты установившихся режимов для ЭЭС, имеющей расчетные схемы в 1430 узлов (модель ЭЭС Казахстана, России и Беларуси).
- Общее время функционирования распределенной системы, включающее настройку системы и проведение итерационного вычислительного процесса, составляло от 9 сек до 15 сек.
- Результаты расчетов установившихся режимов энергообъединений, выполненные при одинаковом представлении элементов энергосистем в распределенной системе и в централизованной системе, полностью совпадают.
- Сходимость итерационных процессов расчетов установившихся режимов энергообъединений в распределенной системе идентична сходимости этих процессов в централизованной системе, выполняющей расчет режимов по базовому алгоритму Ньютона – Рафсона (комплексы МУСТАНГ и РАСТР).



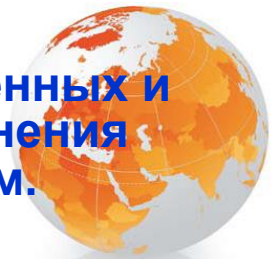
АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЭС

1. Формирование систем уравнений подсистем на основе алгоритма Ньютона с учетом условия оптимальности внутреннего режима подсистем при представлении граничных переменных как неизвестных величин.

2. Исключение внутренних переменных и получение функциональных характеристик подсистем в виде уравнений, представляющих соотношения между векторами граничных переменных при выполнении условий оптимальности внутреннего режима подсистем.

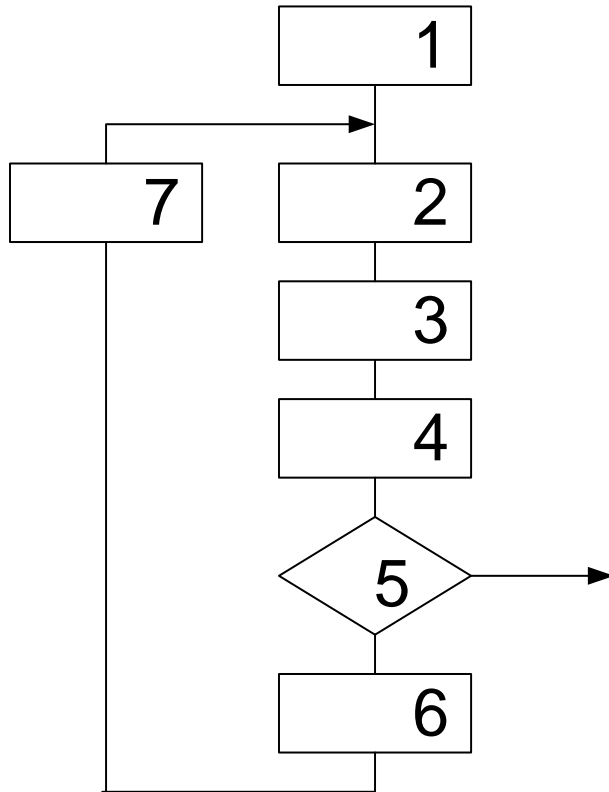
3. Формирование системы уравнений связи, имеющей размерность числа граничных переменных, с помощью подстановки выражений из функциональных характеристик подсистем в уравнения, составленные из условия оптимальности значений граничных переменных, и решение этой системы уравнений.

4. Подстановка вычисленных значений граничных переменных и определение внутренних переменных с помощью выполнения обратного хода по Гауссу в системах уравнений подсистем.





СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИЕРАРХИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ



- 1. Установка начальных значений внутренних переменных.
- 2. Формирование уравнений, представляющих оптимальный режим подсистем.
- 3. Расчет функциональных характеристик подсистем.
- 4. Формирование систем уравнений связи.
- 5. Проверка выполнения условий окончания итерационного процесса.
- 6. Решение систем уравнений связи.
- 7. Расчет внутренних переменных подсистем.





РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ

- Программное обеспечение имеет форму распределенных программных комплексов, включающих вычислительные модули, выполняемые на компьютерах подсистем (энергосистем) и компьютере верхнего уровня, а также модули сетевого взаимодействия, осуществляющие координацию действий, выполняемых компьютерами в распределенной системе, и передачу данных между ними.
- **К настоящему времени:**
 - 1) разработаны версии данных комплексов для решения задач расчета электрических режимов и оценивания состояния энергообъединений, а также задачи оптимизации режима по активной мощности;
 - 2) определены подходы к включению в программное обеспечение вычислительных модулей, решающих задачи оптимизации параметров активных элементов электрической сети.





ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА, КООРДИНАЦИИ РЕЖИМОВ И УПРАВЛЕНИЯ

- 1. Обеспечение глобальной оптимальности режимов и параметров энергообъединений, энергосистем и распределительных электрических сетей.
- 2. Обеспечение оптимальности режимов энергосистем в центрах управления энергосистем (режимов сетей в центрах управления сетями) при параллельном их функционировании в составе распределенной системы в пределах зоны ответственности.
- 3. Уменьшение необходимого объема передаваемой информации, повышение надежности и уменьшение стоимости расчетов по сравнению с централизованной системой.
- 4. Возможность сохранения полномочий и функций центров управления энергосистем при применении данной системы в больших энергообъединениях.





ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- 1. *Суханов О.А., Шаров Ю.В.* Иерархические модели в анализе и управлении режимами электроэнергетических систем. М.: Издательский дом МЭИ , 2007. 312 с.
- 2. *Makeechev V.A., Soukhanov O.A., Sharov Y.V.* Hierarchical algorithms of functional modeling for solution of optimal operation problems in electrical power systems. Int. J. Electric Power Energy Syst., 2008 Vol. 6.
- 3. Патент Российской Федерации № 2 270 469. *Макеечев В.А., Суханов О.А.* Система управления режимами электроэнергетических систем. 20.02.2006, Бюллетень №5.
- 4. Патент США № 7 489 989. *Макеечев В.А., Суханов О.А., Шаров Ю.В.* Система управления режимами больших электроэнергетических систем. 10.02.2009.





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- **1. Реализация объединения малых и больших энергосистем с различными техническими характеристиками нетривиальна - ее техническая и экономическая эффективность зависит от принятых технологий объединения и управления.**
- **2. Внедрение распределенных источников энергии, включая ВИЭ, требует создания инновационных методов мониторинга и управления – НОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ.**
- **3. Совместное развитие новых концепций, средств и устройств мониторинга, моделирования и управления в рамках проектов распределенной энергетики будет способствовать реализации инжиниринга коммерческих проектов.**
- **4. Распределенная система расчетов и планирования режимов энергообъединений и управления ими - основа «дорожной карты» для решения задач в концепции Smart Grid.**



ООО «ИНТЕР РАО - Инжиниринг»
Макеечев В.А.
Шаров Ю.В.
ООО «Распределенные технологии»
Суханов О.А



**Спасибо
за внимание!**

Vasily A. Makeechev, LLC INTER RAO Engineering, Management of Complex Solutions for Power Generation, Senior expert

Yury V. Sharov, INTER RAO UES Group, Member of the Management Board, Head of Engineering Unit, LLC INTER RAO Engineering, General Director

Oleg A. Soukhanov, LLC Distributed Technologies, General Director

E-mail: makeechev@yandex.ru; soukh@enersys.ru