

*Б.И. Гвоздев,
ветеран ОДУ Сибири, начальник службы релейной защиты
и автоматики с 1978 по 2006 г.*

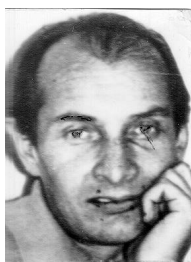
*Е.В. Пусенков,
ведущий эксперт службы релейной защиты и автоматики*

О создании и развитии Централизованной системы автоматического регулирования частоты и мощности ОЭС Сибири

Централизованная система автоматического вторичного регулирования частоты и перетоков активной мощности ОЭС Сибири (далее – ЦС АРЧМ) предназначена для автоматизации управления режимом Объединенной энергосистемы Сибири. Система обеспечивает участие регулирующих электростанций (РЭС), подключенных под ее управление, в автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности (АВРЧМ) в контролируемых сечениях ОЭС Сибири.

В разное время в создании и обслуживании ЦС АРЧМ ОЭС Сибири принимали участие:

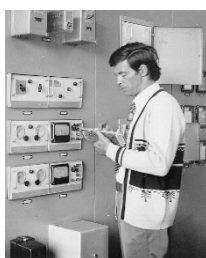
Служба РЗА



Шевченко В.С.



Берлин И.Б.



Изотов В.И.



Могильников Н.Н.



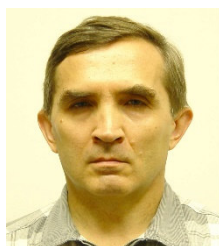
Гвоздев Б.И.

Служба ТМиС



Трамбицкий А.А.

1966 – 1983



Шалагинов Д.А.

1965 – 2004



Михайлов П.М.

1977 – 1982



Шаврин В.А.

1977 – 1982

Объединенная энергосистема Сибири расположена на территории Восточной и Западной Сибири и имеет протяженность более 4 тыс. км в широтном направлении, охватывая полностью 4 часовых пояса.

В состав ОЭС Сибири входит 10 энергосистем, общая установленная мощность которых более 51 800 МВт.

В ОЭС Сибири работают крупнейшие гидроэлектростанции России: Саяно-Шушенская ГЭС, Красноярская ГЭС, Усть-Илимская ГЭС, Богучанская ГЭС, а также Братская ГЭС с многолетним регулированием уровня водохранилища. Это в немалой степени способствует тому, что ОЭС Сибири имеет самую эффективно действующую систему автоматического регулирования частоты и перетоков мощности энергообъединения.

Первый автоматический регулятор перетока активной мощности в ОЭС Сибири был создан в 1962 году на базе магнитных усилителей. Он обеспечивал поддержание в заданных пределах межсистемного перетока по ВЛ 110 кВ между Иркутской и Красноярской энергосистемами путем воздействия на Иркутскую ГЭС. В 1966 году был введен ограничитель перетока мощности (АОП) по межсистемной ВЛ 220 кВ (в габаритах 500 кВ) Красноярск – Кузбасс, с воздействием на изменение мощности Братской и Новосибирской ГЭС.

В 1968 – 1970 гг. по проекту МОАСУ «Энергосетьпроект» в ОДУ Сибири была введена централизованная система АРЧМ на интегральных аналоговых элементах, которая включала в себя автоматический регулятор частоты (АРЧ), ограничители перетока мощности (АОП) по электропередачам Иркутск – Красноярск, Красноярск – Кузбасс, Братск – Иркутск и комплексный автоматический регулятор перетока и частоты на электропередаче Иркутск – Красноярск. Система использовала быстродействующие каналы телемеханики на аппаратуре УТК-1 и воздействовала на изменение мощности Братской, Новосибирской и Иркутской ГЭС. Были подготовлены и испытаны устройства воздействия от АРЧМ на Томь-Усинскую и Южно-Кузбасскую ГРЭС. В дальнейшем к системе АРЧМ были подключены Красноярская, Усть-Илимская ГЭС. В то же время из-за малой эффективности были отключены от АРЧМ Иркутская ГЭС, Новосибирская ГЭС, Томь-Усинская ГРЭС и Южно-Кузбасская ГРЭС.

В 1978 году были кардинально заменены технические средства ЦС АРЧМ в ОДУ Сибири. Прием-передача сигналов ТИ-ТС для АРЧМ была осуществлена через ЭВМ RPT-80, а в качестве управляющего элемента АРЧМ использован двухмашинный комплекс микро-ЭВМ ЕС-1010. Учитывая требование высокой надежности системы и существовавшее недоверие к вычислительной технике, был внедрен резервный комплект управляющего комплекса на статических элементах (интегральных микросхемах), разработанный институтом ВНИИэлектромаш. В это же время по инициативе ОДУ Сибири было организовано внедрение на привлекаемых к автоматическому регулированию ГЭС ОЭС Сибири (Братская, Красноярская,

Усть-Илимская и Саяно-Шушенская ГЭС) одностипных систем группового регулирования мощности на основе разработанного ВНИИэлектромаш центрального задатчика активной нагрузки (ЦЗАН).

В 1982 году ЕС-1010 были демонтированы и заменены одной персональной ЭВМ АТ-386. Программное обеспечение системы было разработано МННПП «Интеллектуальные компьютерные системы», г. Алма-Ата. На этой элементной базе ЦС АРЧМ функционировала до 2002 года. К этому времени были исчерпаны возможности модернизации системы, подключение новых телеизмерений, блокирующих телесигналов, создание новых регуляторов и изменение функций действующих.

В 2001 – 2002 гг. Сибирским филиалом «ГВЦ Энергетики» была разработана и внедрена в ОДУ Сибири система АРЧМ на базе современных программируемых логических контроллеров (ПЛК) типа SJ1 (фирма Omron). На ПЛК были реализованы алгоритмы работы АРЧМ и PID-регуляторы, с помощью которых были выполнены ограничители перетоков, регуляторы частоты и перетоков активной мощности, формирователи управляющих воздействий на регулирующие станции. Программы были выполнены по стандарту IEC1131-3 в виде функциональных блочных диаграмм FBD и релейных диаграмм RLL, с помощью ПО Sx-Programmer. Для надежности в системе использовались два одностипных контроллера. Постоянно в работе находится один из них, второй находится в неавтоматическом резерве.

В 2008 году было принято решение об унификации программного обеспечения (ПО) систем АРЧМ в ЕЭС России. В связи с этим в 2009 году ЗАО «Институт энергетических систем» было поручено разработать систему АРЧМ ОЭС Сибири на базе программно-аппаратного комплекса (ПАК) СК-2003.

Новая система АРЧМ ОЭС Сибири на базе СК-2003 была введена в промышленную эксплуатацию в 2010 году. Система разработана на базе современных технических средств, имеет расширенные функциональные возможности.

В 2013 году была выполнена модернизация системы АРЧМ ОЭС Сибири в части внедрения унифицированного программного обеспечения (УПО) ЦС АРЧМ на базе ПАК СК-2007, что повысило удобство эксплуатации системы АРЧМ, позволило выполнять расширение функций без внесения изменений в программный модуль УПО ЦС АРЧМ ОЭС Сибири.

ЦС АРЧМ ОЭС Сибири сегодня

ПАК ЦС АРЧМ ОЭС Сибири на базе СК-2007 включает в себя следующие технические средства:

– Подсистему сбора и передачи телемеханической и управляющей информации, состоящую из центральной приемо-передающей станций «SMART-FEP» АРЧМ, каналов связи и телемеханики, приемо-передающих устройств на энергообъектах, информация о состоянии и режимах работы оборудования которых используется для автоматического регулирования.

- Два выделенных взаиморезервируемых сервера с установленным ПО СК-2007. В СК-2007 функционирует специальное технологическое ПО – вычислительный модуль, обеспечивающий анализ информации о состоянии регулируемых параметров и вырабатывающий необходимые управляющие воздействия для РЭС.

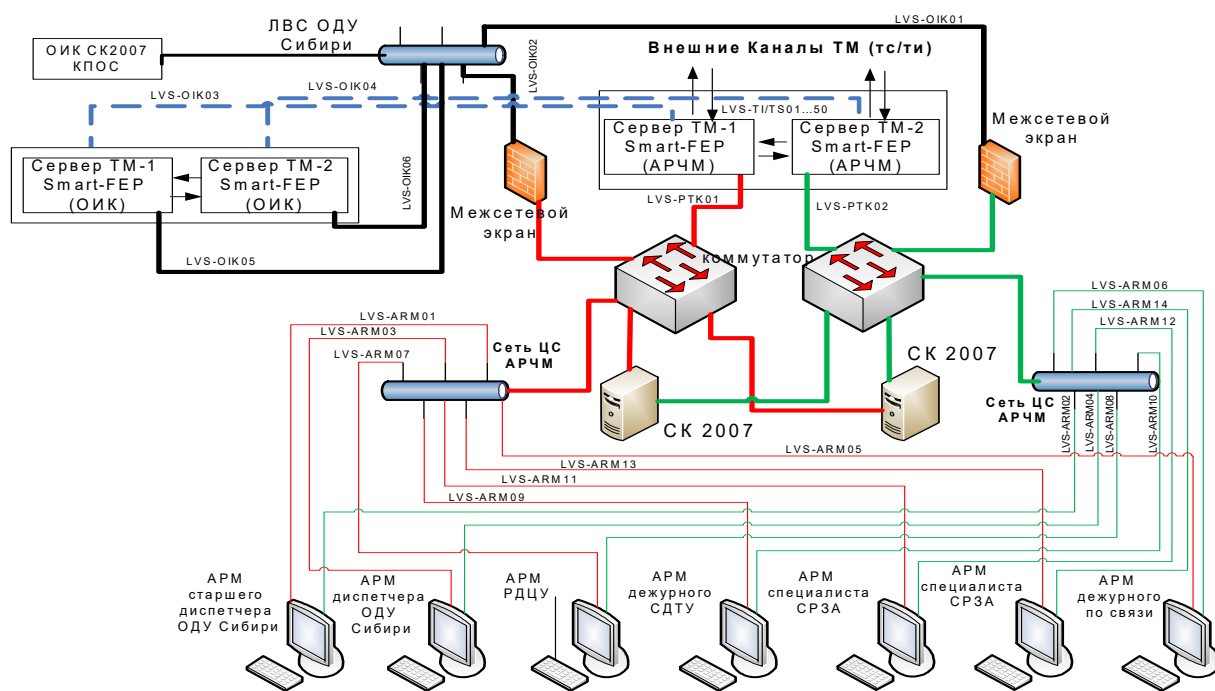
- Подсистему мониторинга и оперативного управления – автоматизированные рабочие места на базе персональных компьютеров, подключенные в выделенную локальную вычислительную сеть.

- Выделенную локальную вычислительную сеть – обособленную от локальной вычислительной сети (ЛВС) ОДУ Сибири, функционирующую на базе коммутаторов Cisco. Безопасность выделенной ЛВС обеспечивается использованием межсетевых экранов Cisco ASA;

- Прочие технические средства: шкафы оборудования, патч-панели, источники бесперебойного питания, сетевое распределительное оборудование.

Надежность работы ПАК ЦС АРЧМ ОЭС Сибири обеспечивается резервированием серверного и активного сетевого оборудования.

Структурная схема ПАК ЦС АРЧМ ОЭС Сибири



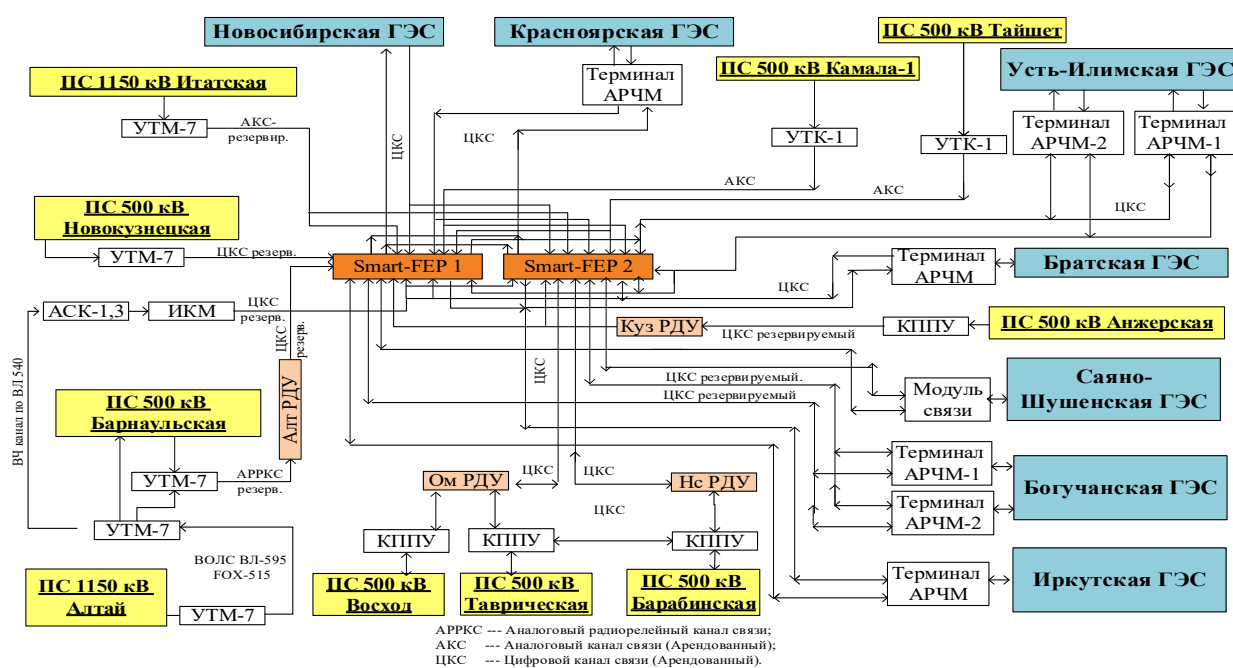
Наблюдение за функционированием ЦС АРЧМ ОЭС Сибири может осуществляться только с АРМ рабочих станций, входящих в выделенную ЛВС ЦС АРЧМ ОЭС Сибири. Просмотр значений ограниченного числа параметров, ретранслируемых из ПАК ЦС АРЧМ ОЭС Сибири в основной ОИК СК-2007

ОДУ Сибири, может осуществляться с любого АРМ ОДУ Сибири, оснащённого клиентским ПО ОИК СК-2007.

В ЦС АРЧМ ОЭС Сибири предусмотрена система защит и блокировок, предотвращающая неправильные действия ЦС АРЧМ ОЭС Сибири при неисправностях как самого ПАК ЦС АРЧМ ОЭС Сибири, так и устройств АРЧМ на РЭС, а также устройств телемеханики и связи.

Основные, наиболее вероятные неисправности ЦС АРЧМ ОЭС Сибири устраняются автоматически и не требуют вмешательства диспетчерского персонала. Так, при исчезновении электропитания или остановке одного из серверов АРЧМ или ЦППС, происходит автоматический переход на другой сервер или полукомплект ЦППС, при этом на работе ЦС АРЧМ ОЭС Сибири это никак не отражается. После устранения причины отключения серверы перезагружаются автоматически и вновь готовы к работе.

Общая структура ССПИ ЦС АРЧМ ОЭС Сибири



Для сбора информации, необходимой для работы ЦС АРЧМ ОЭС Сибири, используются выделенные устройства и каналы телемеханики с объектов электрической сети ОЭС Сибири (ССПИ АРЧМ), а также информация из Основного ОИК СК-2007 ОДУ Сибири. Также информация о текущих значениях перетоков (ТИ) и значениях МДП+НК по сечениям, контролируемым ЦС АРЧМ, передается в ЦС АРЧМ из модуля «Контроль перетоков в опасных сечениях» (далее – КПОС) ОИК ОДУ Сибири.

В качестве РЭС к централизованному управлению от ЦС АРЧМ ОЭС Сибири могут быть подключены: Братская ГЭС, Усть-Илимская ГЭС, Красноярская ГЭС, Саяно-Шушенская ГЭС, Новосибирская ГЭС, Богучанская ГЭС и Иркутская ГЭС.

Информационный обмен между ЦС АРЧМ ОЭС Сибири и устройствами АРЧМ РЭС осуществляется по двум выделенным цифровым каналам связи (основному и резервному), организованным по географически разделенным трассам, по протоколу МЭК 60870-5-101.

Состав регуляторов и алгоритмы регулирования

ЦС АРЧМ ОЭС Сибири выполняет следующие функции:

- Автоматическое регулирование частоты (АРЧ) в ОЭС Сибири.
- Автоматическое регулирование перетока с коррекцией по частоте (АРПЧ) по сечению «Казахстан-Сибирь 1» (АРПЧ-551) или по внутренним сечениям ОЭС Сибири.
- Автоматическое ограничение перетока (АОП) по сечениям между ОЭС Урала и ЕЭС Казахстана, по сечениям между ЕЭС Казахстана и ОЭС Сибири, в том числе по сечениям «Казахстан – Сибирь 1» (АОП-551), «Казахстан – Сибирь 2» (АОП-552) и «Казахстан – Сибирь 3» (АОП-534), а также по внутренним сечениям ОЭС Сибири, с параметрами настройки срабатывания АОП, передаваемыми из КПОС ОИК ОДУ Сибири, СМЗУ или задаваемых ручным вводом в АРМ ЦС АРЧМ ОЭС Сибири.
- Ручная коррекция генерации активной мощности любой из РЭС, подключенной под управление ЦС АРЧМ ОЭС Сибири (РКМ РЭС).
- Учет и корректировка выработки ГЭС.

Автоматическое ограничение перетока в оперативно назначенном сечении (оперативный АОП) с параметрами настройки срабатывания, задаваемыми ручным вводом.

Алгоритмы работы всех ограничителей и регуляторов (АОП, АРПЧ, АРЧ, оперативный АОП) аналогичны и заключаются в расчёте по интегральному закону вторичного задания активной мощности (далее – Рвн), реализация которого осуществляется за счёт изменения величины генерации РЭС с заданным долевым участием и должна обеспечивать приведение регулируемого параметра к заданному параметру настройки регулятора.

Задача расчёта Рвн выполняется циклически с интервалом в одну секунду. В каждом цикле расчета из величины отклонения контролируемого параметра от заданного значения формируется интегральная составляющая с постоянной времени T_{ii} (время интегрирования). Интегральные составляющие от всех регуляторов (АРПЧ, АОП, АРЧ) суммируются и распределяются между регулирующими электростанциями в соответствии с заданными КДУ. Рассчитанное таким образом Рвн с учётом КДУ передаётся на формирователи управляющих воздействий РЭС.

Функция АРПЧ ЦС АРЧМ действует непрерывно, стремясь стабилизировать среднее значение перетока активной мощности в сечении, с коррекцией по частоте или без, путём выдачи Рвн на РЭС. АРПЧ должен устранить возникший небаланс мощности в регулируемом сечении за время не более 15 минут.

При реализации функции АРЧ ЦС АРЧМ реагирует на возникновение разности значений фактической частоты в сети и заданного параметра настройки частоты АРЧ. ЦС АРЧМ путём выдачи Рвн на РЭС стремится к установлению фактического значения частоты равным значению заданного параметра настройки частоты АРЧ. АРЧ, как правило, включается при раздельной работе ОЭС Сибири с ЕЭС России.

При превышении фактическим перетоком заданного значения срабатывания АОП по контролируемому сечению, ЦС АРЧМ выдает управляющие воздействия на регулирующие объекты. При нахождении в зоне минимального запаса ЦС АРЧМ блокирует воздействия от других АОП и РКМ, АРЧ, АРПЧ, увеличивающих переток в сторону перегрузки по сечению. При возникновении перегрузки АОП должен действовать максимально быстро. При выходе из зоны минимального запаса ЦС АРЧМ осуществляет возврат выданных ранее управляющих воздействий от АОП.

В составе системы АРЧМ ОДУ Сибири действуют следующие регуляторы:

- астатический регулятор частоты в ОЭС - **АРЧ**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Казахстан – Сибирь 1» – **АОП-551**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Казахстан – Сибирь 1» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-551**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Кузбасс – Запад» – **АОП-530**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Кузбасс – Запад» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-530**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Красноярск, Хакасия – Запад» – **АОП-517**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Красноярск, Хакасия – Запад» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-517**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Красноярск, Кузбасс – Запад» – **АОП-537**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Красноярск, Кузбасс – Запад» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-517**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Назаровское» – **АОП-518**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Назаровское» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-518**;

- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Енисей – Красноярская ГЭС» – **АОП-516**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Енисей – Красноярская ГЭС» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-516**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Енисей - Красноярская» – **АОП-512**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Камала – Красноярская» – **АОП-510**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Камала – Красноярская» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-510**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Тайшет, Ангара – Запад» – **АОП-580**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Тайшет, Ангара – Запад» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-580**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Братск – Красноярск» – **АОП-501**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Братск – Красноярск» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-501**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Красноярск – Восток» – **АОП-504**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «БПП, Озерная – Тайшет» – **АОП-502**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Казахстан – Сибирь 2» – **АОП-552**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Казахстан – Сибирь 3» – **АОП-534**;
- автоматический регулятор перетока активной мощности в контролируемом сечении «Казахстан – Сибирь 3» с возможностью использования коррекции по частоте – **АРПЧ-534**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Сокол» – **АОП-1102**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Экибастуз – Урал» – **АОП-5050**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Урал – Экибастуз» – **АОП-556**;

- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Сокол ремонтное» – **АОП-5086**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «ЕЭК – Запад» – **АОП-5537**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «ЕЭК – Восток» – **АОП-5017**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Красноярск – Запад» – **АОП-517(2)**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Красноярская ГЭС – Назаровская ГРЭС» – **АОП-514**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Выдача мощности Усть-Илимской ГЭС» – **АОП-УИГЭС**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Усть-Илим – Братск» – **АОП-571,572**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «Выдача мощности Саяно-Шушенской ГЭС» – **АОП-СШГЭС**;
- автоматический ограничитель перетока активной мощности по сечению «СВ Красноярской ГЭС» – **АОП-СВ КрГЭС**;

Дальнейшее развитие ЦС АРЧМ ОЭС Сибири

Дальнейшее развитие ЦС АРЧМ ОЭС Сибири заключается в продолжении организации взаимодействия (интеграции) с другими системами контроля и управления энергетическими режимами, а также системами противоаварийной автоматики в ОЭС Сибири. Это реальный шаг к цифровизации энергетики, наряду с вводом централизованных систем автоматики третьего поколения и дистанционным управлением оборудованием энергообъектов. Использование в электроэнергетике передовых цифровых технологий позволяет получить значительный положительный эффект за счет построения на их базе более эффективных моделей управления технологическими и бизнес-процессами.