



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Система мониторинга переходных электрических режимов

Жуков Андрей Васильевич

Заместитель директора по управлению режимами ЕЭС



Классификация релейной защиты и автоматики

ГОСТ Р 55438-2013 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Релейная защита и автоматика. Взаимодействие субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии при создании (модернизации) и эксплуатации. Общие требования.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ



Принятые сокращения

- АПВ • Автоматическое повторное включение
- АВР • Автоматическое включение резерва
- АЛАР • Автоматика ликвидации асинхронного режима
- АОДС • Автоматика опережающего деления сети
- АОПН • Автоматика ограничения повышения напряжения
- АОПЧ • Автоматика ограничения повышения частоты
- АОПО • Автоматика ограничения перегрузки оборудования
- АОСЧ • Автоматика ограничения снижения частоты
- АОСН • Автоматика ограничения снижения напряжения
- АПНУ • Автоматика предотвращения нарушения устойчивости

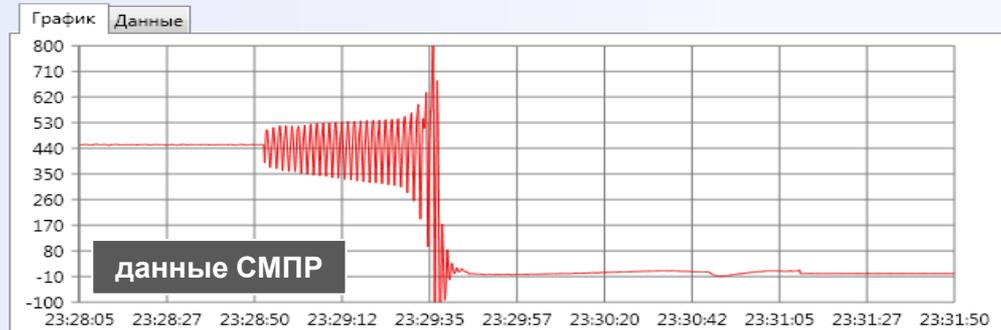
АРН • Автоматика регулирования напряжения

- АРВ • Автоматическое регулирование возбуждения
- АРЧМ • Автоматическое регулирование частоты и перетоков активной мощности
- ГРАМ • Групповой регулятор активной мощности
- ГРАРМ • Групповой регулятор активной и реактивной мощности
- ОМП • Определение места повреждения
- РАС • Регистратор аварийных событий
- САУМ • Система автоматического управления мощностью энергоблоков
- СМПР • Система мониторинга переходного режима
- УПАСК • Устройство передачи аварийных сигналов и команд

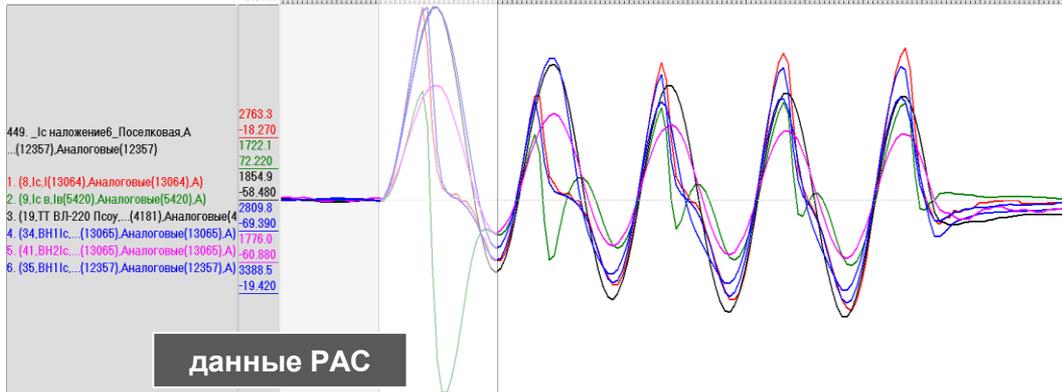
Системы измерений параметров электрического режима ЛЭП и оборудования



29.05.2018 23:28:05 - 29.05.2018 23:31:50 Тип ТИ: Р
Няганская ГРЭС ПГУ-3, МВт



20.12.2016 02:40:19.623



- Телеинформация (ТИ)
Периодичность поступления ТИ:
 - АСУ ТП – запись 1 раз/с
 - ОИК – спорадическиПрименяется для фиксации параметров нормальных режимов работы ЛЭП и оборудования.

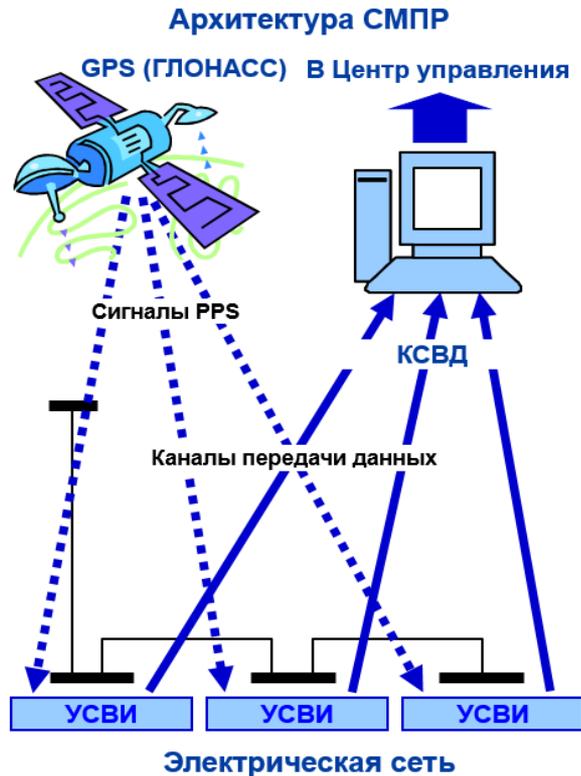
- Регистрация аварийных событий (РАС):
 - запись параметров в соответствии с критериями пуска (U_2 , $3U_0$), с записью доаварийного (0,5 с) и аварийного (~10 с) процессаПрименяется для фиксации параметров электромагнитных переходных процессов.

- Синхронизированные векторные измерения (СВИ):
 - запись параметров - 50 раз/сПрименяется для фиксации параметров электромеханических переходных режимов.



СМПР – инструмент мониторинга динамических свойств электроэнергетической системы

4



СВИ – совокупность векторных и скалярных параметров электроэнергетического режима, измеренных и рассчитанных с заданной дискретизацией в однозначно определенные моменты времени, синхронизированные с помощью глобальных навигационных спутниковых систем

Технология СВИ обеспечивает:

- Одновременность фиксации параметров электрического режима во всех местах установки УСВИ путем синхронизации измерений с помощью системы GPS (ГЛОНАСС)
- Высокую точность измерений параметров электрического режима
- Мониторинг взаимных углов напряжений
- Измерение параметров электрического режима на периоде промышленной частоты (20 мс)
- Непрерывная запись параметров в КСВД (до 180 суток)
- Погрешность измерения вектора (TVE) - не более 1%
- Абсолютная погрешность измерения частоты - не более 1 мГц
- Измерение и вычисление расширенного набора параметров (фазные \dot{U} , \dot{I} , f , dU/dt , dI/dt , df/dt , $\dot{U}_{1,2,0}$, $\dot{I}_{1,2,0}$, фазные/трехфазные P , Q , S и т.д.)
- 50 измерений в секунду
- Синхронизация времени с глобальными навигационными системами (не хуже 1 мкс) обеспечивает измерений угла с точностью 0,1 градуса
- Технология обработки и передачи данных в режимах ON- и OFF-LINE



Применение данных СВИ для задач мониторинга и управления

5

Применение данных СВИ для задач оперативно-диспетчерского управления:

- Послеаварийный анализ
- Верификация динамических расчетных моделей
- Идентификация синхронных качаний
- Мониторинг функционирования АРВ/СВ (внедрение системы мониторинга корректности работы системных регуляторов)
- Использование при оценивании состояния электрического режима энергосистемы
- Визуализация динамических процессов в ЕЭС России

Перспективы развития задач на базе СВИ для задач оперативно-диспетчерского и автоматического управления:

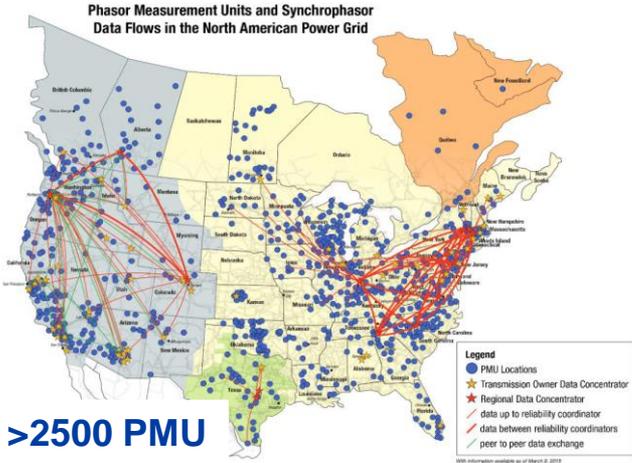
- Мониторинг колебательной устойчивости;
- Расчет параметров ЛЭП и оборудования;
- Управление режимом работы электропередачи по углу;
- Мониторинг разделения энергосистемы на части;
- Мониторинг устойчивости по напряжению;
- Создание пусковых органов и ПА с применением СВИ;
- Разработка технических средств измерений угловой скорости генераторов на базе СВИ

Возможности использования данных СВИ на энергообъектах:

- Послеаварийный анализ режимов работы оборудования и систем регулирования
- Мониторинг режимов работы генерирующего оборудования:
 - мониторинг синхронных качаний активной мощности (мониторинг низкочастотных колебаний)
 - оценка корректности работы АРВ/СВ, систем регулирования
 - статистический анализ режимов работы генерирующего оборудования
- Мониторинг режимов работы сетевого оборудования:
 - идентификация возникновения несимметричного режима работы
 - мониторинг работы ТН и устройств РПН силовых трансформаторов (Т/АТ)
- Предупреждение персонала при приближении текущих параметров работы оборудования к их эксплуатационным пределам
- Автоматическая достоверизация измерений в режиме реального времени (АСУ ТП, СОТИ АССО, АИИС КУЭ)
- Информационная поддержка решений оперативного персонала

Применение технологии СВИ за рубежом (WAMS)

США

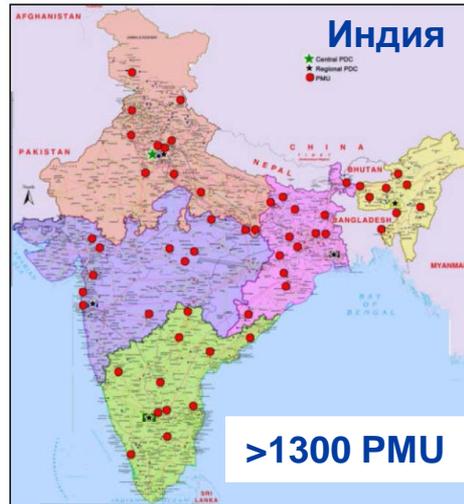
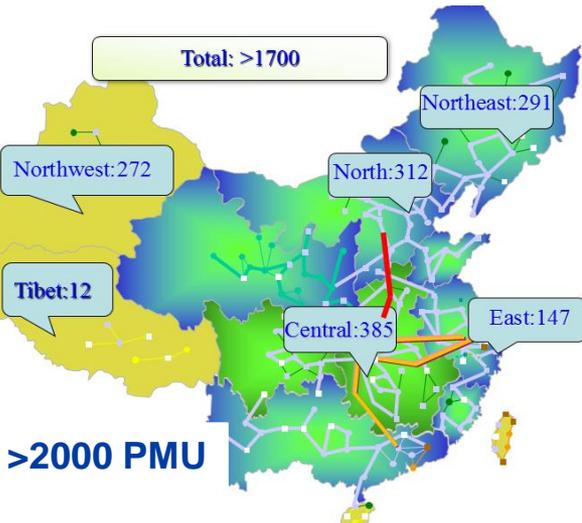


Planned
 Development and Testing
 Fully implemented (on-line or study mode)

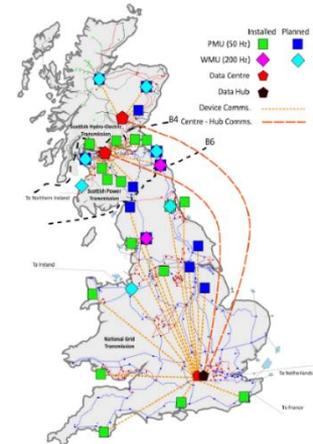
Recovery Act Smart Grid Investments SYNCHROPHASOR PROJECT STATUS 30 June 2014

INSTALLED	ATC Comm.	ATC PMU	CCET	Duke Energy	Entergy	Florida P&L	Idaho Power	ISO-NE	Lafayette	Midwest Energy	Midwest ISO	NY ISO *	PJM	WECC
PMU Devices	N/A	49	19	103	49	45	8	73	31	7	260	41	322	393
PMU Substations	69	45	16	52	49	45	4	40	31	7	166	41	90	134
PMU Signals	110 miles fiber	620	19	1,872			100	383			1928	759	2,615	3,032
PDC Count		45	3	4	9	13	0	9	3	1	15	11	24	57
ПРИЛОЖЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ														
Идентификация н/ч колебаний														
Мониторинг фазовых углов														
Определение возмущений по частоте														
Мониторинг уровней напряжения														
Управление событиями														
Идентификация возмущений														
Мониторинг разделения ЭС на части														
Ситуационная осведомленность														
ПРИЛОЖЕНИЯ В РЕЖИМЕ OFFLINE														
Верификация расчетных моделей														
Оценывание состояния														
Верификация моделей электростанций														
Послеаварийный анализ														
Тренинг персонала														

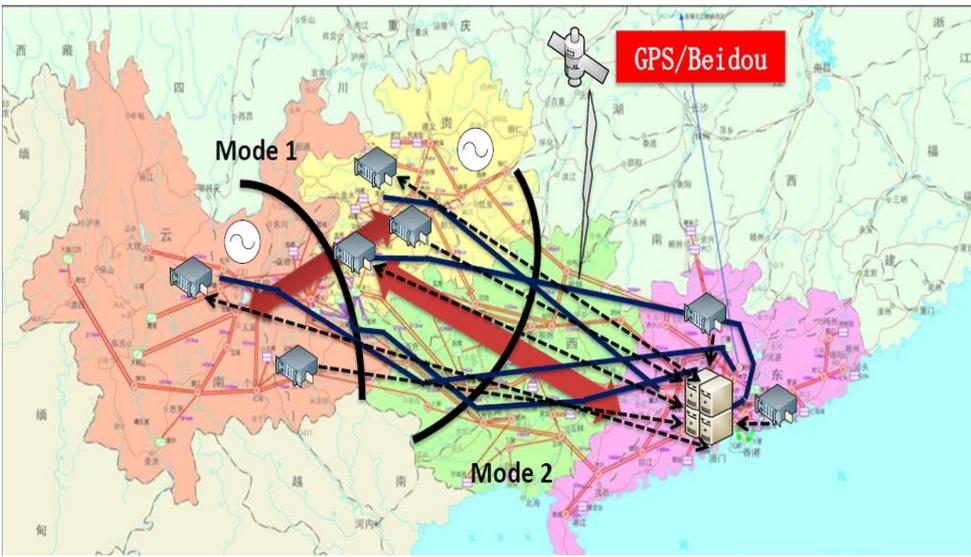
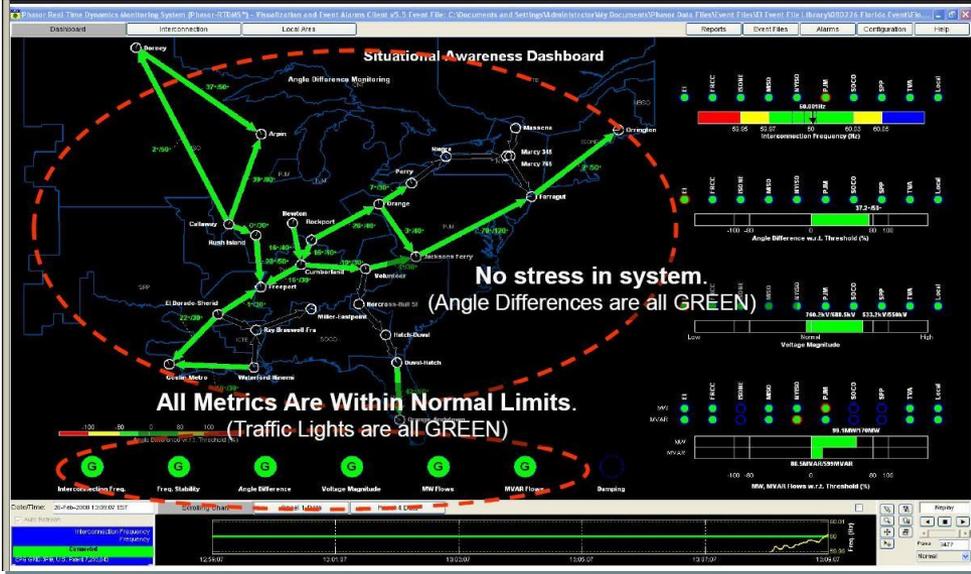
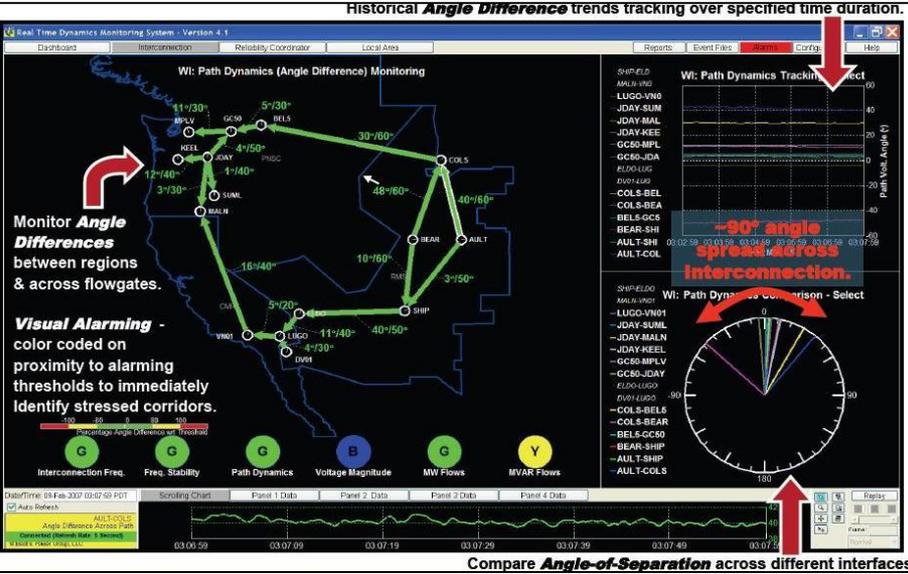
Китай



Великобритания



Применение технологии СВИ за рубежом (WAMS)

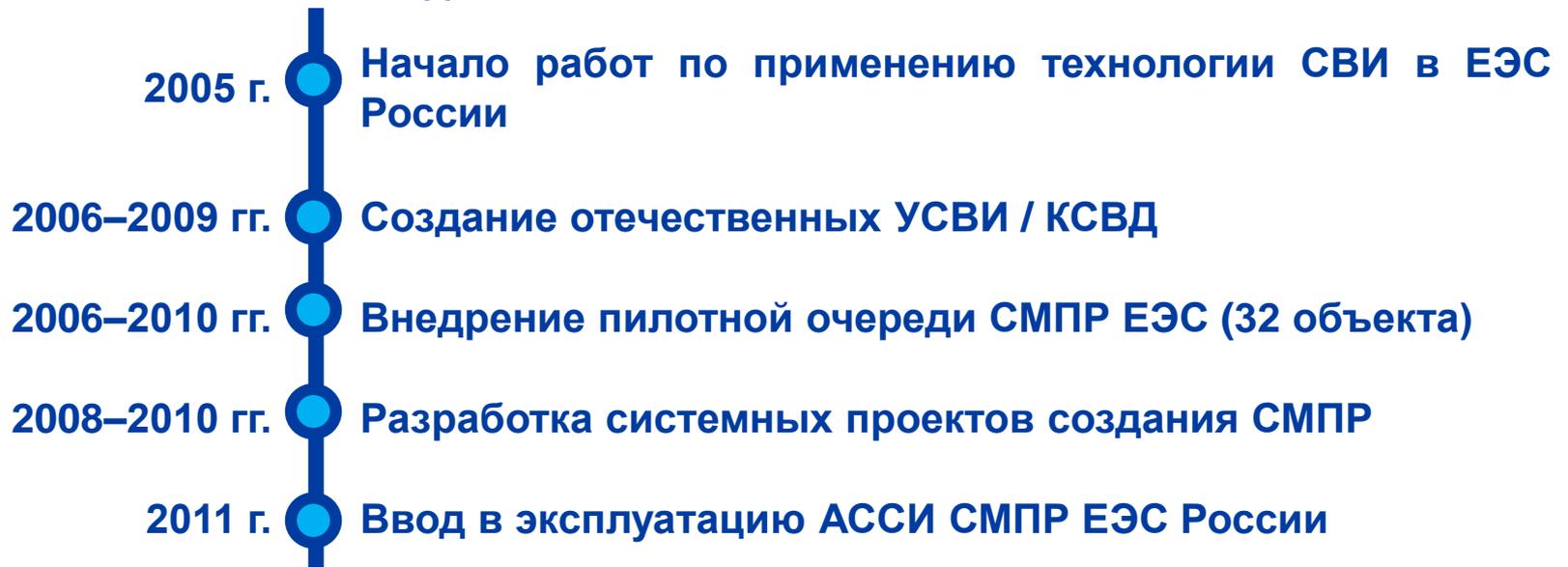




Создание СМПР ЕЭС России

8

Создание СМПР в ЕЭС России

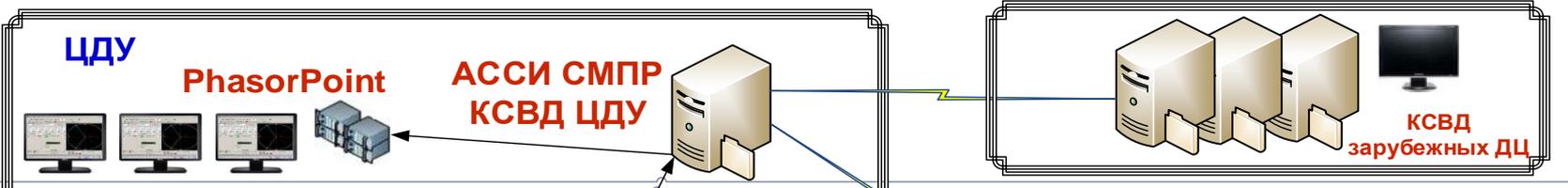


- Научно-техническое взаимодействие с иностранными специалистами в области СВИ (VLP/GO/GO-15 , CIGRE, BPA, Virginia University, PJM, CAISO, OSIsoft, etc.)
- Научная поддержка разработки технологии СВИ российскими научно-исследовательскими и проектными институтами (НТЦ ЕЭС, ИСЭМ РАН, ЭСП), техническими университетами (МЭИ, УПИ) и компаниями-производителями оборудования (РТСофт, Прософт-Системы, Парма, ИЦ ЭнергоСервис, АльтероПауэр)
- Акцент на применение СВИ для реальных задачах мониторинга и управления
- Создание СМПР на платформе отечественных разработок и устройств

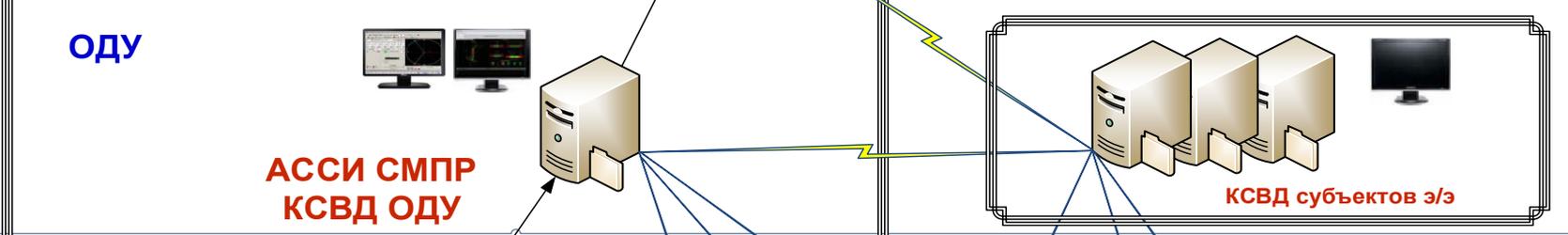


Структура СМПР ЕЭС России

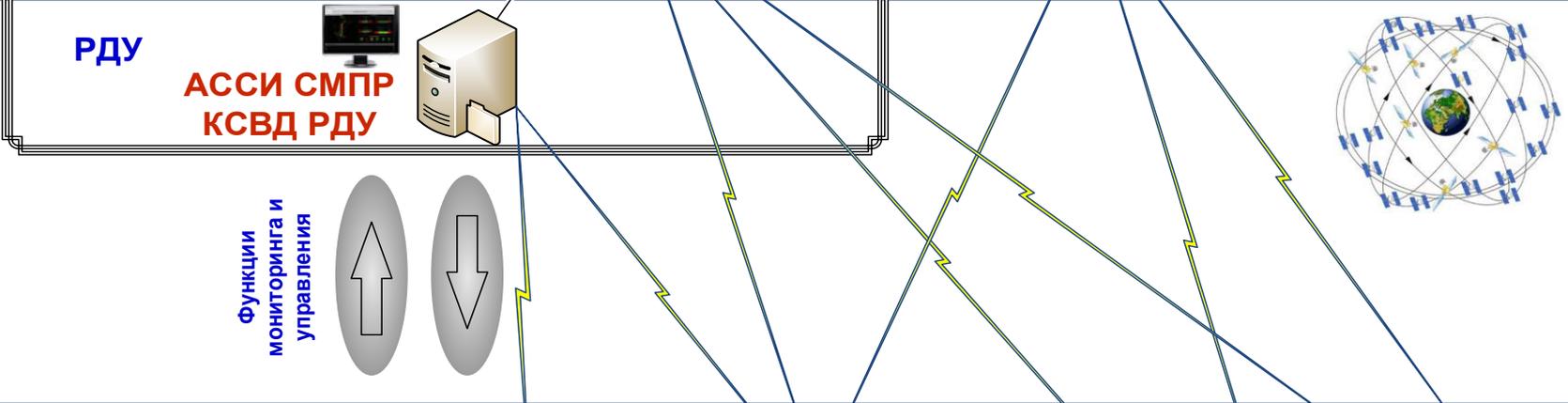
главный уровень



региональный уровень



функции мониторинга и управления



уровень энергообъекта





Развитие СМПР в ЕЭС России

10

Согласование проектов на создание и модернизацию ПТК СМПР объектов электроэнергетики:

- Согласование ТЗ и проектной документации на создание и модернизацию ПТК СМПР
- Участие в проведении комплексных испытаний ПТК СМПР объектов электроэнергетики

Критерии установки устройств и комплексов СМПР на объектах электроэнергетики:

- на электростанциях установленной мощностью 500 МВт и более
- на подстанциях напряжением 500 кВ и выше

ОЭС	ПТК СМПР	УСВИ	КСВД
ОЭС Северо-Запада	10	81	3
ОЭС Сибири	13	95	9
ОЭС Средней Волги	10	43	7
ОЭС Урала	36	232	27
ОЭС Центра	16	121	9
ОЭС Юга	14	137	10
ОЭС Востока	2	6	2
ВСЕГО	101	715	66

Присоединения	УСВИ
ЛЭП	457
Генераторы	237
Трансформаторы	21

ПТК СМПР	КОЛ-ВО
АЭС	11
ГЭС	7
ТЭС	44
Подстанции 110–750 кВ	39

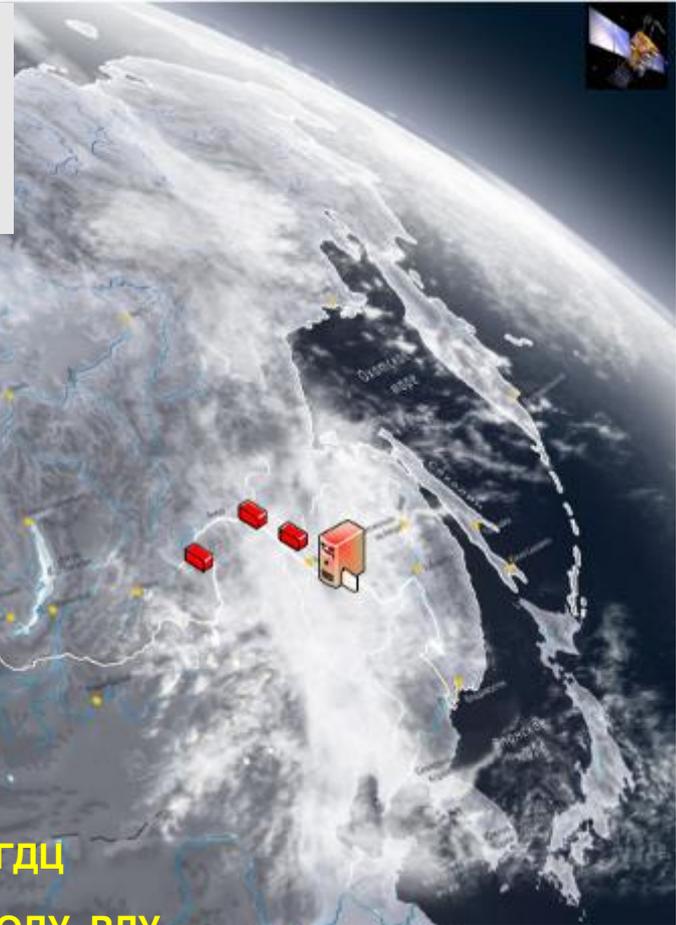
СОБСТВЕННИКИ СУБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Сетевые компании	142 УСВИ на 40 подстанциях
ПАО «Концерн Росэнергоатом»	114 УСВИ на 9 АЭС
АО «ИнтерРАО»	91 УСВИ на 9 электростанциях
ПАО «ОГК-2»	62 УСВИ на 8 электростанциях
ПАО «РусГидро»	78 УСВИ на 7 ГЭС
ПАО «Мосэнерго»	20 УСВИ на 3 электростанциях
Другие генерирующие компании	205 УСВИ на 25 электростанциях



Система мониторинга переходных режимов ЕЭС России

- 715 УСВИ 5 компаний-производителей: АО «РТСофт», ООО «Прософт-Системы», ООО «Парма», ООО «ИЦ «Энергосервис», Arbiter Systems;
- 66 КСВД 4 компаний-производителей: ЗАО «РТСофт», ООО «АльтероПауэр», ООО «Парма», ООО «ИЦ «Энергосервис».



 КСВД ГДЦ
 КСВД ОДУ, РДУ
 УСВИ online
 УСВИ offline

- 101 объект э/э
- 66 КСВД
- 715 УСВИ



Система мониторинга работы системных регуляторов (СМСР)

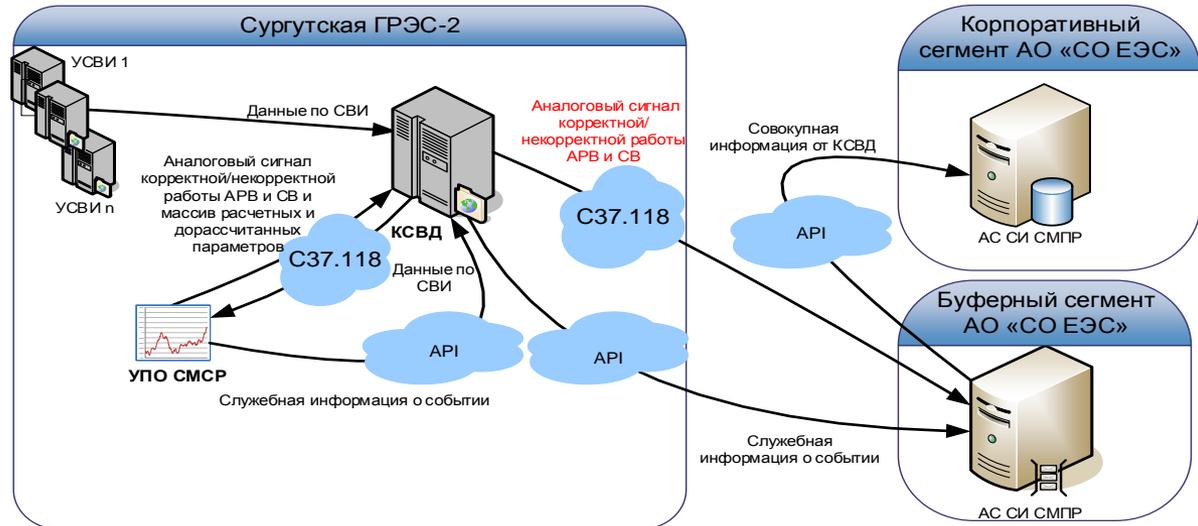
12

СМСР предназначена для своевременного выявления некорректной работы СВ и АРВ синхронных генераторов (системных регуляторов) и оповещения персонала электростанций и Системного оператора для принятия им неотложных мер по предотвращению развития аварийной ситуации в энергосистеме.

Алгоритмы СМСР идентифицируют пять характерных неисправностей АРВ и СВ генератора, а именно:

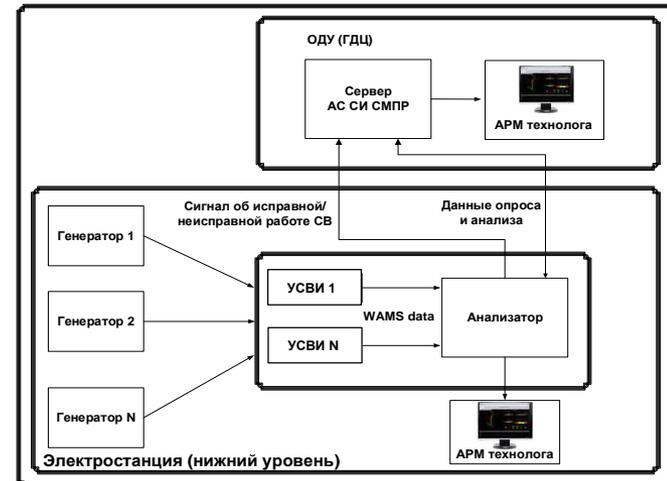
- отсутствие блокировки каналов стабилизации при возникновении дефицита/избытка мощности
- отсутствие или несвоевременный ввод релейной форсировки возбуждения
- преждевременное снятие форсировки возбуждения
- некорректность работы ограничителя минимального возбуждения
- некорректность работы ограничителя двукратного тока возбуждения (в случае наличия возможности измерения тока возбуждения)

Для бесщеточных СВ генераторов в СМСР дополнительно реализованы алгоритмы контроля тока возбуждения возбудителя и напряжения ротора генератора.



СМСР введена в эксплуатацию на Северо-Западной ТЭЦ-2 и Краснодарской ТЭЦ.

Задача – внедрение универсального ПО СМСР на уровне объектов генерации в КСВД

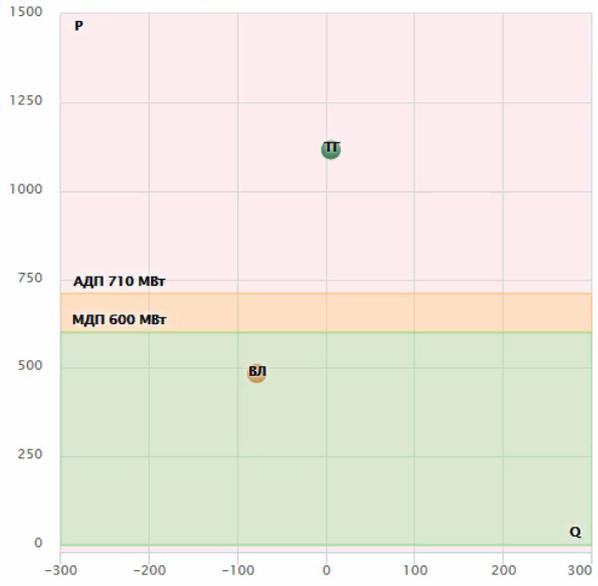
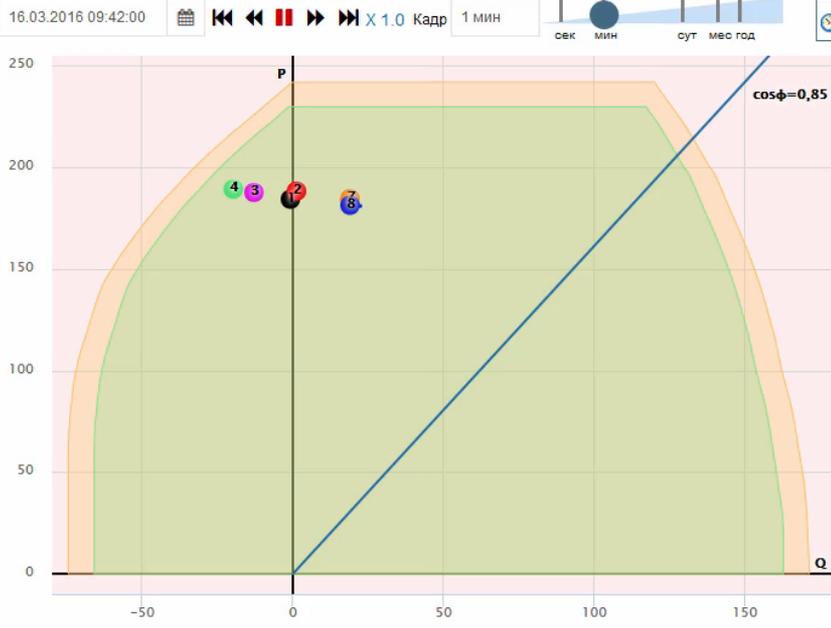




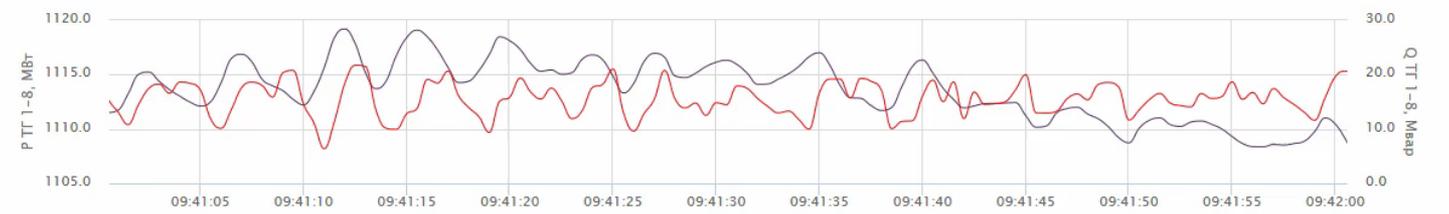
Визуализация синхронных качаний активной и реактивной мощности генераторов электростанции

13

Формы визуализации ⚙️ Настройки формы Журнал событий mnchk_admin@APTEST (mnchk_admin@APTEST) v.3.2.5

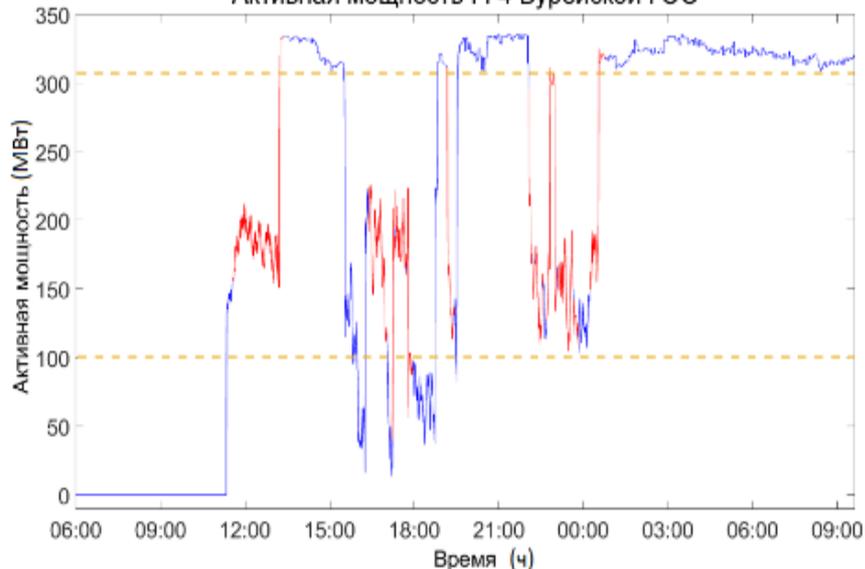


Присоед.	А, МВт	Ф, Гц
ТГ-1		
ТГ-2		
ТГ-3		
ТГ-4		
ТГ-5		
ТГ-6		
ТГ-7		
ТГ-8		
ВЛ-396		
ВЛ-397		
ВЛ-398		
ВЛ-404		
ВЛ-496		

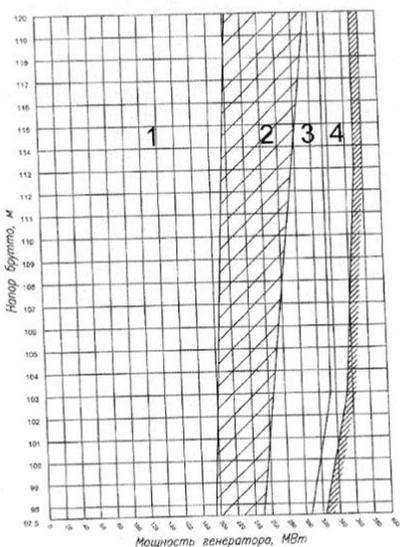




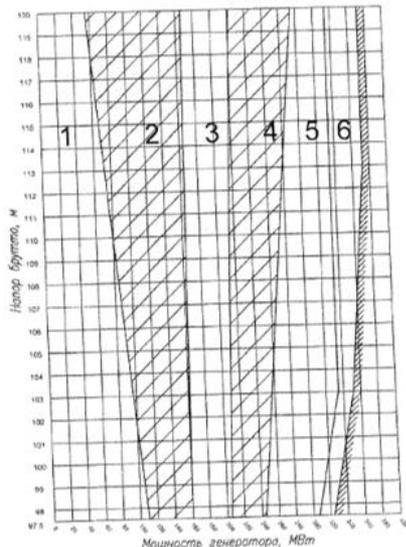
Активная мощность ГГ4 Бурейской ГЭС



Эксплуатационная характеристика гидроагрегата № 4



Эксплуатационная характеристика гидроагрегата № 6



Качания активной мощности ГА-4 Бурейской ГЭС:

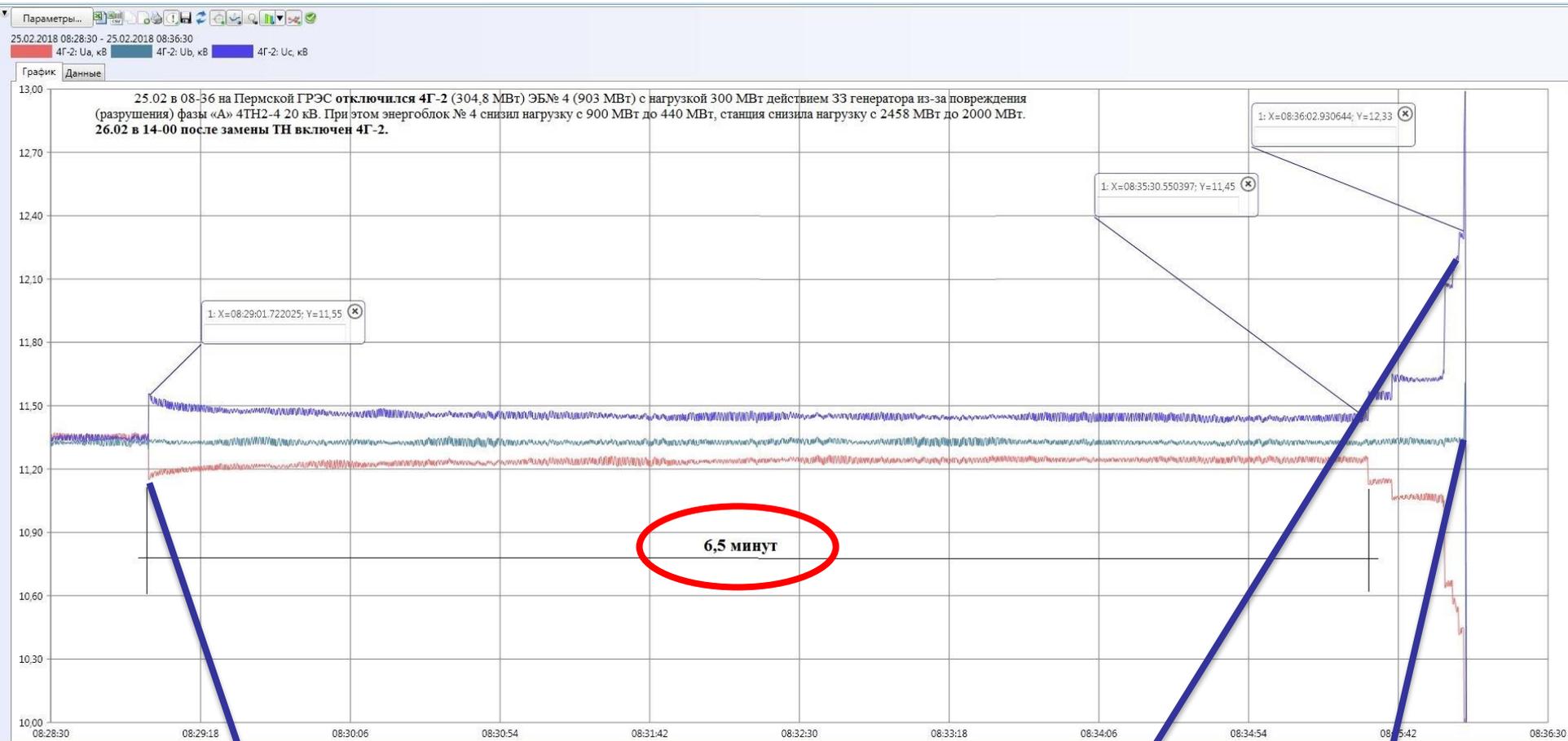
- В ОЭС Востока наблюдалась мода НЧК ПЭР с частотой 0.47 Гц, амплитудой 7 МВт по активной мощности, 6 мГц по частоте и пониженным уровнем демпфирования 70 с
- Для исследования причин возникновения НЧК проведен анализ загрузки Зейской ГЭС и Бурейской ГЭС в различных режимах работы. Определено, что резкое падение уровня демпфирования моды 0,47 Гц возникает при работе ГА-4 Бурейской ГЭС в диапазоне 100 ÷ 320 МВт

На графике активная мощность ГА-4 Бурейской ГЭС отмечена красным цветом во время превышения демпфированием границы 10 с.

- В результате проведенных Бурейской ГЭС совместно с заводом-изготовителем ОАО «Силовые машины» испытаний скорректирована эксплуатационная характеристика ГА-4 Бурейской ГЭС в части исключения диапазонов 70 ÷ 140 и 190 ÷ 220 МВт (при напоре воды 120 м) из зоны разрешенной работы

Отключение генератора ГРЭС действием защиты от замыкания на землю обмотки статора

15



Начало развития
дефекта в ТН

Начало записи
аварийного архива в РАС

Момент
работы РЗА



Разработка ПО визуализации динамических процессов ЭЭС России

16

Файл Правка Вид Избранное Сервис Справка

Коллекция веб-форм... О конференции Рекомендуемые сайты Страница - Исполнитель...

Визуализация поверхности, полученной с помощью алгоритма AVOS, по опорным точкам. Зависимость сглаживания от расстояния до опорных точек.

Старт 21:00.000

Выделение ОЭС Сибири и Тюменск

Итераций сглаживания: 20

Сегментов по оси X: 120

Сегментов по оси Y: 100

Размер по оси Z: 300

Линейная шкала

Автоизменение шкалы:

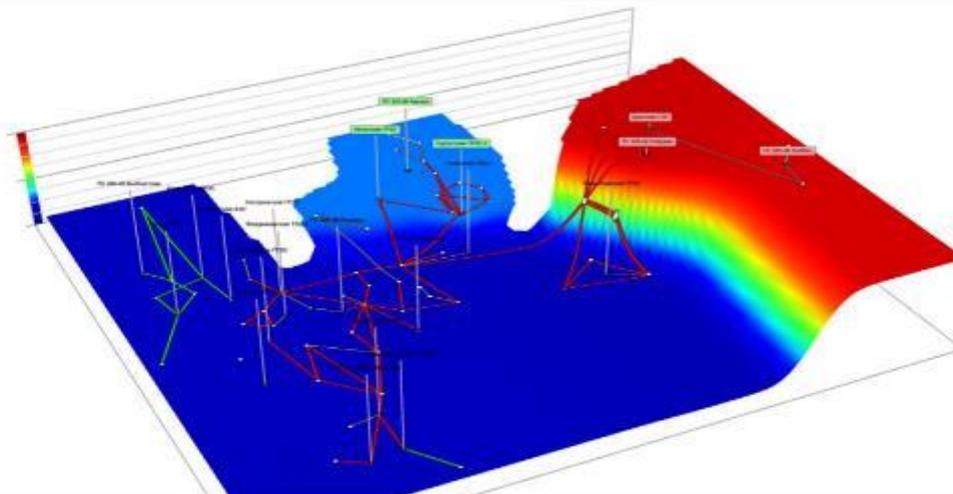
Нулевой уровень (Гц): 50.00

Полный диапазон (Гц): 0-8000

Применить изменения

Наименования всех точек:

Выведены на графике:



Визуализация поверхности, полученной с помощью алгоритма AVOS, по опорным точкам. Зависимость сглаживания от расстояния до опорных точек.

Старт 13:01.220

Выделение ОЭС Сибири и Тюменск

Итераций сглаживания: 20

Сегментов по оси X: 120

Сегментов по оси Y: 100

Размер по оси Z: 300

Линейная шкала

Автоизменение шкалы:

Нулевой уровень (Гц): 50.00

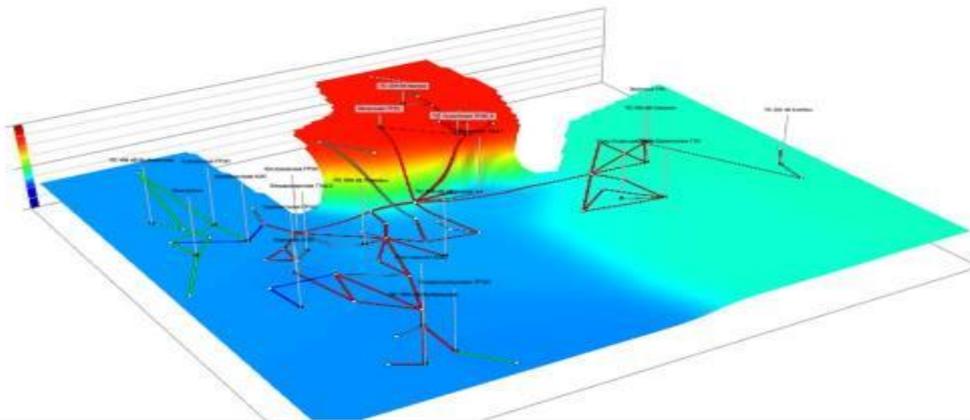
Полный диапазон (Гц): 1-2000

Применить изменения

Наименования всех точек:

Выведены на графике:

Выделение области энергосистемы на изолированную работу



60 сек.	50 сек.	40 сек.	30 сек.	20 сек.	10 сек.	50.2
						50
						49.8
						49.4



Разработка нормативно-технической документации в области развития системы мониторинга переходных режимов

17

Разработка нормативно-методической базы, регламентирующей создание, внедрение и эксплуатацию устройств СМНР

2012 г. – Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 55105-2012 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования»

Разработка Стандартов организации:

2016 г. – СТО «Релейная защита и автоматика. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования» (включая Методику сертификационных испытаний УСВИ)

2018 г. – СТО «Релейная защита и автоматика. Концентраторы синхронизированных векторных данных. Нормы и требования» (включая Методику сертификационных испытаний КСВД)

На стадии согласования:

- СТО «Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования» (план – 2018 год)
- Приказ Минэнерго «Требования к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики и принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики»

2018 г. – начало процесса сертификации УСВИ и КСВД

2019 г. – планируется разработка Национального стандарта «Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования»



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Спасибо за внимание!

Жуков Андрей Васильевич

Контактная информация: zhukov@so-ups.ru, (495) 627-83-06