

Опыт создания автоматической системы сбора информации с регистраторов системы мониторинга переходных режимов в ОАО «СО ЕЭС»

Ф.Н. ГАЙДАМАКИН, Д.Н. ТОПОРКОВ, А.В. ДАНИЛИН, Д.М. ДУБИНИН
ООО «АльтероПауэр», ОАО «СО ЕЭС»
Россия
gfn@alteropower.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Система мониторинга переходных режимов, АС СИ СМПР, WAMS, векторные измерения параметров электрического режима, визуализация низкочастотных колебаний.

1 ВВЕДЕНИЕ

Система мониторинга переходных режимов (СМПР) основана на технологии синхронизированной векторной регистрации параметров переходных режимов.

Векторные измерительные преобразователи (PMU – Phasor Measurement Unit, далее – PMU) устанавливаются на объектах электроэнергетики, где производится измерение и первичная обработка информации. Конечным пользователем информации о параметрах электроэнергетического режима является ОАО «СО ЕЭС», поэтому особенно актуальным стало решение задачи передачи данных СМПР в диспетчерские центры (РДУ, ОДУ, ЦДУ и т.д.), а также автоматизация данного процесса. Для этого компанией ООО «АльтероПауэр» по заказу ОАО «СО ЕЭС» была разработана «Автоматическая система сбора информации с регистраторов СМПР» (АС СИ СМПР). В настоящий момент АС СИ СМПР введена в промышленную эксплуатацию в филиалах ОАО «СО ЕЭС» ОДУ Центра, ОДУ Северо-Запада, ОДУ Юга, ОДУ Средней Волги, ОДУ Урала, ОДУ Сибири, Тюменском и Саратовском РДУ.

Создаваемая первоначально для целей только автоматического сбора информации, АС СИ СМПР в результате своего развития постепенно преобразовывалась в эффективный инструмент анализа данных СМПР.

2 ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ АС СИ СМПР

2.1 История и причины создания АС СИ СМПР

Создание СМПР в России было инициировано ОАО «СО ЕЭС» в 2005 году в рамках проекта «ТЭО синхронного объединения энергосистем UCTE и ЕЭС/ОЭС» [1],[2].

Начиная с этого времени данные СМПР стали доступны для технологов ОАО «СО ЕЭС», причём количество PMU постоянно увеличивалось. Однако фактическая доступность этих данных была несколько затруднена, так как данные PMU (как правило, это преобразователи типа МИП-01 и МИП-02 производства ЗАО «РТСофт» в составе ПТК Smart-WAMS [3]) записывались в бинарном формате в виде файлов, доступных с коммуникационного сервера Smart-WAMS по протоколу FTP. То есть, чтобы получить эти данные, необходимо было либо зайти на соответствующий коммуникационный сервер Smart-WAMS посредством FTP-клиента, вручную выбрать нужный файл необходимого присоединения за интересующий промежуток времени, выкачать его, распаковать и запустить утилиту просмотра этих данных. Это в том случае, если вообще была возможность доступа к устройству с компьютера технолога. Чаще всего приходилось по электронной почте отправлять запрос на сбор данных из ЦДУ в ОДУ и далее на энергообъект. После выполнения всех вышеперечисленных действий данные отправлялись по электронной почте на верхний уровень. Очевидно, что в условиях постоянного увеличения количества установленных PMU, одной из самых актуальных задач стала автоматизация процесса сбора данных СМПР.

Пилотный проект по внедрению системы автоматического сбора данных СМПР был реализован в 2008 году в составе Системы мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) в Северном регионе Тюменской области (Тюменское РДУ) [4]. Сбор данных осуществлялся в автоматическом режиме по специальному промышленному протоколу IEEE C37.118-2005. Взаимодействие организовано по следующему принципу: клиент подписывается на приём данных от PMU, который начинает передавать весь поток измеряемых параметров в адрес клиента с частотой дискретизации 20 мс.

Этот автоматический режим сбора данных условно назовем онлайнным, а векторные измерительные преобразователи – онлайнными PMU. По аналогии те PMU, которые автоматически не передают данные в систему сбора, а собирают данные в собственное файловое хранилище, предоставляя затем их по протоколу FTP, будем называть офлайнными.

Если до 2008 года PMU на энергообъектах устанавливались в основном офлайнные (это объясняется просто – трафик с одного PMU составляет примерно 40 Кбит/с, а такие каналы до объектов управления были доступны далеко не везде). В период внедрения СМЗУ на двух энергообъектах были установлены PMU 1133a производства Arbiter Systems, работающие только в режиме реального времени. Поэтому организация приёма данных с онлайнных PMU стала первоочередной задачей, решение которой было затруднено по нескольким причинам.

Во-первых, сбор с онлайнных PMU по протоколу C37.118-2005 затруднялся тем, что сетевая инфраструктура ОАО «СО ЕЭС» не предусматривает возможности доступа извне в корпоративную сеть, тем более по протоколу UDP, который использовался для передачи данных с PMU. Для взаимодействия с внешним миром организуются специальные так называемые «буферные сегменты» сети, откуда есть доступ до PMU и есть возможность приёма потока данных с них. Таким образом, для приёма данных с PMU необходим некий отдельный компонент, способный выступать в роли ретранслятора потока данных с измерителя в корпоративный сегмент сети.

Во-вторых, используемая на тот момент в ОАО «СО ЕЭС» версия ОИК СК-2007 в принципе не могла обрабатывать данные регистраторов СМПР в онлайн режиме. Причин было несколько. Основная – невозможность записать с ОИК СК-2007 данные с меткой времени, полученной от PMU, так как временем телеизмерения в СК-2007 для поступающих данных считался момент записи этого телеизмерения в ОИК. Была, конечно, так называемая «объектовая метка времени», но она не могла использоваться для выборки этих данных из ОИК. Для решения этой проблемы программный интерфейс работы с СК-2007 дорабатывался компанией ЗАО «Монитор Электрик». Также СК-2007 не мог обеспечивать интенсивность записи данных при их поступлении в онлайн-режиме, то есть запись каждые 20 мс. Таким образом, компонент для приёма данных с PMU должен выполнять ещё функции концентратора этих данных перед записью их в СК-2007.

В 2009-2010 гг. успешный опыт реализации возможности автоматического сбора информации с регистраторов СМПР, полученный в рамках проекта СМЗУ, был применён при создании и внедрении первой версии АС СИ СМПР во всех ОДУ и двух РДУ ОАО «СО ЕЭС». Функционально, помимо возможности приёма информации с онлайнных PMU, в данной версии появилась возможность сбора данных с офлайнных PMU. Но фактически это была уже не просто автоматизация получения информации с регистраторов СМПР, а комплекс программных средств, осуществляющий сбор, обработку, хранение, транспортировку и визуализацию этой информации различными видами отображения. Некоторые дополнительные возможности приведены в пункте 2.3.

Практическая реализация АС СИ СМПР учитывала ряд существенных ограничений, накладываемых заказчиком системы на решение стоящих перед системой задач. Так хранение данных телеизмерений обязательно должно было осуществляться в собственном экземпляре СК-2007. Для передачи оперативных данных (в онлайн-режиме) между филиалами ОАО «СО ЕЭС» необходимо было использовать только существующие возможности ОИК СК-2007, а именно, протокол FDST. А для передачи данных по запросу необходимо было использовать корпоративную интеграционно-транспортную систему (КИТС). Эти и другие требования отразились на итоговой архитектуре решения, описание которой представлено в пункте 2.2.

Первая версия АС СИ СМПР, развёрнутая в диспетчерских центрах, стала успешно применяться при сборе данных СМПР. Естественно, что при реальном использовании

системы, работу над ней пришлось продолжать: новая прошивка МИП-02 изменила организацию файлового хранилища (стала использоваться древовидная система вместо хранения всех файлов в одном каталоге), новые версии СК-2007 содержали изменения в сигнатурах библиотечных вызовов, технологам потребовалось расширение списка возможных используемых типов телеизмерений (с 6 до 47, а в дальнейшем – возможность создания произвольных типов телеизмерений). Помимо доработки, функциональность системы расширялась за счёт расширения возможностей работы новыми типами РМУ (РЭС-3 от ООО «Прософт-системы» и ЦРАП ПАРМА РП 4.11 от ООО «Парма»). Онлайн-взаимодействие осуществлялось по протоколу С37.118-2005, однако формат файлов для офлайн-взаимодействия для каждого типа устройства оказывался свой.

Все эти доработки, а также реализованное взаимодействие с Системой мониторинга системных регуляторов, установленной на Северо-Западной ТЭЦ (онлайн по протоколу С37.118-2005, офлайн – файлы формата COMTRADE, доступные по протоколу FTP), сформировали функциональность АС СИ СМНР 2.0. Вторая версия системы и была введена в промышленную эксплуатацию в 2012 году.

В настоящее время сбор данных посредством АС СИ СМНР производится с 207 регистраторов СМНР 43 энергообъектов ЕЭС:

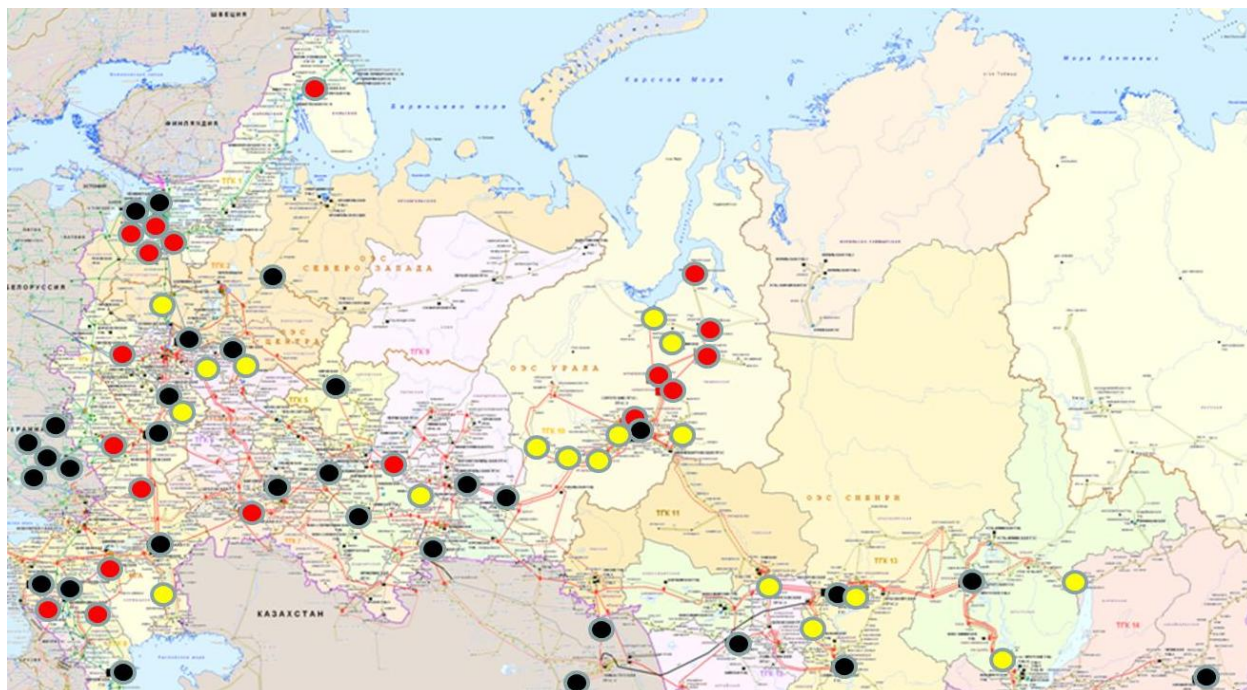


Рис. 1: Схема размещения ПТК СМНР в ЕЭС/ОЭС

На рисунке красным цветом отмечены объекты, на которых установлены онлайн-РМУ, чёрным – офлайн-РМУ, а желтым – запланированные к установке в ближайшее время.

2.2 Архитектура системы

Исторически основным назначением АС СИ СМНР было обеспечить автоматизацию ручной процедуры сбора информации непосредственно с регистраторов СМНР, а также передачу этой информации между филиалами ОАО «СО ЕЭС». Однако, как было рассказано в предыдущем разделе, при выполнении этой задачи необходимо было учитывать как заданные организационно-технические ограничения, так и решать неизбежно возникающие технические проблемы. Поэтому архитектура системы изначально строилась на принципах функциональной декомпозиции и гибкой возможности конфигурирования.

Функционально в архитектуре АС СИ СМНР выделено несколько взаимодействующих подсистем, каждая из которых состоит из компонентов или модулей:

Модуль/компонент	Назначение
Подсистема хранения телеизмерений	
База данных реального времени	Хранение и предоставление оперативной информации о значениях телеизмерений на текущий момент времени
Архив данных телеизмерений	Хранение и предоставление архивной информации о значениях телеизмерений за необходимый промежуток времени
Подсистема обработки телеизмерений	
Модуль анализа аварийных режимов	Оперативный контроль значений параметров электрического режима на предмет выхода за установленные ограничения
Подсистема приёма-передачи телеизмерений	
Адаптер протокола С37	Обеспечение приёма потока данных по протоколу С37.118-2005
Адаптер файлового протокола	Разбор офлайновых файловых данных различных производителей РМУ
Подсистема транспортного шлюзования	
Шлюз интеграции с FTP	Обеспечение возможности получения файлов по протоколу FTP
Шлюз интеграции с КИТС	Обеспечение возможности приёма и передачи данных через КИТС
Шлюз интеграции с SCADA	Выборочная передача оперативных данных телеизмерений в ОИК СК-2007
Подсистема управления и обработки запросов	
Модуль управления и конфигурирования	Настройка доступа к РМУ, списка телеизмерений, конфигурации модулей. Управление компонентами системы
Модуль обработки запросов	Обработка запросов на сбор и передачу данных, делегирование задач функциональным компонентам, подписка на данные.
АРМ Администратора	Графический интерфейс к возможностям управления, мониторинга и конфигурирования системы
Подсистема визуализации телеизмерений	
АРМ Технолога	Графический интерфейс технолога для визуализации данных и управления запросами телеизмерений

Табл. 1: Назначение компонентов подсистем АС СИ СМПР

АС СИ СМПР проектировалась как распределённая (установлена в нескольких филиалах ОАО «СО ЕЭС») и в определённой степени децентрализованная система (работоспособность каждого локального экземпляра системы не должна зависеть от остальных экземпляров и работы экземпляра организационно вышестоящего). Для реализации этих целей с учётом требований к надёжности и непротиворечивости все локальные конфигурации компонентов и настройки доступа к РМУ объединены в один объект, называемый топологией системы. Для работы любого компонента системы ему необходима топология, из которой он использует необходимую ему информацию. В исполнительном аппарате ОАО «СО ЕЭС» установлен экземпляр системы, являющийся корневым в топологии, остальные филиалы представляют собой узлы этой топологии, имеющие или не имеющие дочерние узлы. Каждый узел представляет собой экземпляр АС СИ СМПР, развёрнутый в соответствующем филиале. Каждый локальный модуль управления и конфигурирования отвечает за позиционирование компонентов своего узла в топологии и сообщает по запросу компонентов саму топологию и информацию о позиционировании текущего узла в топологии. Для редактирования топологии необходим доступ к экземпляру АС СИ СМПР центрального узла топологии, так как именно он отвечает за её целостность и непротиворечивость, а также рассылает изменения при редактировании по остальным узлам. Для работы системы без внесения изменений в топологию доступ до центрального узла не требуется, так как используется локальная копия топологии, полученная с центрального узла в последний раз, когда узел был доступен. Так реализована децентрализация системы, когда каждый узел может работать автономно. Для взаимодействия с РМУ экземпляры системы также устанавливаются на серверах буферного сегмента сети соответствующего узла и аналогично заводятся в топологии.

Реализованная архитектура позволяет гибко настраивать конфигурацию каждого узла АС СИ СМРР так, чтобы задействовать только необходимые для конкретной ситуации компоненты. На любом из узлов системы можно сконфигурировать доступ к РМУ объектов управления, если возможность такого доступа существует. При этом для взаимодействия между узлами используется КИТС, а для взаимодействия с объектами управления – доступный протокол посредством настройки соответствующих компонентов АС СИ СМРР на сервере буферного сегмента.

В общем виде взаимодействие объектов управления и узлов системы, а также взаимодействие между узлами АС СИ СМРР, представлено на следующей схеме:

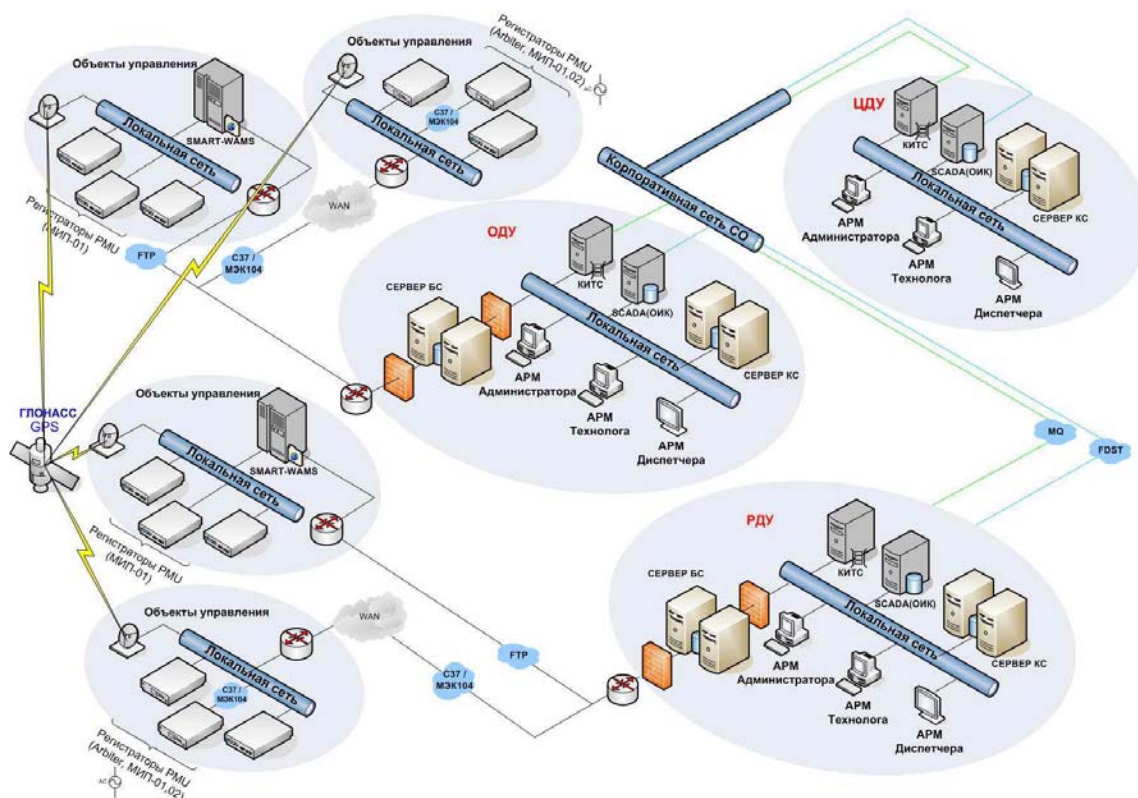


Рис. 2: Схема взаимодействия объектов управления и узлов АС СИ СМРР

2.3 Возможности системы

Помимо основного назначения системы – выполнения операций сбора информации с онлайн и офлайн регистраторов СМРР, в результате развития функциональности системы были реализованы дополнительные возможности:

1. Выполнение функций концентратора данных с онлайн-овых РМУ.
2. Выполнение операции распределённого сбора информации со всей системы, когда запрос выполняется только на ту часть данных, которой не хватает в системе. Также реализован автоматический сбор по подписке: любой узел можно настроить на получение данных с другого узла, тогда узел-источник автоматически с заданной периодичностью будет передавать архивы телеизмерений посредством КИТС на узел назначения.
3. Регистрация сигнальных ситуаций (выходов регистрируемых параметров за заданные ограничения) и оповещение всех узлов системы. Сигнальные ситуации автоматически создаются системой при обнаружении аварийного файла в файловом хранилище офлайн-ового РМУ. Для онлайн-овых РМУ сигнальные ситуации обнаруживаются при анализе потока данных модулем анализа аварийных режимов.

2.4. Импорт данных СМРП Эстонии, Латвии, Литвы, Украины и Казахстана.

Основным инструментом пользователя АС СИ СМРП является АРМ Технолога, предоставляющий различные виды отображения для разбора и анализа работы энергосистемы в нормальных и аварийных режимах.

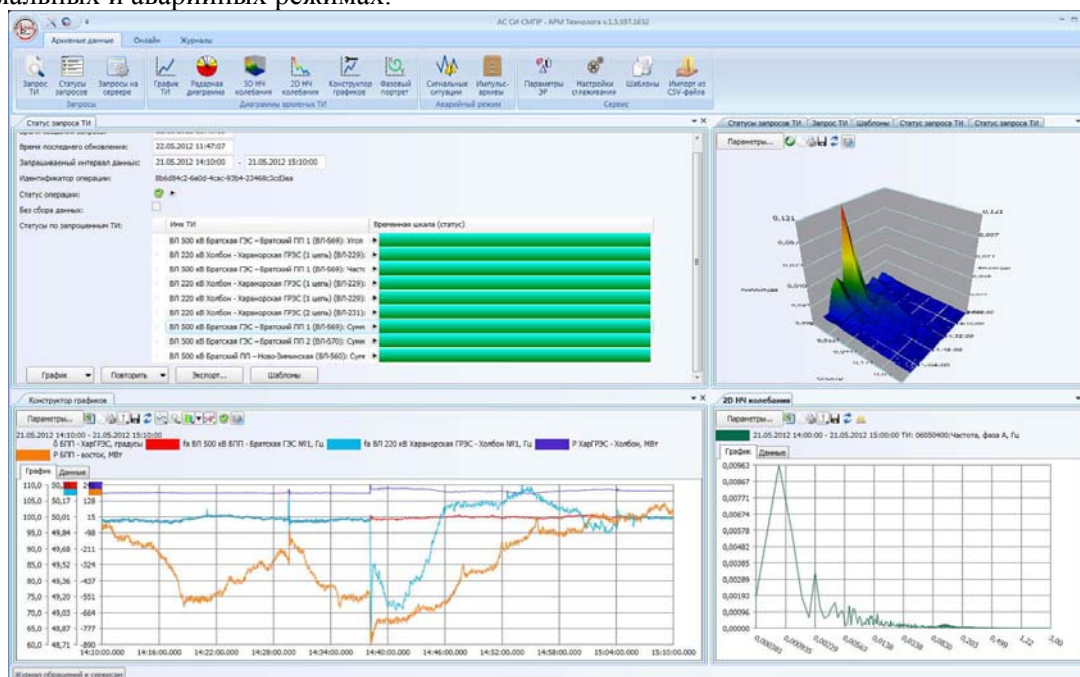


Рис. 3: Общий вид АРМ Технолога

АРМ Технолога позволяет получить доступ к данным СМРП из любой точки внутри ОАО «СО ЕЭС» и визуализировать их с использованием различных видов отображения.

Основной вид – это графики телеизмерений и графики параметров электроэнергетического режима (относительного угла, производной любого телеизмерения, перетока мощности, разности относительных углов) по времени. При этом доступны навигация (масштабирование, приближение части графика, покадровая прокрутка) и статистический анализ:

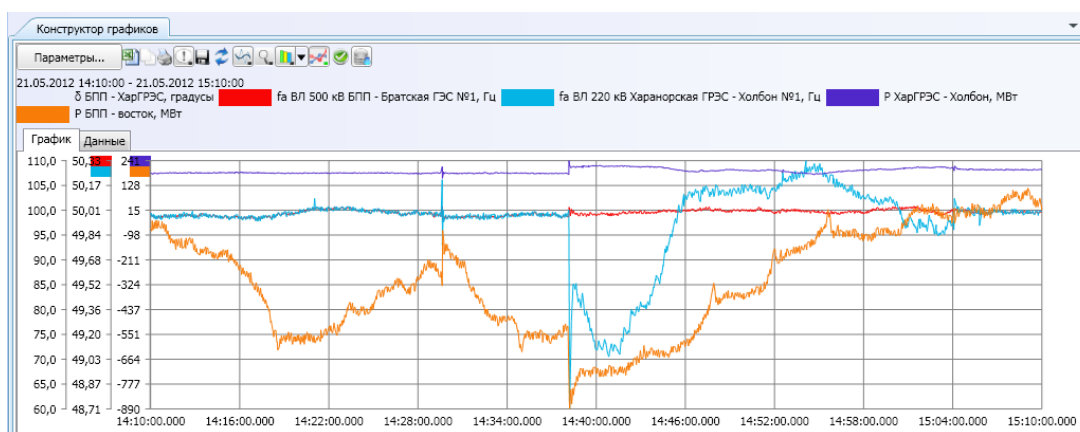


Рис. 4: Пример отображения конструктора графиков параметров электрического режима

Особенностью построения графиков в АРМ Технолога является то, что реализованный алгоритм визуализации позволяет отобразить график за любой произвольный промежуток времени вне зависимости от количества исходных данных (это является критичным, так как за 10 минут при дискретности в 20 мс получается 30 тысяч точек, а за сутки 4,32 миллиона точек). Для этого необходимый интервал времени разбивается на регулярные интервалы, для каждого

из которых в конечную выборку для отображения выбирается 2 точки экстремумов (локального минимума и максимума). Таким образом, при отображении любого количества исходных данных на графике присутствуют не все значения, а только характеризующие существенные перепады значений. Для уменьшения влияния случайных выбросов значений для отображения графиков был реализован следующий фильтр экспоненциального сглаживания:

$$x'_0 = \frac{\sum_{i=-n}^n x_i \times w_i}{\sum_{i=-n}^n w_i}, n = 0, 1, \dots, N, \text{ где}$$

- x'_0 — сглаженное значение на время t_0 ;
- N — лаг фильтра;
- x_n — значение, отстоящее на n отсчетов от x_0 ;
- w_n — вес значения x_n , рассчитываемый по формуле: $w_n = e^{-\alpha n}$, где α — коэффициент сглаживания. Если значение x_n не определено, то $w_n = 0$.

Рис. 5: Формула фильтра экспоненциального сглаживания

Вот, например, результат работы фильтра экспоненциального сглаживания для значений частоты:

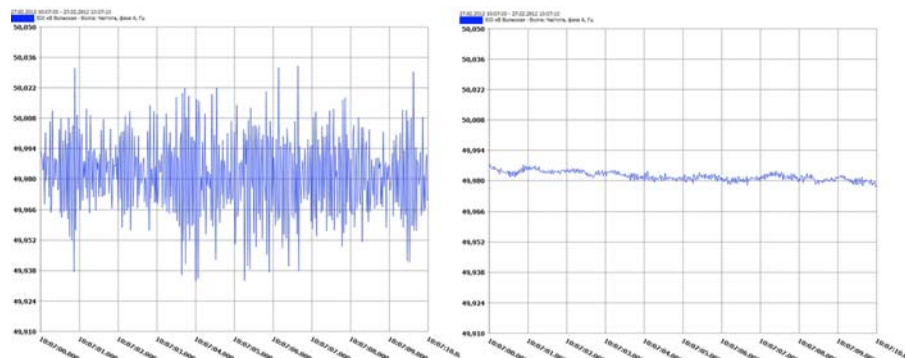


Рис. 6: Пример работы фильтра экспоненциального сглаживания значений частоты

В АРМ Технолога реализован функционал построения фазового портрета зависимости между различными параметрами электроэнергетического режима:

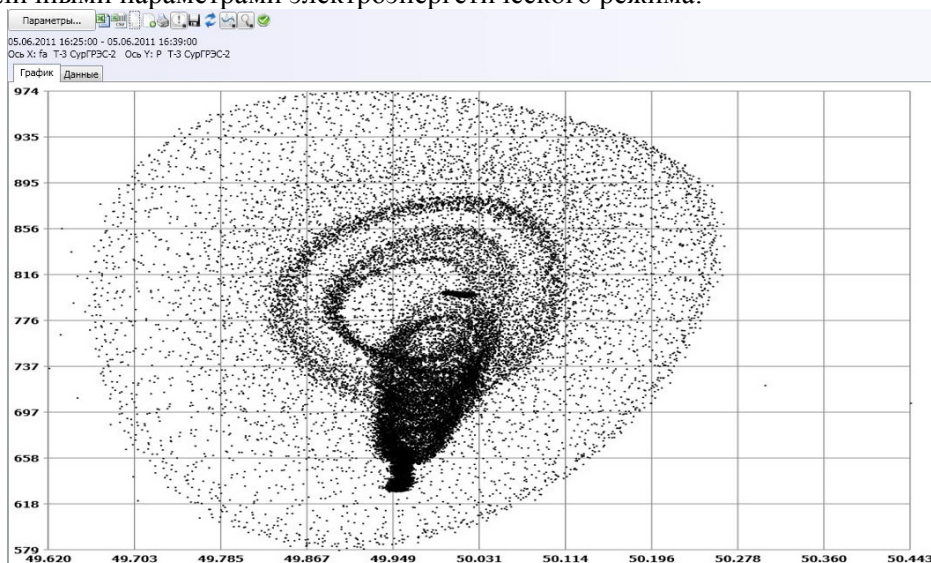


Рис. 7: Пример отображения фазового портрета

Реализованы в АРМ Технолога также графики низкочастотных колебаний как на плоскости, так и в виде трёхмерной изометрической поверхности (для расчёта спектра используется алгоритм быстрого преобразования Фурье):

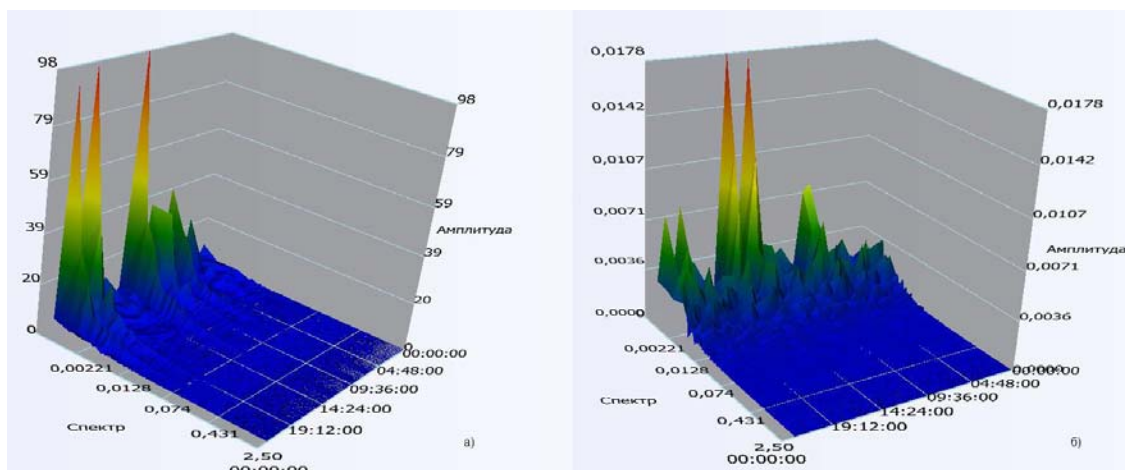


Рис. 8: Пример отображения трёхмерного графика низкочастотных колебаний

Таким образом, с развитием АС СИ СМПР не только расширяется список функциональных возможностей системы, но и возрастают возможности системы по визуализации и обработке данных СМПР.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе представлен практический опыт создания WAMS, полученный в процессе реализации и развития АС СИ СМПР в течение нескольких лет. Постепенно АС СИ СМПР приобретает функциональность аналогичных западных систем с учётом специфики требований, ограничений и пожеланий ОАО «СО ЕЭС» в рамках развития технологий СМПР.

Дальнейшее развитие системы связано с увеличением количества поддерживаемых типов РМУ, интеграцией с различными системами, связанными с СМПР, расширением списка возможных видов отображения, определением источника низкочастотных колебаний, повышением удобства работы с пользовательским интерфейсом.

С созданием АС СИ СМПР у технологов ОАО «СО ЕЭС» появился эффективный инструмент анализа параметров электроэнергетического режима, регистрируемых в СМПР, а также возникли предпосылки создания принципиально новых систем автоматического регулирования и управления режимами энергообъединения [4].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аюев Б.И. О системе мониторинга переходных режимов / Энергорынок, №2, 2006.
- [2] Куликов Ю. А. Использование технологии векторного измерения параметров в ЕЭС России для информационного обеспечения оперативно-диспетчерского управления / «Энергетик», №1, 2009.
- [3] Могилко Р. Н. Система мониторинга переходных режимов для объектов РАО «ЕЭС России» / «Энергетик», №7, 2006.
- [4] Демчук А.Т., Жуков А.В., Кац П.Я., Данилин А.В. Система мониторинга запасов устойчивости энергосистемы с использованием технологии векторного измерения параметров / Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем. Сб. тр. Международной научно-технической конференции, Москва, 2009.
- [5] А.В. Жуков, А.Т. Демчук, Д.М. Дубинин. Развитие технологий векторной регистрации параметров для противоаварийного и режимного управления электрическими режимами энергосистем / РЗА 2012 // Тезисы докладов XXI международной научно-технической конференции. Москва, ВВЦ, 2012. С. 232-245.