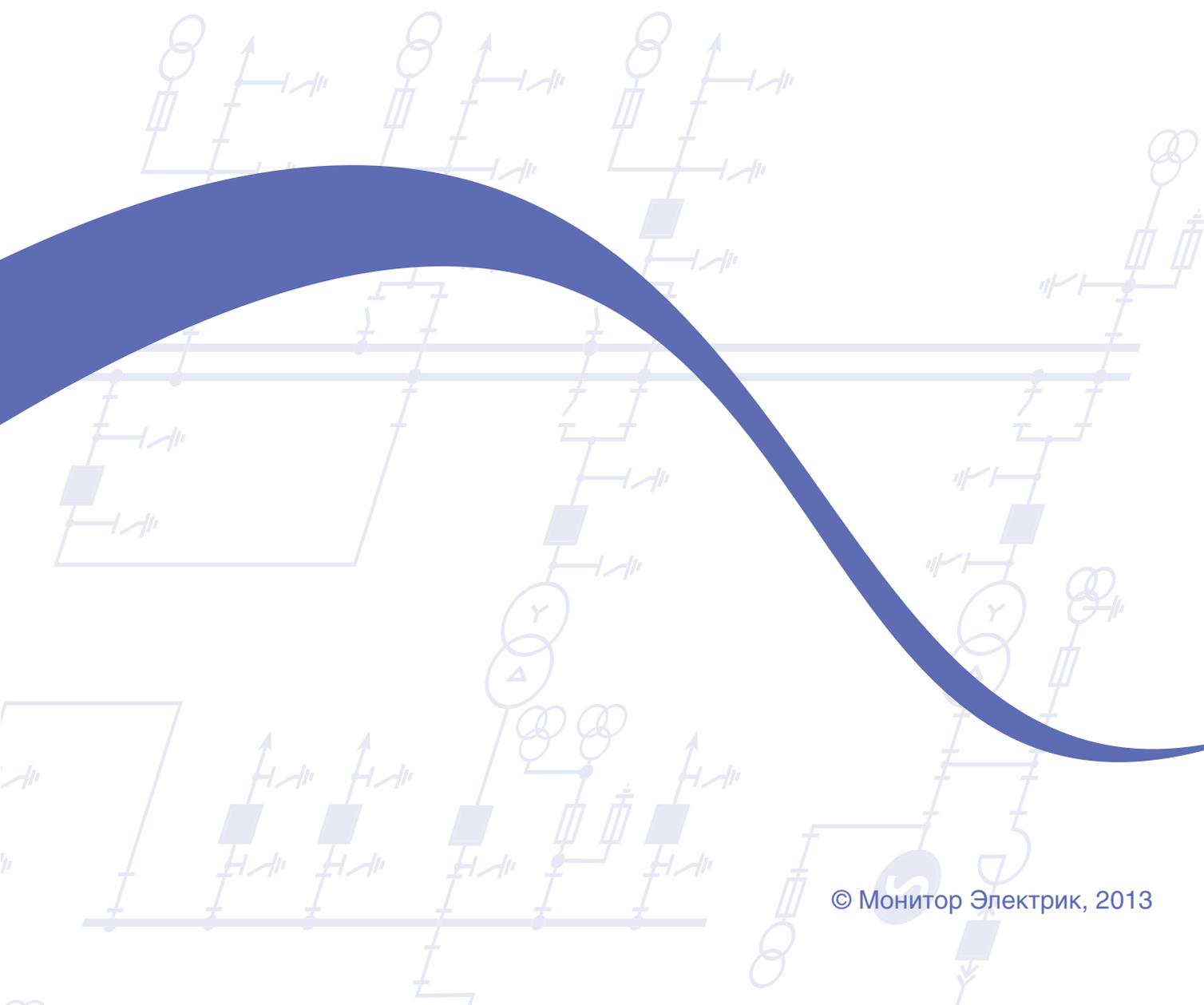


РЕЖИМНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДИСПЕТЧЕРА

ФИНИСТ



▶ НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Режимный тренажер диспетчера (РТД) **Финист** представляет собой программный комплекс, предназначенный для подготовки оперативно-диспетчерского персонала электроэнергетических систем.

Он предоставляет широкие возможности по воссозданию оперативной обстановки, близкой к привычной для диспетчера среде и переводит тренировки на качественно новый уровень. Уникальные инструменты для технолога повышают качество подготовки тренировочного процесса, а инструмент проверяющего лица впервые открывает путь к формализации оценивания хода и результатов тренировки, к повышению качества и объективности работы проверяющего.

Финист разработан с расчётом на продолжительный жизненный цикл. Это обеспечивается использованием новейших достижений в информационных технологиях мировой энергетики. Кроме того, учитывается современный уровень и перспективы развития аппаратных средств, операционных систем и программных технологий.

Тренажёрный комплекс может использоваться на всех этапах подготовки: начальная подготовка, самостоятельная подготовка, подготовка на оперативную должность, специальная подготовка (поддержание квалификации оперативного и оперативно-ремонтного персонала), переподготовка на новую должность, квалификационные проверки знаний, противоаварийные тренировки смены с целью выработки навыков коллективных действий и, наконец, межуровневые тренировки.

Тренировки могут ставить перед собой следующие цели:

- выработка навыков управления в типичных ситуациях;
- выработка навыков управления в условиях предаварийных и аварийных режимов;
- изучение поведения ЭЭС в конкретной ситуации, такой как: анализ режимов, проработка заявок на вывод в ремонт основного оборудования, проверка алгоритмов противоаварийной автоматики, оценка надежности прогнозных режимов и т.п.;
- аттестация оперативного персонала.

Тренажер также может быть использован для:

- выявления причинно-следственных связей цепи событий;
- оценки обоснованности и оперативности действий диспетчера, в том числе при ликвидации произошедших аварий;
- определения эффективности действия противоаварийных автоматик (правильности выбора уставок, дозирующих воздействий);
- отладки работы комплексов АРЧМ, ЦСПА путём включения их в общий программный комплекс тренажерного центра.



➤ АРХИТЕКТУРА И СОСТАВ КОМПЛЕКСА

Особое внимание уделяется вопросам интеграции тренажера в единый комплекс тренажерного центра, обеспечения взаимодействия с современными отечественными и зарубежными SCADA-системами и задачами EMS с использованием общепризнанных международных стандартов.

Архитектура тренажёра строится на взаимодействии ядра и прикладных модулей. Для поддержки модульности, а также для обеспечения возможности распределенной работы отдельных компонентов тренажера в РТД **Финист** выделяются два программных сервера, обычно размещенных на общей аппаратной платформе: **Финист**-сервер, включающий расчётное ядро и модули связи с клиентскими программами, и сервер модели, предназначенный для хранения исходного состояния модели энергосистемы в формате CIM.

Связь ядра с составными частями комплекса (модулями) осуществляется по протоколам GID, являющимися частью стандарта CIM. Это позволяет включать в состав комплекса новые модули и задачи сторонней разработки без переработки архитектуры тренажёра. В состав семейства протоколов GID входят протоколы:

- HSDA (High Speed Data Access) – для обмена данными в ходе тренировки;
- GES (Generic Eventing and Subscription) – для обмена сообщениями с целью протоколирования событий и уведомления клиентов тренажера о необходимости выполнить ту или иную операцию;
- GDA (Generic Data Access) – для доступа к данным модели энергосистемы.

Финист-сервер включает:

- Хранилище оперативной информации, с которым взаимодействуют все нижеследующие модули;
- Расчётный модуль (расчёт потокораспределения, решение дифференциальных уравнений динамики);
- Модули автоматик, дорасчётов, исполнения сценариев;
- Интерфейсы HSDA и событий для связи с клиентскими программами **Финиста**;
- Модули связи с внешними системами, в частности, модули генерации потоков телеметрии в тренажерные SCADA-системы (ОИК).

РТД имеет многопоточную структуру: программные модули, выделяемые по специфике выполняемых ими

Финист – это тренажер нового (пятого) поколения имеющий структуру, позволяющую его компонентам и внешним системам взаимодействовать с использованием современных международных стандартов, в том числе Common Information Model (CIM, IEC 61970), группы стандартов Generic Interface Definition (GID). Программное обеспечение функционирует в многопользовательском режиме. Как серверная, так и клиентская части функционируют среде MS Windows на базе платформы Microsoft .Net.

задач, работают в собственных потоках. Отдельные потоки создаются для автоматик, энергоблоков, изолированных фрагментов ЭЭС. Все это в комплексе обеспечивает максимальное использование возможностей современных многоядерных процессоров и многопроцессорных платформ и моделирование электроэнергетических систем очень больших размеров.



➤ Архитектура РТД **Финист**

▶ ОСНОВНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ МОДУЛИ ФИНИСТ

Редактор модели. Применяется при создании и корректировке моделей энергосистем, формировании перечней оборудования и топологических связей. Включает средства экспорта-импорта данных в формате CIM XML, что обеспечивает интеграцию **Финиста** с другими автоматизированными системами центров управления.

APM технолога. Обеспечивает полный цикл подготовки тренировочной сессии. Позволяет создавать проекты тренировок, включая данные, определяющие стартовый режим, специфический для данной сессии и сценария событий, происходящих в ходе тренировочной сессии. Содержит Редактор режимов с возможностью оперативной корректировки данных, средство поддержки диалога в формате «Что если...». Инструмент предоставляет средства не только для конструирования начального состояния ЭЭС, но и для пошагового моделирования переходных процессов. Основным элементом управления данного модуля является табличный процессор, в котором навигация между формами данных по объектам ЭЭС, составу шин, имеющимся ТИ и ТС осуществляется как через меню, так и по гиперссылкам. Наряду с возможностью корректировки параметров элементов, можно производить и общую настройку, например, указывать способ упорядочения узлов, длительность шага моделирования, перечень контролируемых параметров. Доступны также средства осциллографирования (в том числе для автономной работы без SCADA). Набор настроек можно сохранить в файле и использовать в следующем сеансе работы с программой.

APM администратора тренировок. С его помощью происходит управление ходом тренировочной сессии: загружается расчётная схема, устанавливается связь со SCADA-системой, запускаются автоматика и сценарии, осуществляется управление временем, предоставляется доступ к протоколу тренировки. АPM предоставляет средства фильтрации протокола тренировки по источникам событий.

APM диспетчера. Обеспечивает отображение состояния модели энергосистемы в табличном виде и на графических формах формата TOPAZ. Обеспечивается возможность использования готовых графических форм, подготовленных в ОИК СК.

APM контролирующего лица предоставляет средства поддержки оценивания результатов тренировки. Он позволяет проверяющему лицу вносить в ходе тренировки ремарки, выставлять баллы за конкретные действия. По итогам тренировки формируется протокол в форме, привычной для оперативно-диспетчерского персонала энергосистем. Другой важной функцией является формирование набора интегральных показателей эффективности действий, предпринятых в ходе тренировки (например, длительности отключения потребителей, отклонения основных показателей качества электроэнергии от регламентируемых значений).

Путь	URI	cim:allasName	cim:description	cim:name	cim:russ:Marking	cim:bc	cim:gch	cim:length	cim:r	cim:x
segment HCA 100bus/SCA 100bus/ORING-R/500K	d...			ANY-ORG		-50	0	1	3	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/ANDYTN/500K	d...			BBD-GAN		-2,79	0	1	0,6348	
segment WPC Area/ZONE01/GANNON/230K	d...			BBD-PBD		-8,19	0	1	1,8515	
segment WPC Area/ZONE01/PEBOLD/230K	d...			BBD-RSK1		-2,24	0	1	0,6348	
segment WPC Area/ZONE01/BBEND/230K	d...			BBD-RSK2		-2,79	0	1	0,4761	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/CRYSTAL/230K	d...			BCK-CRS		-6,88	0	1	1,7457	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/DAVIS/230K	d...			BCK-DVS		-6,45	0	1	1,5341	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/BRCREEK/230K	d...			BCK-GRT		-0,41	0	1	0,49...	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/GRATNY/138K	d...			BKR-BRV		-14...	0	1	6,77...	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/BAKER/230K	d...			BKR-NLW		-4,29	0	1	1,6399	
segment NPC Area/ZONE01/NLONGVD/230K	d...			BKR-TUR		-0,39	0	1	1,0051	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/BAKER/230K	d...			BKR-VOL1		-9,41	0	1	4,2849	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/VOL/230K	d...			BKR-VOL2		-9,52	0	1	3,7559	
segment HCA 100bus/SCA 100bus/BAKER/230K	d...									
segment NPC Area/ZONE01/CRPLANT/230K	d...									

▶ **APM Технолога**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Общее построение расчетного алгоритма

В основу РТД положена динамическая модель ЭЭС. Это означает, что тренажёр воспроизводит не только череду установившихся режимов между коммутациями или иными возмущениями, а и переходные процессы, представляя ЭЭС живой моделью. Считается, что все элементы обладают пофазной симметрией, и поэтому расчёты ведутся для прямой последовательности.

Из переходных процессов РТД **Финист** воспроизводит, в первую очередь, те, которые может контролировать и в которые может вмешиваться диспетчер. Это, прежде всего, процессы длительной динамики (тепловые процессы на электростанциях, регулирование частоты и мощности) и асинхронный ход.

Расчётный модуль тренажера обладает высокими быстродействием и надежностью, а адекватность его работы подтверждена экспертизой НИИПТ, г. Санкт-Петербург.

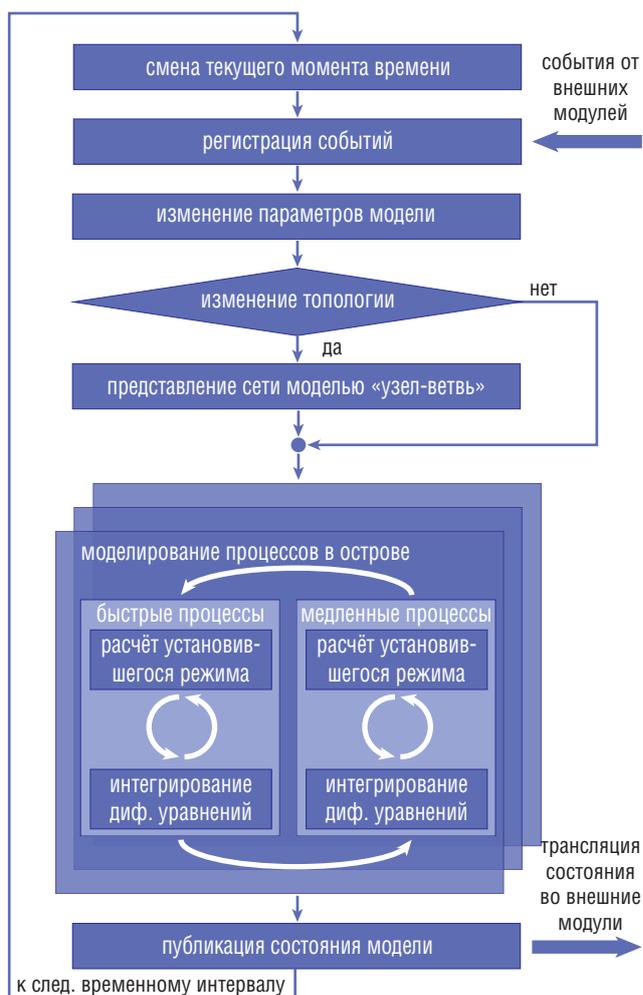
Источниками внешних возмущений являются команды инструктора, сигналы от исполнительных органов автоматики, команды автоматически исполняемого сценария или управляющие воздействия, поступающие от внешних систем (например, АРЧМ).

РТД имеет возможность управления ходом тренировок: приостановка-продолжение расчётов, приостановка сценариев.

Предусмотрена блокировка выхода режимных параметров за допустимые пределы, а также индикация нарушений в случае отсутствия блокировки. Такого рода страховка полезна на случай, если в модели не будет представлена, например, какая-либо автоматика, присутствующая в реальной системе.

Энергосистема может быть представлена несколькими изолированными фрагментами (островами). Расчёт переходных процессов для каждого из них выполняется независимо от остальных. При объединении островов запускается модель синхроскопа, выполняющая контроль разности частот, модулей и фаз напряжения.

Основной объём вычислений выполняется в ядре расчётного алгоритма, структурная схема которого представлена на рисунке. Наряду с ядром, вычисления ведутся многочисленными автономными модулями. В виде отдельных модулей оформляется большинство типов автоматик, средства исполнения сценариев и ряд иных программных компонентов.



Общее построение расчетного алгоритма

События, информация о которых импортируется в расчётный модуль, могут генерироваться внешними по отношению к расчётному ядру модулями. Событие может сгенерировать выявительный или пусковой орган противоаварийной или режимной автоматики. Например, его порождает АЧР при снижении частоты ниже уставки или автоматика переключения регулировочных ответвлений трансформатора при выходе контролируемого напряжения за пределы зоны нечувствительности.

Наступление события в определенный момент времени можно включить в исполняемый сценарий. Пользователь инициирует события, изменяя уставки или выполняя коммутации через интерфейс диспетчера или средствами ОИК.

Администратор тренировки может управлять темпом времени, запускать сценарии, отключать автоматика и выполнять иные действия.

Моделирование медленных процессов

На спокойных этапах не учитываются взаимные качания роторов синхронных машин, процессы в их электромагнитных цепях и в системах регулирования возбуждения.

Для решения дифференциальных уравнений используется явный метод предиктор-корректор, основанный на методе Адамса. Порядок точности метода и шаг интегрирования автоматически подбираются так, чтобы обеспечить приемлемую погрешность.

Расчёт режима ведётся методом Гаусса-Ньютона в логарифмических полярных координатах и может быть дополнен методом Зейделя. Реализованы алгоритмы регулирования шага, защита от частой смены типа генераторных узлов при выходе на границы по реактивной мощности, несколько альтернативных методов поиска стартового приближения.

Моделирование интенсивных процессов

После резких возмущений, во время асинхронного хода или возникших по иным причинам резких колебаний напряжений в узлах происходит переключение на модель быстрой динамики. В ней учитываются отличия скоростей синхронных машин, процессы в их электромагнитных цепях и в системах регулирования возбуждения.

Режим рассчитывается Z-методом с учетом нелинейности нагрузок. Баланс мощности в узлах гарантируется и во время интенсивных переходных процессов.

Начальное состояние

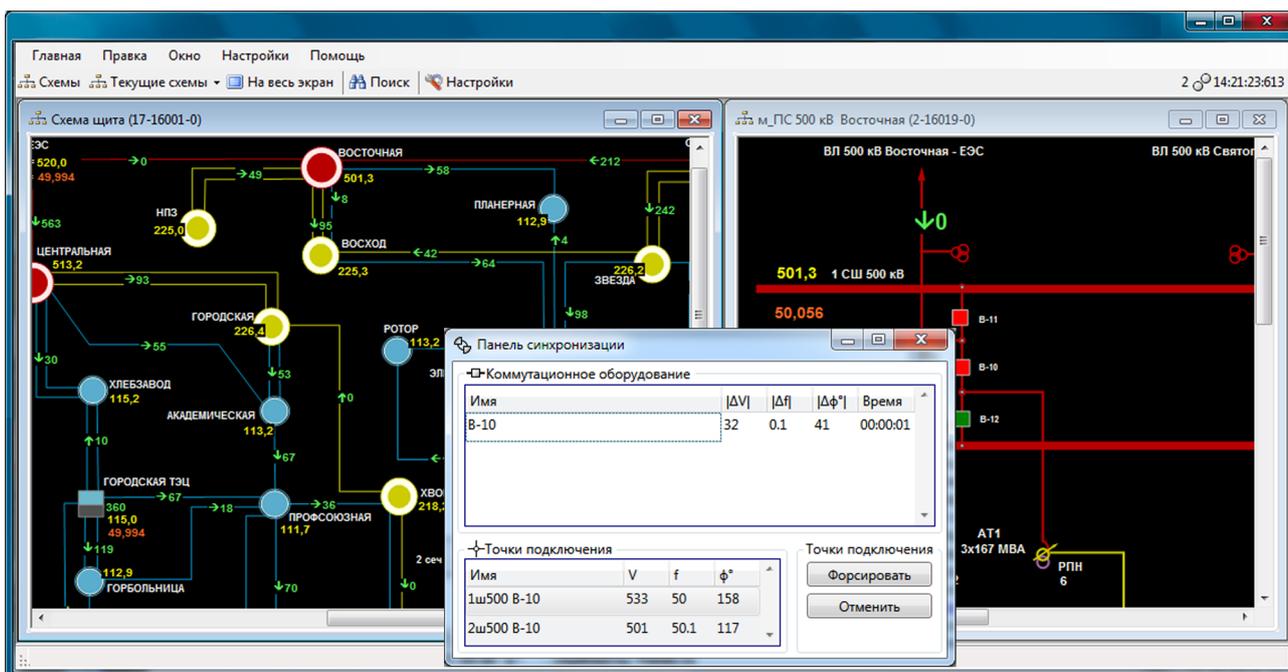
На момент начала тренировки система может состоять из нескольких изолированных фрагментов. Допускается несколько вариантов балансирования режима:

- с одним или несколькими базисно-балансирующими узлами при заданной частоте;
- с распределённым балансирующим узлом при заданной частоте;
- за счет первичных регуляторов скорости турбин и регулирующих эффектов нагрузки по частоте;
- за счет изменения энергии вращения роторов синхронных машин и при их ускорении.

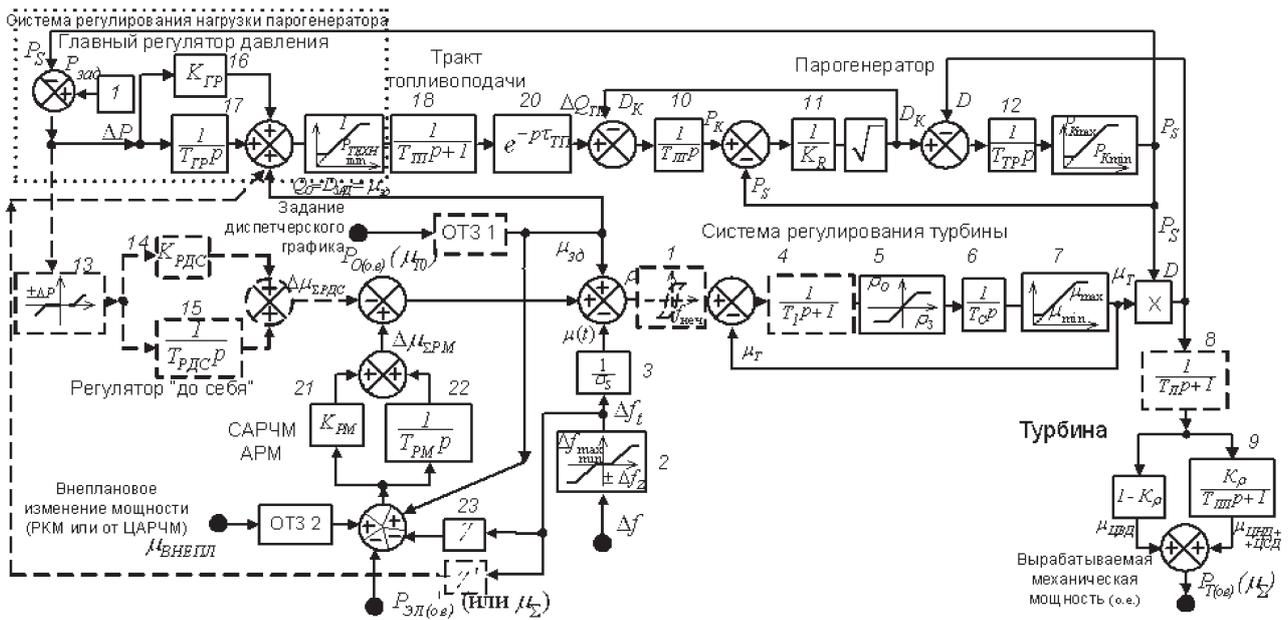
Генерирующие объекты модели ЭЭС

В РТД *Финист* представлены следующие типы электростанций:

- тепловые;
- гидроэлектростанции, в том числе гидроаккумулирующие;
- атомные;
- газотурбинные.



Динамическая модель. Момент синхронизации островов



➤ Пример модели теплового блока

Каждая генерирующая единица может быть включена в состав группового объекта управления генерацией.

Сетевые объекты модели ЭЭС

Основными сетевыми объектами модели Финист являются:

- силовые трансформаторы;
- линии электропередачи;
- продольные компенсирующие устройства;
- источники реактивной мощности.

Эффективное использование многообразия источников реактивной мощности (ИРМ) на всех уровнях напряжения является также важной задачей при проведении режимных тренировок диспетчерского персонала.

В РТД Финист представлены следующие модели источников реактивной мощности (ИРМ):

- батареи статических конденсаторов (БСК);
- шунтирующие реакторы:
 - коммутируемые (ШР);
 - управляемые (УШР);
- статические тиристорные компенсаторы (СТК).

Узлы энергопотребления

Узлы комплексной нагрузки – это те элементы модели ЭЭС, параметры которых известны значительно хуже, чем параметры любых иных объектов. Нагрузки непрерывно меняются, складываются из большого числа отдельных электроприемников и фидеров.

Адекватность модели нагрузки достигается за счет конструирования облика потребителя из нескольких типовых блоков. Подключение к одному узлу нескольких таких блоков способствует воссозданию наиболее важных свойств и типовых сценариев развития аварий в тренировках диспетчерского персонала.

Основным является представление нагрузки в виде статических характеристик потребления в зависимости от уровня напряжения и частоты. Управление нагрузкой во время тренировки учитывает структуру групп и зон потребления и позволяет изменять величину потребления по различным законам. Реализована динамическая модель восстановления мощности нагрузки после ее погашения. Имитация случайных колебаний потребления позволяет «оживить» модель энергосистемы в тренажере.

Отдельно выделена модель потребления собственных нужд электрических станций.

Средства автоматического управления

Реализованные средства можно разделить на две группы:

- противоаварийная автоматика;
- общесистемные средства регулирования частоты и активной мощности.

В настоящей версии РТД любая автоматика реализуется как разновидность обобщенной структуры – универсальной автоматики.

Она содержит несколько ступеней срабатывания. Ступень имеет пусковой (выявительный) орган, воздействующий на исполнительное устройство. Дозирующее устройство считается частью исполнительного. Для пускового органа указывается выдержка времени, в течение которого должно соблюдаться условие пуска, и одно или несколько сравнений вида «параметр режима – операция – уставка».

Условие пуска считается выполненным, если результаты всех сравнений оказывались непрерывно истинными в течение заданного интервала.

Условие возврата для выявительного органа задается так же, как и условие пуска. Для исполнительного органа указывается время задержки и одно или несколько воздействий вида: «параметр режима – операция – уставка».

Универсальная модель позволяет воссоздавать наиболее распространенные типы комплектов автоматики, связанные общей структурой параметров и реализующие следующие функции:

- автоматическое предотвращение нарушения устойчивости (АПНУ);
- автоматическое ограничение снижения частоты (АОСЧ);
- автоматическое ограничение повышения частоты (АОПЧ);
- автоматическое ограничение снижения напряжения (АОСН);
- автоматическое ограничение повышения напряжения (АОПН);
- автоматическая разгрузка оборудования (АРО);
- автомат безопасности турбины (АБ);
- защита АЭС от режимов с большим уклонением частоты.

Групповые и общесистемные средства управления РТД Финист представлены моделями:

- группового регулятора напряжения и реактивной мощности (ГРНРМ);
- центральной системы автоматического регулирования частоты и мощности (ЦС АРЧМ).

Источники реактивной мощности (ИРМ)

ИРМ представлены устройствами двух классов: дискретно (ступенчато) и плавно управляемые. Ступенчато управляемые устройства – это БСК и шунтирующие реакторы.

Переключение ступеней дискретно управляемых источников считается медленным и выполняется по сигналу телеуправления. Этот сигнал может подаваться командой оператора или автоматикой, следящей за контролируемым параметром – напряжением, реактивной мощностью, коэффициентом мощности.

Плавно управляемые источники служат для представления статических тиристорных компенсаторов или реакторов (тиристорно управляемых или подмагничиваемых). В РТД реализованы следующие режимы регулирования напряжения для ИРМ: поддержание заданного значения, регулирование со статизмом.

Расширение математической модели

При разработке динамической модели энергосистемы учтен большой опыт специалистов Монитор Электрик и зарубежных разработчиков аналогичных систем.

В процессе внедрения РТД возникает необходимость расширения и уточнения математической модели тренажера. Эта работа выполняется квалифицированными специалистами с последующим включением расширений в пакет поставки комплекса.

Все программные интерфейсы ядра тренажера являются открытыми и документированными. У пользователя есть возможность самостоятельно добавлять собственные модули, расширяющие модель поведения РТД.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ

Подсистема отображения

Методика проведения тренировок требует максимально точного воспроизведения рабочего места диспетчера, каковую возможность обеспечивают средства отображения информации тренажерной копии SCADA-системы. **Финист** генерирует для тренажерной SCADA-системы поток данных, эмулируя источники телеметрической информации.

Для нужд тренировок, в которых участвуют несколько центров управления, могут генерироваться одновременно несколько потоков данных. Таким образом, каждый центр управления со своей SCADA-системой будет обеспечиваться данными о состоянии моделируемой энергосистемы. При этом для каждого направления поддерживаются корректные идентификаторы телеметрических параметров.

Тренажерные SCADA-системы можно использовать не только для наблюдения, но и для управления состоянием моделируемой энергосистемы. Для этого используются стандартные алгоритмы телеуправления, телерегулирования и/или ручного ввода. Никаких специфических доработок в SCADA не требуется.

В тренажерный программный комплекс на базе **Финист** могут быть включены модели ГРАМ, ЦС АРЧМ, а также любые другие внешние программы, поддерживающие обмен данными по протоколам CIM (GDA, HSDA) или способные принимать данные из тренажерной SCADA-системы.

В качестве внешней задачи также может выступать (и обеспечиваться телеметрией) тренажер оперативных переключений. Это позволяет совмещать режимные тренировки с отработкой действий персонала подстанций.

Для автономной работы в РТД **Финист** предусмотрена подсистема отображения АРМ Диспетчера, обеспечивающая представление информации на графических формах, созданных в **TOPAZ Graphics**, и на табличных формах. Кроме отображения АРМ Диспетчера обеспечивает возможность управления моделью. При этом, в отличие от внешних систем отображения, в АРМ Диспетчера можно вводить сложные команды в модели оборудования, например, команды на изменение режима работы генерирующих устройств.



Работа со сценариями

Активизация сценария происходит по команде инструктора.

Сценарий тренировки состоит из последовательности шагов, представляющих собой группу одновременно исполняемых воздействий. Реализована возможность условного исполнения отдельных ветвей сценария. Один и тот же сценарий может быть исполнен для разных исходных режимов и топологии схемы сети.

Несколько сценариев могут исполняться одновременно, например, частные сценарии центров управления, участвующих в межуровневой тренировке.

Исполнение сценария или его отдельных шагов может быть задержано или отменено инструктором.

Протоколирование хода тренировки

Протокол тренировки создается в формате XML и пригоден для обработки стандартными средствами

формирования отчетов, допускает импорт в стандартные офисные программы (MS Office).

В протокол вносятся все изменения и запросы от любых модулей тренажера, в том числе и вспомогательных.

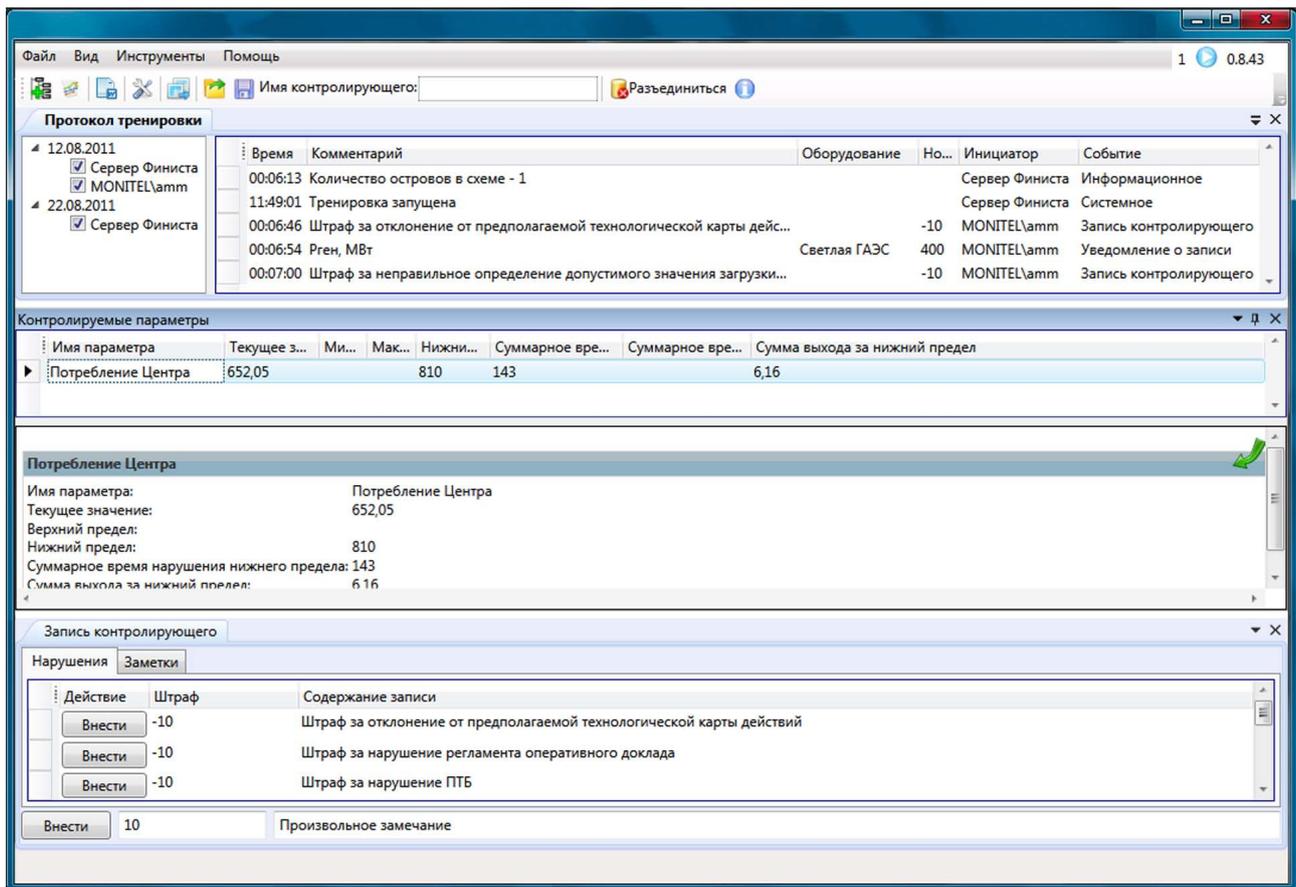
Введены средства фильтрации отображаемого объема информации из общего потока событий для нужд различных групп пользователей (инструктор, проверяющий, третьи лица).

В окне отображения протокола применяются различные способы группировки информации, содержание которой имеет привычный для оперативного персонала ЭЭС вид.

По протоколу тренировки автоматически может быть сгенерирован ее сценарий.

The screenshot displays the software interface for power system simulation. On the left is a hierarchical project tree for 'Стартовая.финproj'. The central console window shows technical data for '1-й остров' and '2-й остров', including parameters like $\sqrt{\Sigma|\Delta S|^2}$, $\max|\Delta P + j\Delta Q|$, and $\Delta P + j\Delta Q$. On the right, there are two diagrams: 'Подстанция Центральная, район: Центр' showing a network with nodes like 'Сатурн' and 'Ш220-ВЛ Сатурн', and 'Схема щита' showing a detailed busbar diagram with various busbars and their associated parameters.

Подготовка тренировки



➤ АРМ Контролирующего: контроль недоотпуска и экспресс-оценка

Автоматизированная поддержка оценивания результатов тренировки

Итоговая оценка результатов проведения тренировок выставляется контролирующим лицом. Работа контролирующего лица поддерживается специальным инструментарием.

АРМ Контролирующего лица предоставляет возможность создания отчетного протокола тренировки в формате MS Word, который содержит:

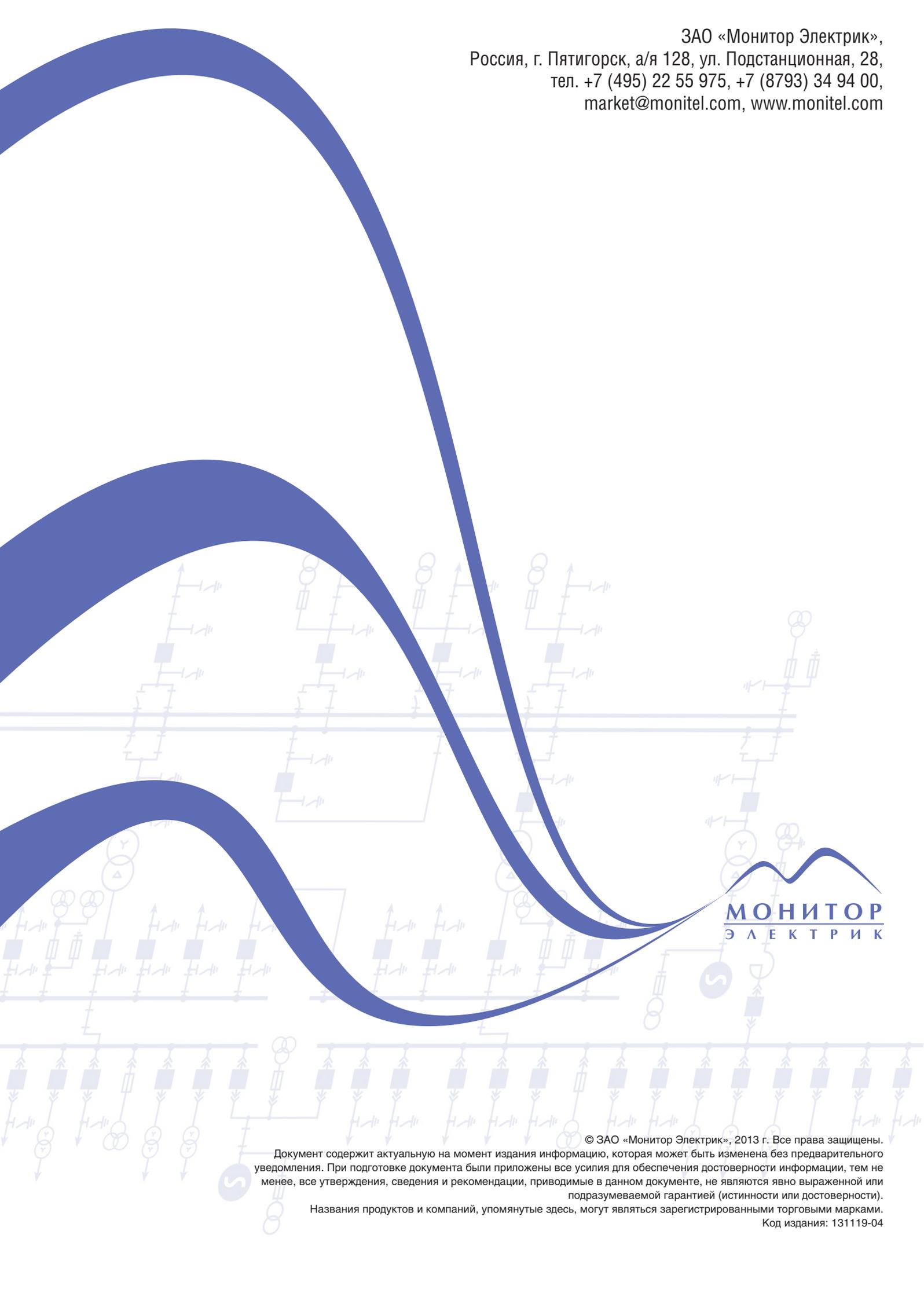
- протокол событий тренировки;
- значения интегральных параметров, случаи и длительность нарушения пределов;
- записи экспресс-оценивания, которые контролирующий вносит по ходу тренировки.

Протокол событий тренировки аналогичен тому, который можно просмотреть в АРМ Администратора, он содержит команды, отданные из всех источников (собственных программ или внешних систем), информацию о разделении или слиянии островов и т.п.

Реализованы средства генерации отчетов и ведения статистики интегральных показателей эффективности предпринятых в ходе тренировки действий. Эти показатели призваны давать объективную оценку допустимости и качества ведения режима ЭЭС, эффективности предпринятых действий. Среди интегральных показателей можно выделить такие, как недоотпуск электроэнергии, максимальная продолжительность перерыва питания, максимальные отклонения основных показателей качества электроэнергии (модуль напряжения, частота) в контрольных точках от нормируемых значений.

Реализована возможность отображения в виде осциллограмм динамики изменения контролируемых режимных параметров, представляющих особый интерес при анализе эффективности действий диспетчера в ходе тренировки.

Записи экспресс-оценивания могут быть нескольких типов (замечания, нарушения, оценка) и могут быть связаны с принятой балльной системой оценивания тренировки.



МОНИТОР
Э Л Е К Т Р И К

© ЗАО «Монитор Электрик», 2013 г. Все права защищены.
Документ содержит актуальную на момент издания информацию, которая может быть изменена без предварительного уведомления. При подготовке документа были приложены все усилия для обеспечения достоверности информации, тем не менее, все утверждения, сведения и рекомендации, приводимые в данном документе, не являются явно выраженной или подразумеваемой гарантией (истинности или достоверности).

Названия продуктов и компаний, упомянутые здесь, могут являться зарегистрированными торговыми марками.

Код издания: 131119-04