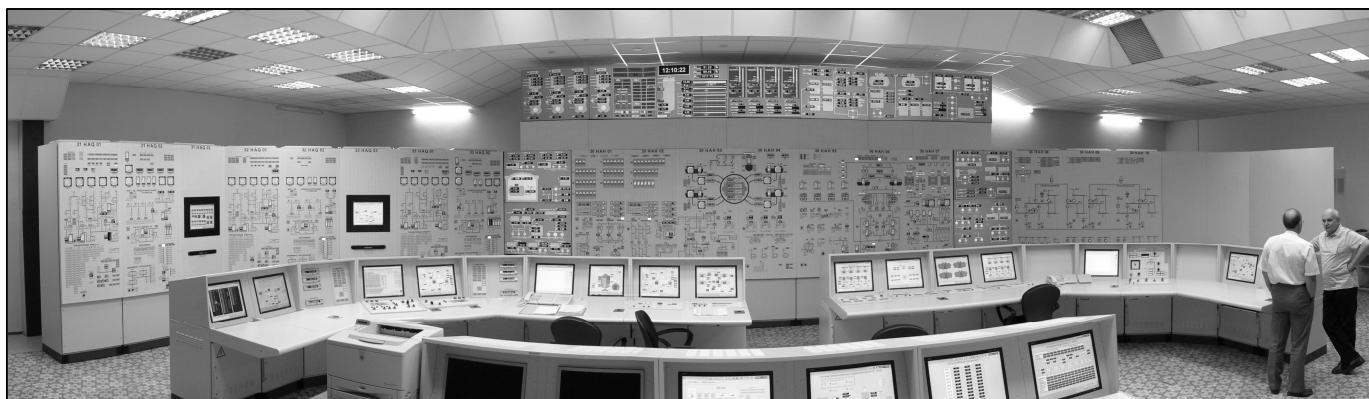


РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПОЛНОМАСШТАБНОГО ТРЕНАЖЕРА ТРЕТЬЕГО ЭНЕРГОБЛОКА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Чернаков В.А., Выговский С.Б., Краюшкин Ю.В., Осадчий М.А., Мишерин С.А., Королев С.А., Ефремов В.В., Прокопенко Д.А.

Московский инженерно-физический институт (государственный университет), Экспериментальное научно-исследовательское и конструкторское объединение Тренажерные системы обучения», РОССИЯ, Москва, Каширское ш., 31, E-mail:contact@eniko.ru

Рассматриваются различные аспекты создания полномасштабного тренажера энергоблока №3 Калининской АЭС, на котором впервые внедрена цифровая АСУТП на основе ТПТС-51 и исполняющей системы RTA PLS. Тренажер построен на базе платформы ЭНИКАД. Модель АСУТП для тренажера создана методом генерации из ПО АСУТП, что позволяет отслеживать изменения в реальной АСУТП.



В соответствии с требованиями российских надзорных органов и стандартами МАГАТЭ полномасштабные тренажеры для вновь возводимых энергоблоков должны вводиться до сдачи в эксплуатацию самого энергоблока.

В связи с изменением проекта строившегося блока №3 Калининской АЭС и внедрением впервые цифровой АСУТП на базе средств нижнего уровня типа ТПТС-51 и использованием для управления технологическими процессами новой системы верхнего блочного уровня (СВБУ) с дисплейными рабочими местами на базе исполняющей системы RTA PLS, полномасштабный тренажер, поставленный ВНИИАЭС, утратил свою актуальность и был передан в Ивановский технический университет.

При создании новой версии полномасштабного тренажера необходимо было учитывать следующее:

- Средства ТПТС-51 и СВБУ на базе RTA PLS впервые внедряются на АЭС, поэтому модели нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС-51 и СВБУ должны быть включены в состав полномасштабного тренажера;
- Модели ТПТС-51 и СВБУ тренажера должны отслеживать многочисленные изменения, вносимые в проект АСУТП в процессе пуско-наладки и дальнейшей эксплуатации 3-го энергоблока;
- Будучи программным комплексом, СВБУ функционирует на основе компьютерных файлов-видеокадров известного формата системы RTA PLS. Большое количество форматов СВБУ делает неэффективным их моделирование путем ручного рисования;
- Алгоритмы сигнализации, защит, блокировок и регуляторов энергоблока в части ТПТС представлены в виде огромного количества GET-планов (~ 40000) и подвержены достаточно быстрым изменениям. Вследствие этого создание и поддержание адекватности модели нижнего уровня АСУТП (в части ТПТС) ручным способом практически невозможно.

Концерном "Росэнергоатом" было принято решение о разработке и внедрении полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС (ПМТ-3) в 2 этапа.

На первом этапе (2005 г.) в эксплуатацию был введен пусковой комплекс ПМТ-3 на базе проекционных средств имитации панелей БПУ и компьютерных средств управления с рабочих мест операторов.

На втором этапе (2006 г.) к пусковому комплексу ПМТ-3 были подключены пульта и панели, полностью аналогичные реальному БПУ с учетом всех его изменений в ходе опытной и первых месяцев промышленной эксплуатации.

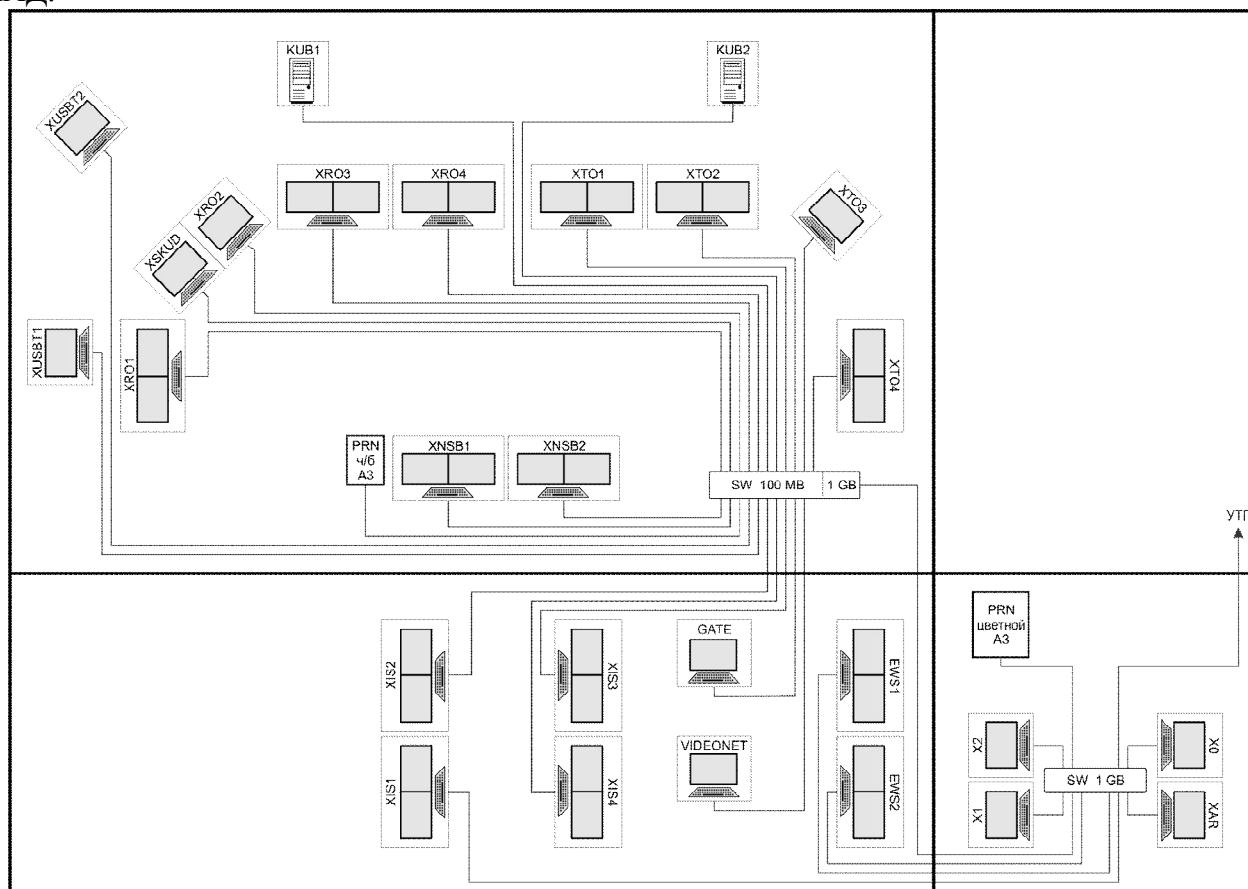
В комплекс ПМТ-3 входят:

- комплексная, всережимная модель реального времени 3-го энергоблока Калининской АЭС;
- рабочие станции обучаемых, являющиеся точными копиями рабочих мест операторов реального БПУ;
- рабочая станция инструктора;

В состав комплексной всережимной модели реального времени 3-го энергоблока Калининской АЭС входят следующие части:

- Трехмерная двухгрупповая модель активной зоны, аттестованная ГАН РФ;
- Модели теплогидравлических систем энергоблока, созданные с помощью САПР, входящей в состав ЭНИКАД;
- Модели электрических систем энергоблока, созданные с помощью САПР, входящей в состав ЭНИКАД;
- Модель АСУТП нижнего уровня;
- Модель СВБУ.

Все компоненты программного обеспечения ПМТ-3 были созданы на базе платформы ЭНИКАД.



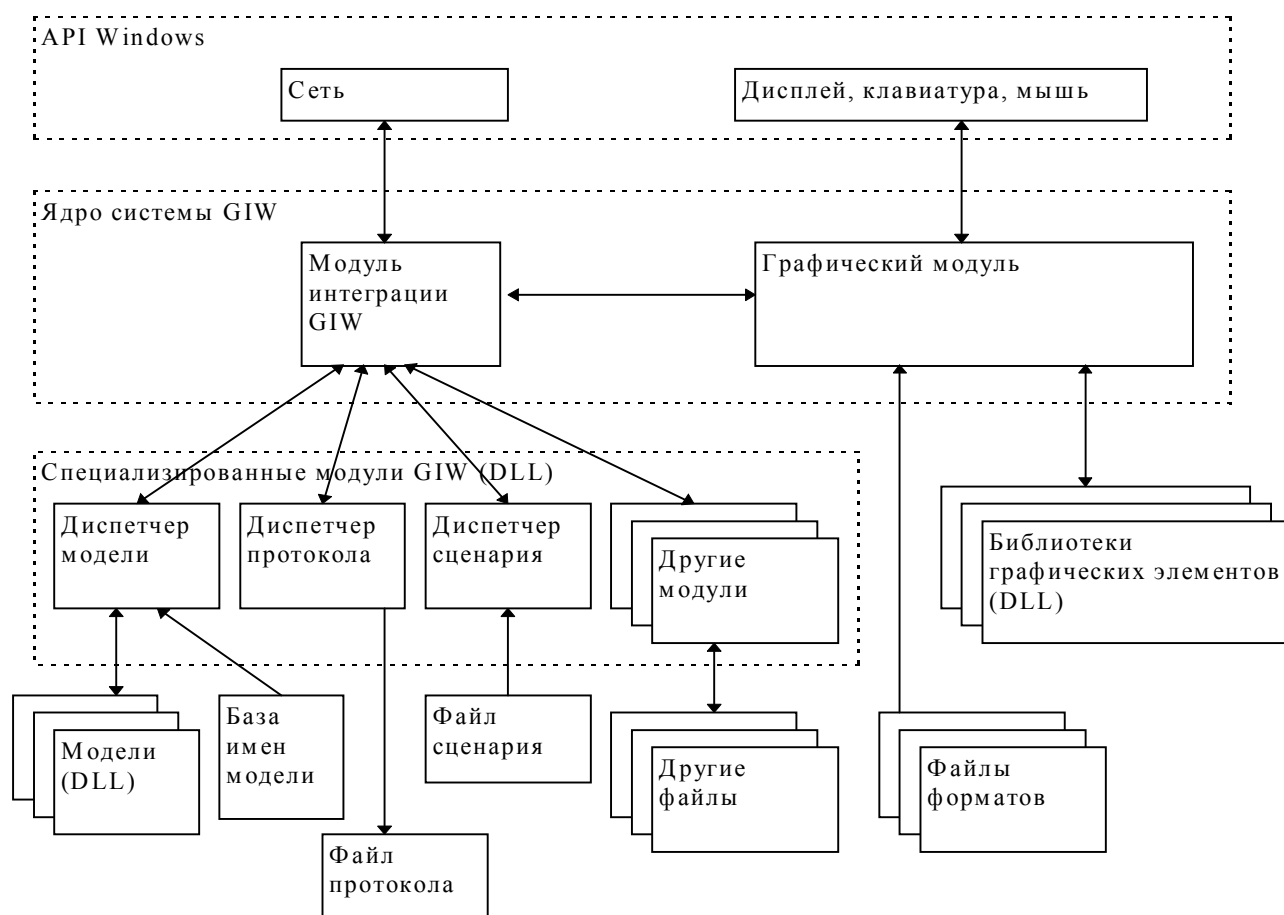
Структура моделирующего компьютерного комплекса ПМТ-3

Основным компонентом ЭНИКАД является программа GIW (Graphical Interface Workshop). Программа реализована по модульному принципу – к ядру GIW могут добавляться

специализированные подсистемы (в виде DLL), обеспечивающие требуемую функциональность создаваемой системы.

Программный комплекс ЭНИКАД функционирует на персональных компьютерах с ОС MS Windows. ЭНИКАД обеспечивает решение следующих основных задач:

- Создание моделей технологических процессов (физических процессов в оборудовании) и АСУ ТП (САПР и генератор моделей, использование ручного кода, интегрированная система сборки моделей).
- Создание специализированных пользовательских интерфейсов, в том числе моделей интерфейсов пользователя (оператора) энергоблока.
- Интеграция моделей в тренажер (поддерживаются однопроцессорные, многопроцессорные и сетевые конфигурации).
- Поддержка обучения на тренажере и управление тренажером (встроенная инструкторская станция, инфраструктура для моделирования отказов, сохранения/восстановления состояния модели и т.п.).
- Нарращивание возможностей используемых САПР и встроенного графического редактора с минимальным программированием.
- Связь компьютеров тренажера с реальной аппаратурой АСУТП и БПУ (использование программ связи вместо моделей).
- Отслеживание версий графических изображений (схем САПР, видеокадров).



Функциональная структура платформы ЭНИКАД

САПР моделей систем автоматики позволяет производить автономную предварительную отладку модели технологической системы без включения ее в полный проект. Для этого на основе схемы САПР собирается отдельная модель, которая может быть запущена в отсутствие других моделей под управлением GIW.

Среда разработки позволяет контролировать сигнал в любой точке схемы САПР в реальном времени, изменять параметры настройки элементов.

САПР моделей теплогидравлических систем предназначен для создания динамических моделей теплогидравлических сетей и разнообразного оборудования в их составе. Он позволяет проектировать модели с использованием набора стандартных (базовых) элементов теплогидравлики, таких как объемы воды и пара, трубы, ступени турбин, насосы, теплообменные аппараты, обратные клапаны, запорная и регулирующая арматура, датчики основных параметров КИП и т.п., а также специализированных (составных) элементов.

При математическом моделировании теплогидравлических систем используется неявная нелинейная схема с внутренними итерациями. На каждой итерации решается система уравнений относительно приращения переменных состояния на данной итерации. Такой подход позволяет существенно уменьшить влияние погрешностей вычислений на результат.

Элементы САПР разрабатываются с помощью редактора элементов САПР, входящего в состав GIW. Разработка новых элементов доступна конечному пользователю. Мнемоника элементов схем САПР в основном соответствует стандартным технологическим схемам теплогидравлических систем. Большая по объему теплогидравлическая схема может быть разбита на произвольное число отдельных листов с сохранением связей между ними. Результатом компиляции схемы САПР является программный код на языке Фортран и другие файлы.

Разумеется, и в этом случае среда разработки предоставляет полный набор возможностей по настройке, отладке и документации моделей.

САПР моделей электрических систем построен аналогично САПР моделей теплогидравлических систем. Он позволяет проектировать модели основного и вспомогательного оборудования электростанций, а также сетевые структуры энергосистем. Базовыми объектами являются модели таких устройств, как генератор, электродвигатели различных типов, трансформаторное оборудование, кабельные и воздушные линии электропередачи, сеть бесконечной мощности, измерительные приборы в точках подключения. Моделируется влияние коммутаций на топологию сети.

Модель СВБУ также генерируется полностью автоматически с помощью созданного на базе платформы ЭНИКАД программного комплекса по файлам штатных серверов реального СВБУ. При этом модель СВБУ полностью совместима с моделью нижнего уровня АСУ ТП на базе средств ТПТС. Более того, модель СВБУ (в отличие от реального СВБУ) может использоваться для выбора на отображение GET-планов, соответствующих выбранному на видеокадре СВБУ объекту управления. В результате получена возможность очень эффективного совместного анализа работы нижнего уровня АСУ ТП на базе средств ТПТС и СВБУ, чисто на программных моделях в среде ЭНИКАД, что очень важно для быстрого освоения оперативным персоналом Калининской АЭС новой цифровой АСУ ТП энергоблока.

В дополнение к САПР имеется созданный на базе платформы «ЭНИКАД» комплекс программ для генерации моделей алгоритмов и анализа ПО ПТК ТПТС (КП ГМА), который обеспечивает выполнение следующих функций:

- Считывание ПО ПТК ТПТС на внешние сервисные устройства и представление его на стандартных средствах ПК под ОС WINDOWS (штатная инженерная станция ТПТС предоставляет возможность выдачи бумажного варианта или варианта в первичных кодах).
- Автоматическую сверку ПО, установленного на момент эксплуатации, и проектной версии ПО с выдачей протокола отклонений. Автоматическая сверка позволяет существенно сократить время на анализ внесенных изменений. Сверка штатными средствами ТПТС требовала каждый раз ручной сверки на соответствие огромного количества GET-планов.
- Генерацию модели по STEP-коду и другой информации проекта АСУ ТП.
- Визуализация GET-планов по считанной информации (по внутреннему представлению GET)

В состав программного комплекса ПМТЗ входит двухгрупповая, трехмерная, поканальная математическая модель нейтронной кинетики реактора ВВЭР-1000, использующая пространственную дискретизацию, построенную методом нодальных связей, полученных на основе аналитических собственных решений однородного двухгруппового уравнения переноса в каждом расчетном ноде (модификация метода Новикова А.Н., РНЦ КИ), а также нестационарная

тепло-гидравлическая модель активной зоны, использующая три уравнения сохранения, модель дрейфа фаз теплоносителя и замыкающие корреляции по коэффициентам теплоотдачи и гидросопротивления в широком диапазоне режимов. Обе модели соединены в единый программный код под общим названием «HARD_NUT-2», аттестованный ГАН РФ. В данном коде имеется модель «горячего канала» для оценки теплотехнической надежности активной зоны с учетом зависимости коэффициента потвальной неравномерности энерговыделения в исследуемой кассете от состояния кассет окружения и массовой скорости потока теплоносителя в пределах сборки.

Для обеспечения необходимой и достаточной точности воспроизведения эксплуатационных режимов в соответствии с требованиями ТЗ на ПМТЗ в состав модерирующего ПО включены: Модели простых объемов с теплоносителем и газами произвольного состава при учете теплообмена через стенку с помещением, зависящим от режима течения теплоносителя и его характеристик. Модель включена в САПР моделей теплогидравлических систем. Модель переноса тепла по конструкции элементов, входящий в состав САПР моделей теплогидравлических систем.

Неравновесная теплогидравлическая модель двух объёмов для сосудов с уровнем теплоносителя, использующая законы сохранения массы и энергии для каждой фазы под уровнем, законы сохранения для каждой фазы и неконденсирующихся газов над уровнем и учитывающая стратификацию фаз при уходе воды из сосуда. В этой модели учитывается тепловая неоднородность и инерционность стенки сосуда, высотная неоднородность пара под уровнем и наличие капель воды над уровнем без теплового равновесия с паром и газом. Модель включена в САПР моделей теплогидравлических систем и используется для моделирования компенсатора объёма (КД), барботёра (ББ), парогенераторов (ПГ), гермозоны, подогревателей низкого и высокого давлений (ПНД, ПВД) сепаратора пароперегревателя (СПП) и других баков, имеющих в остальных технологических системах реакторного отделения.

Теплогидравлическая модель потока теплоносителя в ветви между двумя расчетными объёмами на базе трех уравнений сохранения для пароводяной смеси и двух уравнений для газа. В ней учитывается теплообмен теплоносителя со стенкой и со средой в окружающем помещении и скоростной напор в уравнениях импульса и энергии. Модель может описывать динамику процессов в паровых трактах 2-го контура с учетом звуковых ограничений по скорости потока и процессов в 1-ом контуре при полных разрывах трубопроводов с учетом сверхзвукового истечения из места разрыва. Модель включена в САПР.

Модель переноса неконденсирующихся газов в потоке теплоносителя с учетом их перехода из растворенного состояния в состояние газовых пузырей и возможного их всплытия по высоте гидравлических трактов при существенном уменьшении конвекции теплоносителя. Модель учитывает вклад газов в давление, энергию смеси и рассчитывает покомпонентный перенос газов в теплогидравлической сети (включение еще двух уравнений сохранения). Модель включена в САПР.

Нестационарная модель переноса бора в теплоносителе. Модель учитывает расслоение бора при вскипании воды и его возможное осаждение на твердых частях оборудования 1-го контура. Модель учитывает неравномерность переноса бора по петлям, через ТВС активной зоны, транспортное запаздывание подачи бора. Модель включена в САПР.

Разработанные для создания ПМТ средства разработки и собственно модели компонентов АСУТП были эффективно использованы ФГУП «Фирма «Атомтехэнерго» при ПНР 3-го энергоблока Калининской АЭС, а также в качестве инженерных средств поддержки эксплуатации энергоблока.

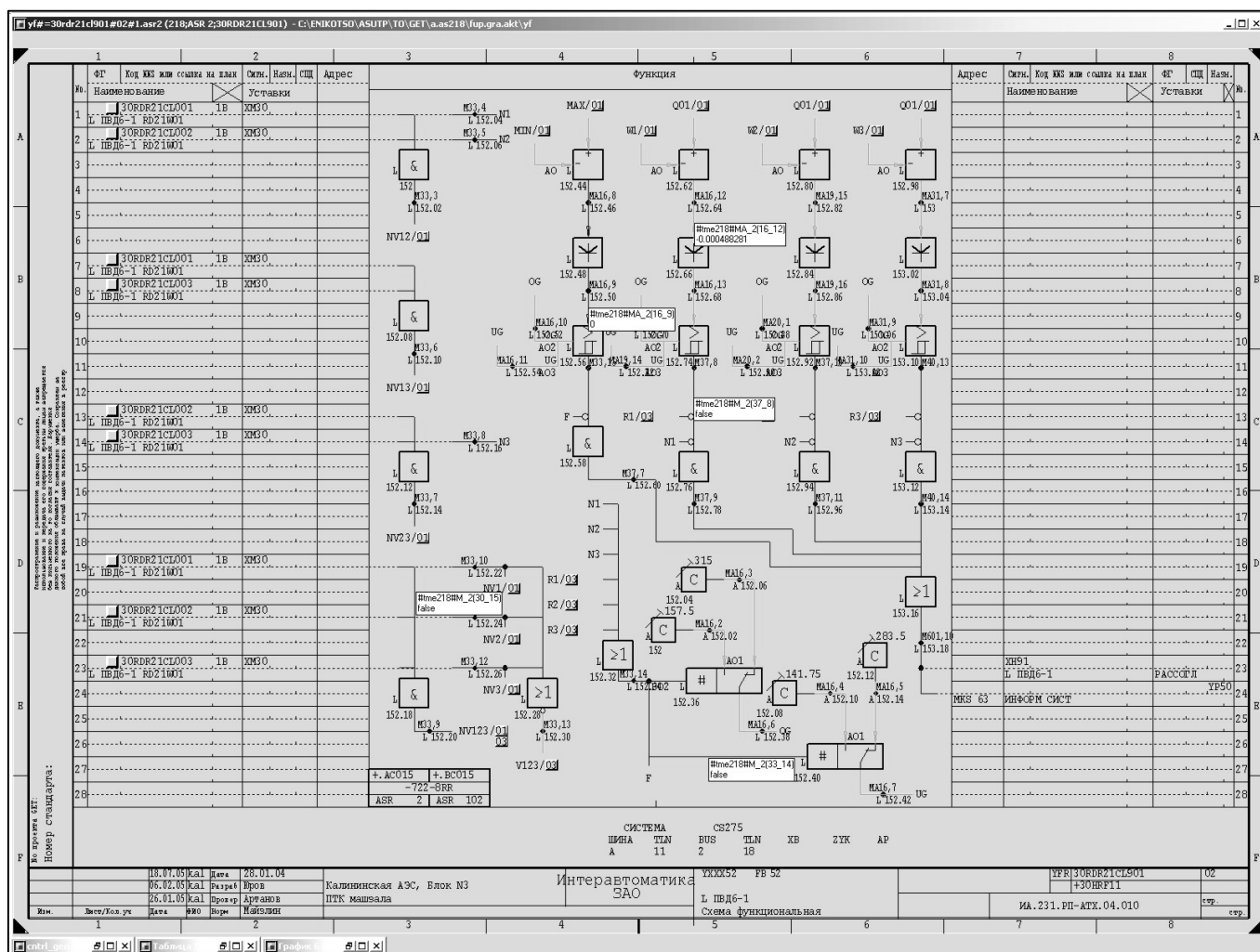
Данные средства позволяют реализовать:

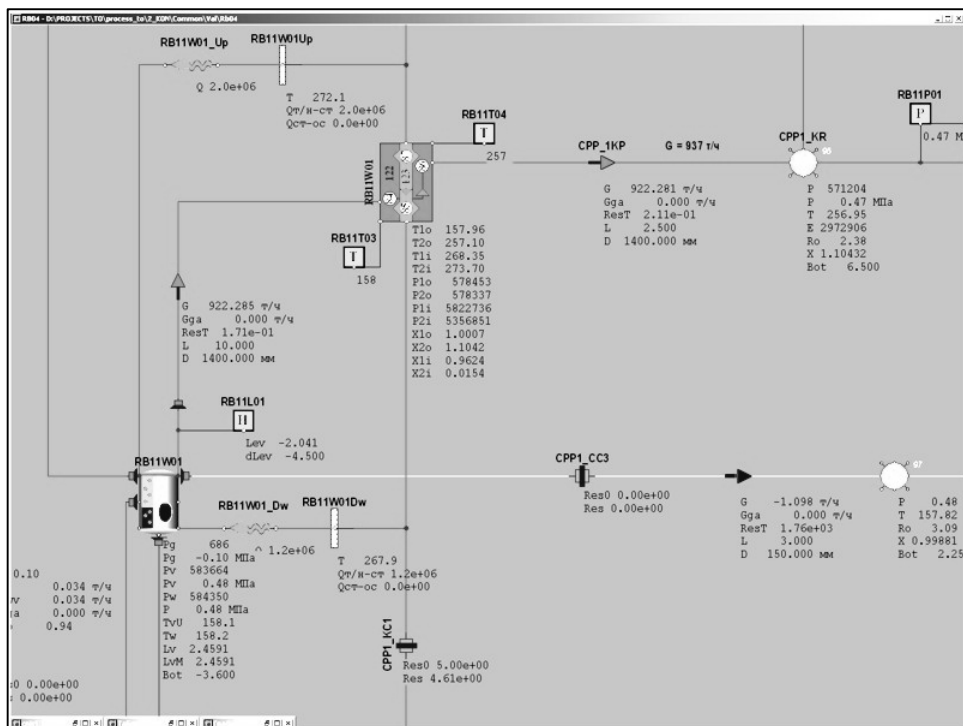
- автоматизированное статическое тестирование и анализ экспертом-технологом алгоритмов контроля, управления и регулирования, реализованных в соответствии с заданием заводу-изготовителю, в математической модели ПТК на соответствие технологическому заданию

на автоматизацию. Тестирование проводится с использованием набора тестовых сигналов и тестовых программ (процедур), подготовленных экспертом-технологом, на стандартном персональном компьютере (ПК);

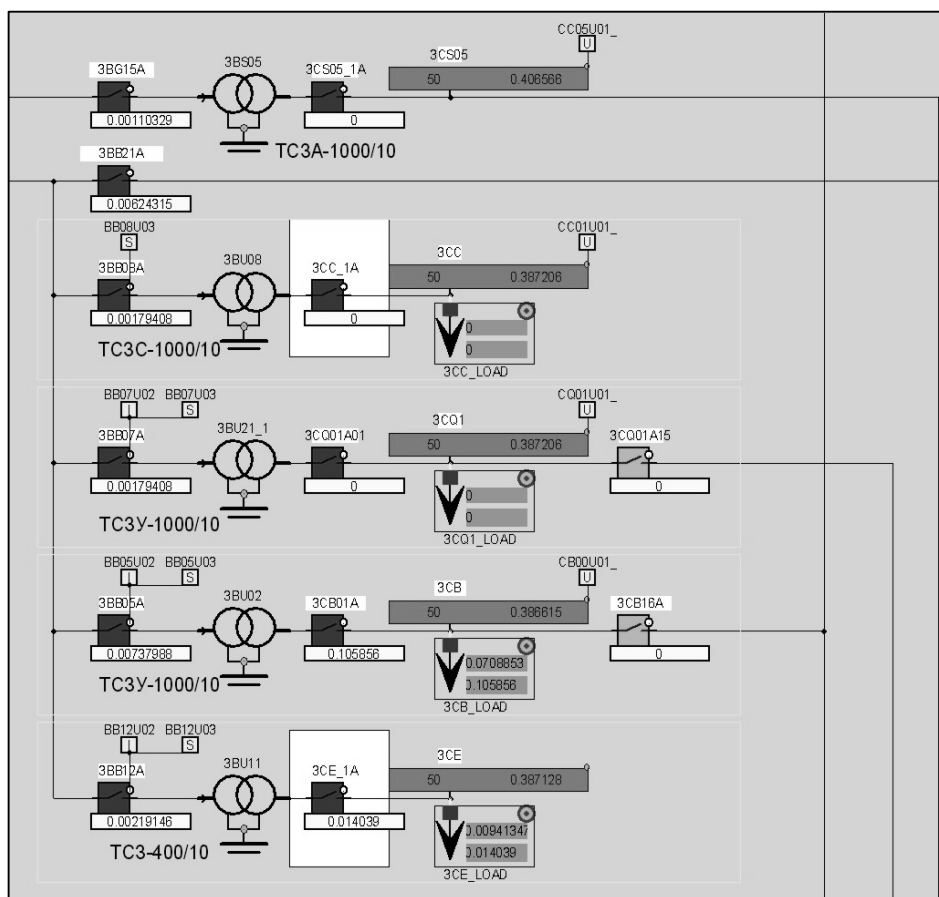
- управление процессом статического тестирования;
- наблюдение за процессом статического тестирования (визуализацию);
- документирование хода тестирования, включая подготовку материалов для выпуска отчетной документации о найденных несоответствиях;
- визуализацию прохождения сигналов в реализованных алгоритмах.

Описанные средства разработки моделей прошли жесткую проверку в ходе ПНР и поддержки эксплуатации на 3-м энергоблоке Калининской АЭС: с помощью этих средств в ходе ПНР постоянно генерировались модели штатных рабочих мест СВБУ, интегрированные с моделями алгоритмов в среде ТПТС, соответствующие текущим версиям проекта АСУ ТП. Полученные модели устанавливались на компьютеры специалистов, осуществлявших пуско-наладку АСУ ТП, что позволило значительно сократить сроки и повысить качество пуско-наладочных работ на 3-м энергоблоке Калининской АЭС.

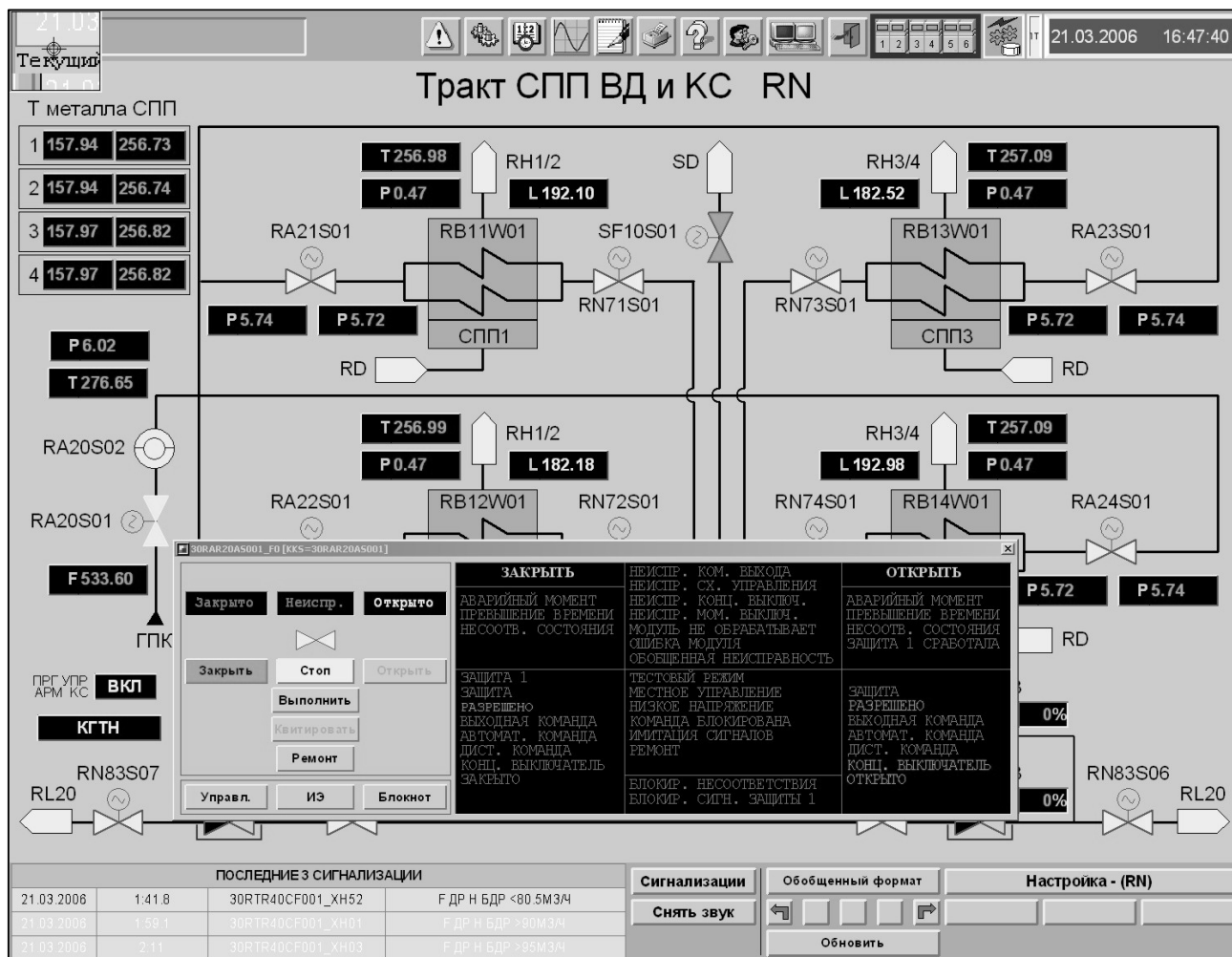




Пример Формата САПР моделей теплогидравлических систем



Пример формата САПР моделей электрических систем



Пример формата СВБУ, визуализированного в среде ЭНИКАД

Список Литературы

1. Чернаков В.А., Осадчий М.А., Краюшкин Ю.В., Кориковский К.П., Прокопенко Д.А. Средства пуско-наладки АСУТП и пускового комплекса полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС. // АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, № 8, 2006
2. Чернаков В.А., Осадчий М.А., Кориковский К.П., Краюшкин Ю.В. Программный комплекс "ЭНИКАД" для создания моделирующих комплексов сложных технологических объектов. // АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, № 7, 2003
3. Ю.В. Краюшкин, М.А. Осадчий, К.П. Кориковский, Е.В. Минаев. Программный комплекс ЭНИКАД для автоматизированной разработки математических моделей и эксплуатации систем на их основе. // Тезисы и доклады семинара секции динамики. Сосновый Бор, 18-22 сентября. 2000 г. Стр 178