

Опыт разработки средств пуско-наладки АСУТП и пускового комплекса полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС

В.А. Чернаков, М.А. Осадчий, Ю.В. Краюшкин,
К.П. Кориковский, Д.А.Прокопенко (ООО "ЭНИКО ТСО")

На 3-м энергоблоке Калининской АЭС впервые в России была внедрена полностью цифровая АСУТП на базе средств ТПТС-51. Представлены программные решения, реализованные специалистами ЭНИКО ТСО в рамках проведения работ на 3-м энергоблоке Калининской АЭС под оболочкой ЭНИКАД.

На 3-м энергоблоке Калининской АЭС, пуск которого был осуществлен в присутствии Президента РФ В.В. Путина, впервые в России была внедрена полностью цифровая АСУТП на базе средств ТПТС-51 (Teleperm ME), выпускаемых в России по лицензии фирмы Siemens. Новая АСУТП имеет два основных отличия от АСУТП предыдущих энергоблоков.

1. Система верхнего блочного уровня (СВБУ) АСУТП разработана и внедрена генеральным конструктором АСУТП ОАО "ВНИИАЭС" на базе оболочки RTA PLS, впервые применяемой на российских АЭС (общий вид пульта управления АЭС представлен на цветной вкладке). Основной способ управления, принятый в СВБУ – компьютерный, через экранные форматы управляющих рабочих станций блочного пульта управления (БПУ). Он принципиально отличается от способа управления с использованием ключей на всех предыдущих российских атомных энергоблоках. Органы индикации и управления на пультах и панелях БПУ хотя и достаточно многочисленны, но лишь "резервируют" основной компьютерный способ управления на случай сбоя в работе СВБУ. Естественно, навыки нового компьютерного способа управления у оперативного персонала Калининской АЭС полностью отсутствовали, и их нужно было сформировать до ввода энергоблока в промышленную эксплуатацию. Эта задача решалась с помощью разработанных ЭНИКО ТСО и описанных ниже моделирующих программных комплексов и пускового комплекса полномасштабного тренажера, внедренного под руководством генерального конструктора АСУТП до сдачи энергоблока в промышленную эксплуатацию, в соответствии с требованиями Ростехнадзора и стандартами МАГАТЭ.

2. Нижний уровень АСУТП построен на базе цифровых средств ТПТС-51, также впервые применяемых на российских АЭС. Алгоритмы управления "закладываются" в них в виде STEP-кода автоматически формируемого по GET-проекту, разрабатываемому в оболочке GET фирмы Siemens путем их ручной прорисовки и задания в этой оболочке всех параметров алгоритмов. Элементами логических схем алгоритмов, создаваемых

в оболочке GET, являются графические изображения масок, по каждой из которых в зависимости от заданных ей параметров может быть сформирован целый класс достаточно сложных алгоритмов. Каждый модуль ТПТС-51 реализует, как правило, несколько масок. Объем GET-проекта алгоритмов управления, защит, блокировок и сигнализации для 3-го энергоблока Калининской АЭС огромен и составляет ~65000 листов GET-планов (примеры GET-планов представлены на цветной вкладке). Проекты такого объема на средствах ТПТС-51 (Teleperm ME) даже фирмой Siemens ранее не внедрялись, а средства автоматизации, необходимые для проведения их анализа с приемлемыми затратами в короткие сроки не создавались. Понятно, что при отсутствии у российских поставщиков большого опыта, для обеспечения ввода АСУТП 3-го энергоблока в сжатые сроки было необходимо создание программно-инструментального комплекса для автоматизированного сравнения версий, тестирования и анализа ПО ТПТС-51 (ПИК АСТАПО).

Основное отличие 3-го энергоблока от энергоблоков 1-й очереди Калининской АЭС – новая цифровая АСУТП. По составу технологических систем и используемому оборудованию энергоблока достаточно близки. Эксплуатационный персонал 3-го энергоблока набирался в основном с энергоблоков 1-й очереди и имел достаточно хорошую подготовку по технологии АЭС с ВВЭР-1000. Эта подготовка проводилась в учебно-тренировочном пункте (УТП) Калининской АЭС, имеющем все необходимые технические средства обучения, включая полномасштабный тренажер для энергоблоков 1-й очереди и разработанные ЭНИКО ТСО многофункциональные компьютерные тренажеры по основным цехам АЭС: реакторному, турбинному и электроцеху. Однако в УТП отсутствовали технические средства для подготовки персонала к работе с новой АСУТП и тренажеры для 3-го энергоблока. Именно на разработке этих средств и были сосредоточены усилия ЭНИКО ТСО.

Из-за сложности новой АСУТП создание ее модели путем ручного кодирования или с помощью имевшегося в составе ЭНИКАД¹ САПР для создания мо-

¹ Чернаков В.А., Осадчий М.А., Кориковский К.П., Краюшкин Ю.В. Программный комплекс ЭНИКАД // Автоматизация в промышленности. 2003. №7.

делей логико-динамических систем АСУТП, использующего библиотеку стандартных логических функций ("И", "ИЛИ", инверторы, триггера и т.д.), не представлялось возможным. Поэтому для создания точной модели АСУТП потребовалась разработка под оболочкой ЭНИКАД специализированных средств генерации модели новой АСУТП.

Эти средства были необходимы не только для создания технических средств подготовки персонала, но и для технической поддержки пусконаладочных работ (ПНР). Работы проходили в три этапа.

На первом этапе была создана система автоматического проектирования (САПР) моделей нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС, аналогичная входящему в состав ЭНИКАД САПР с библиотекой стандартных логических функций. В процессе разработки этот САПР был дополнен библиотекой элементов, адекватно воспроизводящих алгоритмы, реализуемые масками ТПТС-51.

Модель нижнего уровня АСУТП начала создаваться по самым первым версиям GET-проекта с помощью разработанной САПР. Однако первые версии имели очень большое число ошибок. Это привело к появлению многочисленных версий GET-проекта непосредственно в ходе ПНР. Каждую новую версию проекта ФГУДП "Атомтехэнерго", проводившему ПНР по АСУТП, нужно было сравнить с предыдущей, чтобы выявить отличия, а затем тщательно проанализировать их перед загрузкой новой версии GET-проекта в АСУТП, чтобы не допустить порчи оборудования из-за грубых ошибок в GET-проекте. Как отмечено выше, средства автоматизации сравнения версий GET-проекта и его анализа в оболочке GET предусмотрены не были. Поэтому при столь большом объеме GET-проекта даже сравнение двух его версий представляло практически неразрешимую задачу, так как для этого нужно было вручную попарно сравнить между собой все 65000 листов каждой из версий. Еще сложнее было осуществлять анализ GET-проекта — для этого нужно "держать в голове" не только все возможные варианты алгоритма, реализуемого каждой маской ТПТС-51, но и все параметры настройки, а также связи отдельных масок как между собой, так и с датчиками и управляющими органами. Поэтому без автоматизации процессов сравнения и анализа версий GET-проекта при таком его объеме проекта проведение ПНР в разумные сроки и с приемлемыми затратами было практически невозможным.

Из-за многочисленности версий GET-проекта и их частой смены стала практически невозможной и корректировка модели нижнего уровня АСУТП, создаваемой путем ручной прорисовки в САПР в темпе изменения проекта. Процесс ручной прорисовки очень трудоемок, однако позволяет:

- менять в модели АСУТП только те модули, где произошли изменения в самом проекте АСУТП, не затрагивая остальную модель. Это очень удобно при незначительной однократной корректировке, но ста-

новится очень невыгодным при частых и существенных изменениях алгоритмов;

- при выявлении ошибок САПР возможно быстро оценить различные варианты их исправления;

- "укрупнять" алгоритмы при их вводе в САПР (из-за особенностей оболочки GET, где на одном листе помещается не более 2...3 масок ТПТС-51, что приводит к необходимости размещения даже небольшого алгоритма на нескольких GET-планах с многочисленными связями между ними, сильно затрудняющими его анализ). Таким образом, создавая с помощью САПР модель по окончательной версии GET-проекта АСУТП, можно заодно получить эксплуатационную документацию в достаточно удобной форме;

- готовая модель, выполненная путем ручной прорисовки GET-планов в САПР, не только может служить в качестве эксплуатационной документации и отличного учебного средства, но и в качестве прекрасной основы для проектов аналогичных АСУТП последующих энергоблоков, а также позволяет быстро оценивать возможные пути модернизации АСУТП. При этом используются только стандартные ПК и работающая под ОС Windows оболочка ЭНИКАД.

На втором этапе работ были созданы средства полностью автоматической генерации модели нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС-51 по STEP-коду. Эта работа была завершена в апреле 2004 г. и нашла свое воплощение в виде программно-инструментального комплекса для автоматизированного сравнения многочисленных версий, тестирования и анализа ПО (ПИК АСТАПО), закладываемого в средства ТПТС-51, который обеспечил:

- считывание на ПК стримерных лент со стандартной резервной копией (back-up) GET-проекта;

- хранение различных версий GET-проектов на ПК;

- автоматическое сравнение версий GET-проектов с выдачей списка GET-планов, в которых имеются отличия, и визуализацией этих отличий как на самих GET-планах, так и в виде протоколов;

- визуализацию на экране ПК GET-планов и всех имеющихся в них параметров и сигналов. При этом источником сигналов, визуализируемых на GET-планах, служит модель алгоритмов, закладываемых в ТПТС, автоматически генерируемая по STEP-коду. Внешние по отношению к ТПТС сигналы (например, сигналы датчиков) могут задаваться вручную или генерироваться полномасштабной моделью физических процессов в технологических системах, разработанной ЭНИКО ТСО под оболочкой ЭНИКАД для 3-го энергоблока Калининской АЭС.

Этот программный комплекс активно использовался ФГУДП "Атомтехэнерго" в ходе ПНР и применяется сейчас на Калининской АЭС, поскольку позволяет эффективно отслеживать изменения в GET-проекте и осуществлять тестирование ПО ТПТС-51 до ввода его в реальную аппаратуру.

ПИК АСТАПО позволяет не только автоматически создавать модель по STEP-коду, но и отображать связанные с этой моделью GET-планы, делая их "живыми" (значения логических сигналов отображаются цветом линий GET-плана, а значения любого из аналоговых сигналов могут быть в РВ отображены в специальных окнах прямо на GET-плане). Таким образом, можно легко проследить "срабатывание" алгоритма на всех GET-планах, в него входящих, даже не зная какие алгоритмы реализуют конкретные маски ТПТС-51. Этот момент был особенно важен для GET-проекта 3-го энергоблока Калининской АЭС из-за его огромного размера и отсутствия большого опыта внедрения АСУТП на базе средств ТПТС-51.

"Оживить" GET-планы в оболочке ЭНИКАД можно не только от сигналов модели, но и от сигналов реальной аппаратуры ТПТС-51. Способ визуализации GET-планов от реальных сигналов ТПТС-51 был внедрен в штатную СВБУ 3-го энергоблока Калининской АЭС на базе RTA PLS. Однако из-за ограничений, накладываемых шлюзами, через которые осуществляется связь нижнего уровня АСУТП с СВБУ, визуализация GET-планов под оболочкой RTA PLS возможна лишь в ограниченном объеме. В ходе же ПНР и в процессе освоения мощности энергоблока необходим максимальный объем визуализации алгоритмов. Это возможно, если полностью использовать свойства платы N-PCI фирмы Siemens, через которую шлюзы работают с нижним уровнем АСУТП на базе средств ТПТС-51. Такая разработка была выполнена совместно с генеральным конструктором АСУТП и сейчас внедряется на энергоблоке.

На третьем этапе работ ЭНИКО ТСО были созданы средства автоматизированной генерации модели штатной СВБУ на базе RTA PLS. Эта разработка была необходима, так как использование самой штатной СВБУ в технических средствах для подготовки персонала крайне невыгодно из-за высокой стоимости лицензий на программно-аппаратный комплекс, необходимый для ее установки.

Практически сразу же выяснилось, что экранные форматы СВБУ (примеры форматов приведены на цветной вкладке) в ходе ПНР меняются столь же интенсивно, как и GET-планы. Поэтому ЭНИКО ТСО было принято решение о более трудоемкой разработке, позволяющей практически полностью автоматизировать создание модели СВБУ. При этом модель СВБУ совместима с моделью нижнего уровня АСУТП (как сгенерированной по STEP-коду, так и созданной с помощью САПР) и также функционирует под оболочкой ЭНИКАД. Более того, модель СВБУ (в отличие от реальной СВБУ) может использоваться для выбора на отображение GET-планов, соответствующих выбранному на видеокадре СВБУ объекту управления. В результате была получена возможность совместной отладки взаимодействия ниж-

него уровня АСУТП на базе средств ТПТС-51 и СВБУ на базе RTA PLS только на программных моделях в среде ЭНИКАД, установленных на обычных ПК, без необходимости закупки дорогостоящих лицензий. Эта разработка дала возможность быстро генерировать модель текущей версии СВБУ по файлам с серверов СВБУ.

С помощью описанных средств в ходе ПНР постоянно генерировались модели штатных рабочих мест СВБУ, интегрированные с моделями нижнего уровня АСУТП, соответствующими текущим версиям GET-проекта. Эти модели устанавливались на ПК специалистов ФГУДП "Атомтехэнерго", осуществлявших наладку и тестирование алгоритмов АСУТП 3-го энергоблока Калининской АЭС, что, по их мнению, позволило обеспечить плановые сроки проведения и повысить качество ПНР.

Описанные средства обеспечили и генерацию (в темпе развития проекта) адекватной модели АСУТП (СВБУ + нижний уровень) для технических средств подготовки персонала 3-го энергоблока Калининской АЭС. Эти средства разрабатывались при самой активной поддержке персонала УТП и самой станции и включают:

- тренажер оборудования и систем АСУТП (ТОС АСУТП);
- пусковой комплекс полномасштабного тренажера (ПсК ПМТ-3);
- компьютерный тренажер по системе химводоочистки (КТ ХВО²), не входящей в состав моделируемых в ПМТ-3 систем.

ТОС АСУТП был разработан в связи с тем, что переход персонала АЭС от привычного способа управления с помощью ключей к компьютерному, принятому в новой АСУТП, оказался достаточно сложным. Потребовалось начать выработку навыков управления новой АСУТП еще до появления ПсК ПМТ-3. В рамках ТОС АСУТП под оболочкой ЭНИКАД была реализована полная модель АСУТП (СВБУ + нижний уровень АСУТП на базе средств ТПТС-51). Вместо полномасштабной модели физических процессов в технологических системах энергоблока сигналы датчиков имитировались путем ручного их задания через специально разработанный для этого интерфейс. ТОС АСУТП позволил еще до проведения программы приемо-сдаточных испытаний ПсК ПМТ-3 начать подготовку персонала к работе с новой АСУТП и обеспечил:

- изучение структуры АСУТП;
- детальное изучение алгоритмов управления и индикации;
- выработку практических навыков работы с новой АСУТП (навигация по экранным форматам СВБУ, изучение способов перехода между форматами и расположенными на них интерактивными меню, приобретение навыков работы с трекболом и т.д.).

² Чернаков В.А., Осадчий М.А., Долгополов Н.Ю. Компьютерный тренажер по системам химводоочистки для подготовки персонала 3-го энергоблока Калининской АЭС // автоматизация в промышленности. 2006. №8.

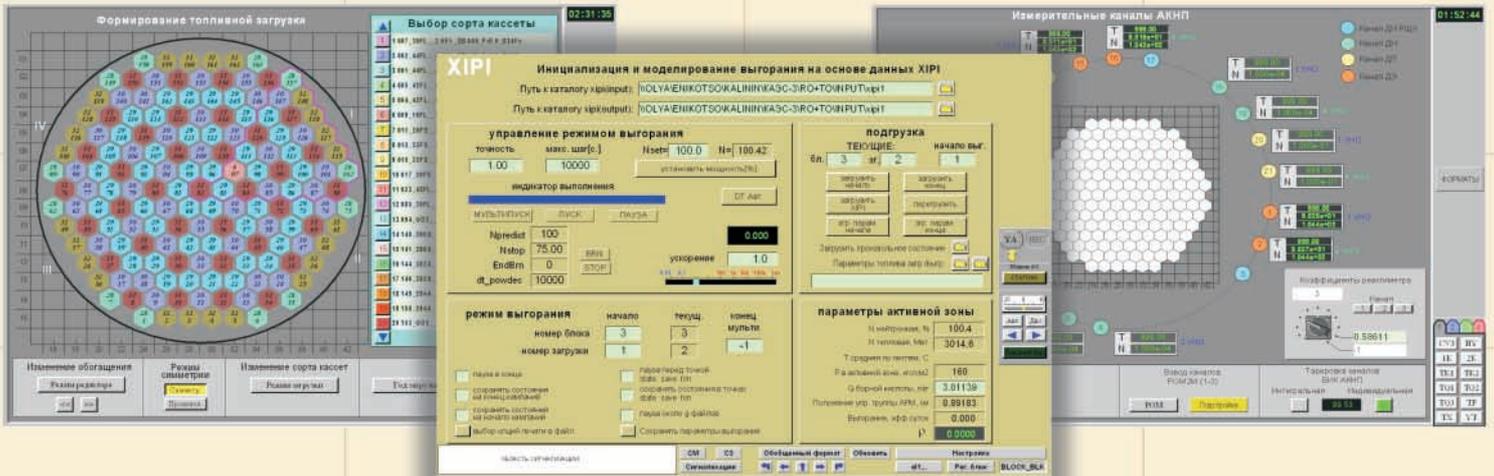
Рисунки к статье "Опыт разработки средств пуско-наладки АСУ ТП и пускового комплекса полномасштабного тренажера 3-го энергоблока Калининской АЭС"
Авторы: Чернаков В.А., Осадчий М.А., Краюшкин Ю.В., Кориковский К.П.

Вид блочного пульта управления АЭС 3-го энергоблока Калининской АЭС.

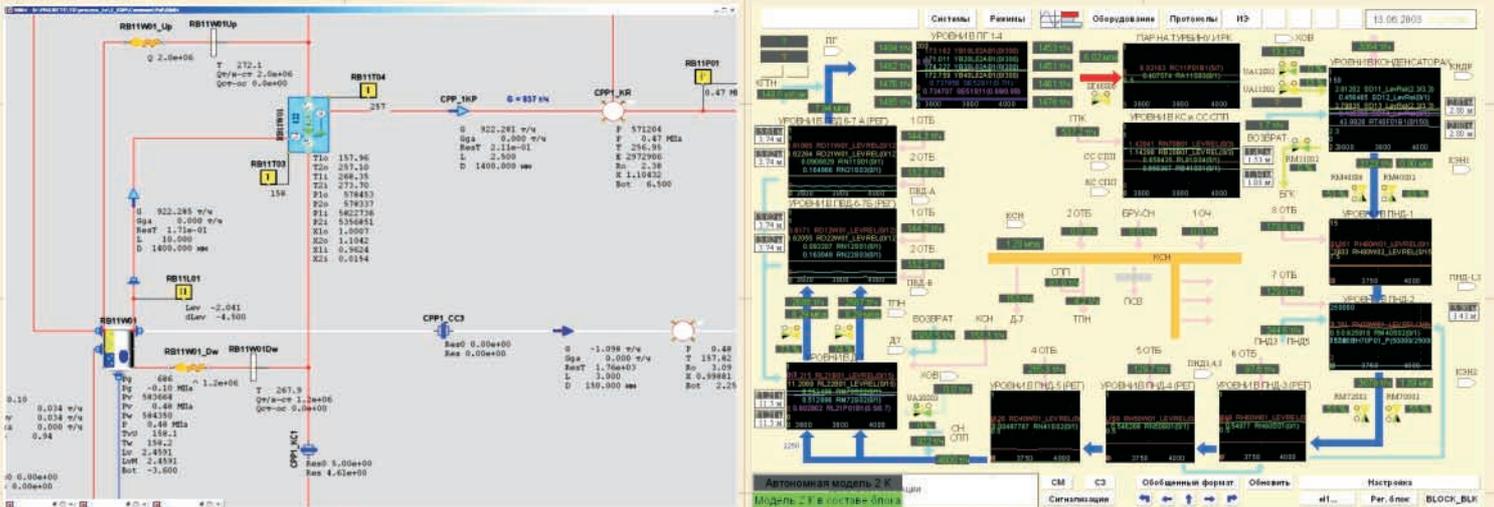


В состав комплексной модели энергоблока входят:

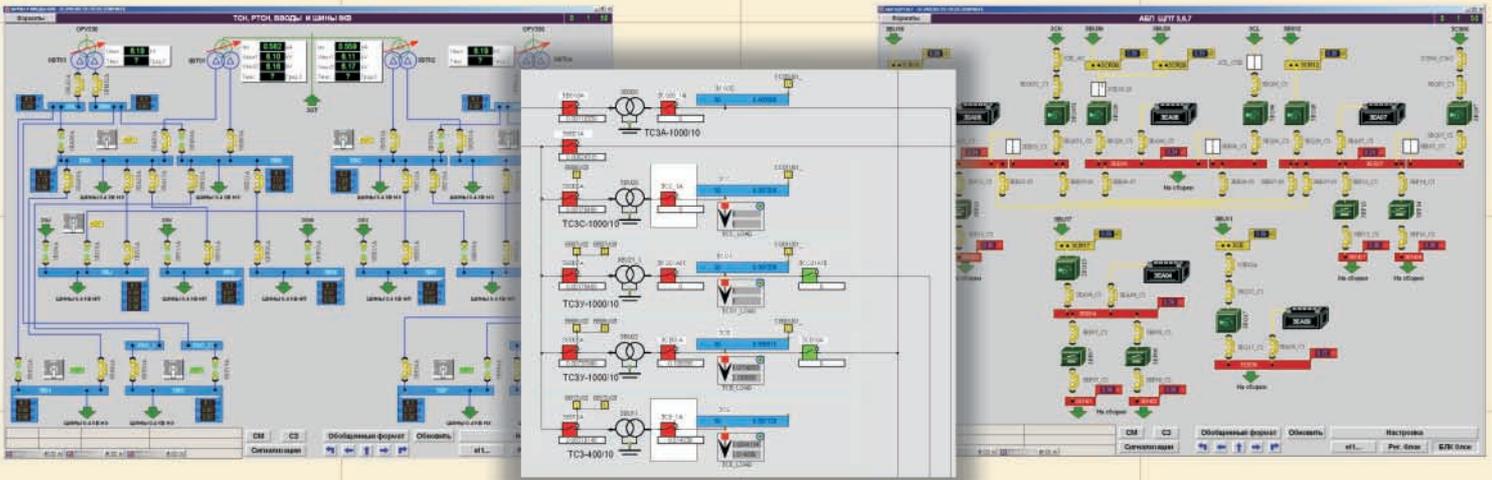
① модель активной зоны;



② модели теплогидравлических систем энергоблока, созданные с помощью САПР моделей теплогидравлических систем, входящей в состав ЭНИКАД;

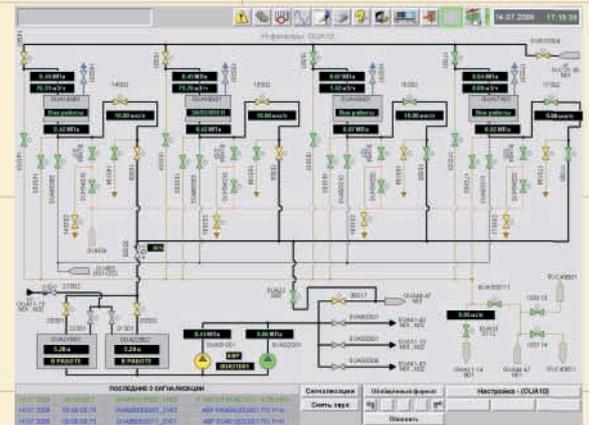
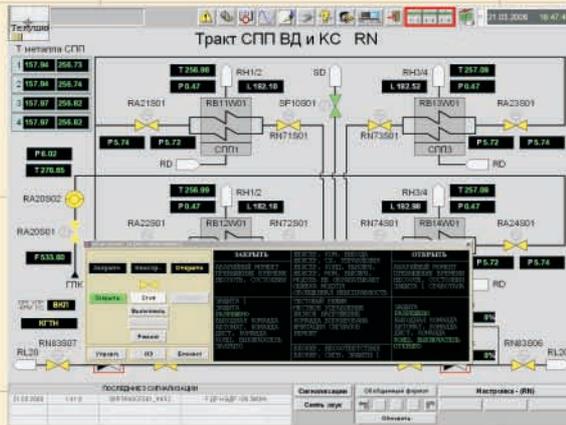


- ③ модели электрических систем энергоблока, созданные с помощью САПР моделей электрических систем, входящей в состав ЭНИКАД;

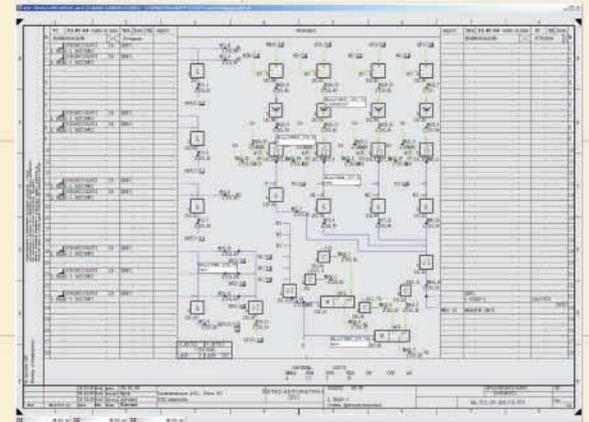
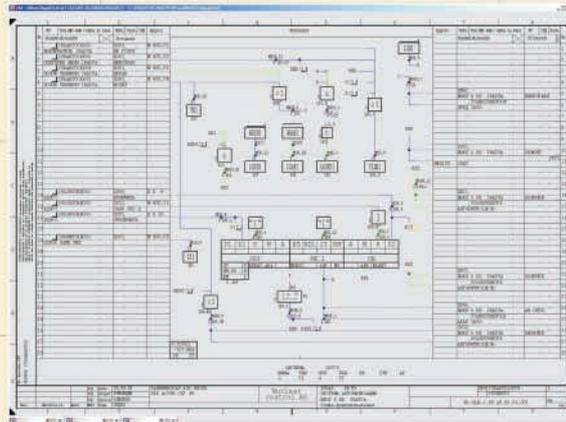


- ④ модель АСУ ТП энергоблока, включающая модель нижнего уровня АСУ ТП на базе средств ТПТС-51 и модель СВБУ на базе RTA PLS.

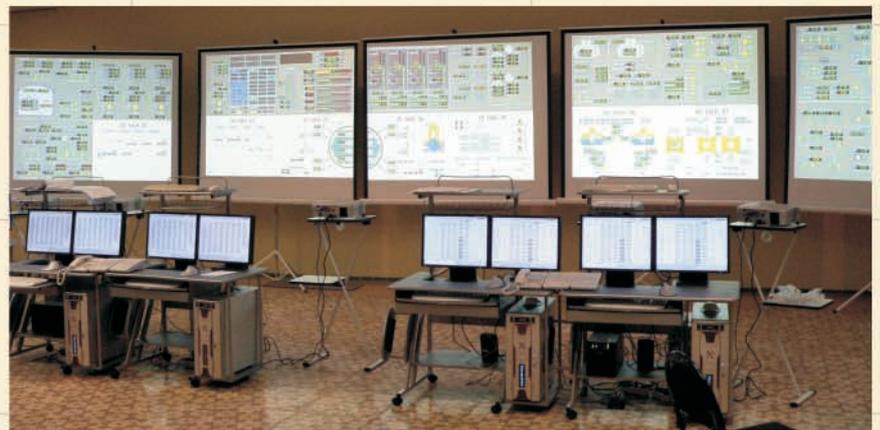
Примеры форматов СВБУ (ТО и ХВО)



Примеры GET-планов



Вид пускового комплекса полномасштабного тренажера



В рамках ПсК ПМТ-3 реализованы 11 рабочих станций штатной СВБУ, расположенных на БПУ и АРМ инструктора. На цветной вкладке представлены общий вид ПсК ПМТ-3 и состав реализованной в нем комплексной модели. Полномасштабные модели всех теплогидравлических и электрических систем АЭС, контролируемых с БПУ, были разработаны с помощью систем автоматизированного проектирования ЭНИКАД. Никакого эквивалентирования в этих моделях не использовалось: модели рассчитывают в РВ показания абсолютно всех датчиков АСУТП и воспринимают воздействие абсолютно всех органов управления. Трехмерная покассетная модель активной зоны реактора создавалась на базе разработанного в ЭНИКО ТСО и аттестованного Госатомнадзором РФ программного комплекса "Простор". Этот комплекс обеспечивает в РВ расчет всех необходимых трехмерных распределений в активной зоне с точностью, сопоставимой со штатными программами нейтронно-физического расчета БИПР-7 и ПЕРМАК, входящими в комплекс КАСКАД для расчетного сопровождения АЭС с реакторами ВВЭР. Общее число моделируемых в ПсК ПМТ-3 датчиков – 6055 ед., управляемых элементов технологических схем (двигатели, задвижки и т.д.) – 2254 ед.

ПсК ПМТ-3 успешно прошел программу приемо-сдаточных испытаний, содержащую более ста различных режимов, и был введен в эксплуатацию в феврале 2006 г. Сегодня ПсК ПМТ-3 является основным техническим средством обучения для персонала 3-го энергоблока Калининской АЭС, в нем адекватно реализованы штатные рабочие станции СВБУ, расположенные на БПУ. В настоящее время на базе ПсК ПМТ-3 под руководством ОАО "ВНИИ-АЭС" завершается разработка полномасштабного тренажера путем подключения к ПсК ПМТ-3 через устройства связи пультов и панелей, полностью аналогичных штатным.

Таким образом, в процессе работ по 3-му энергоблоку Калининской АЭС ЭНИКО ТСО под оболочкой ЭНИКАД был разработан целый набор программных комплексов, обеспечивающих:

- создание в рамках единой, чисто российской оболочки ЭНИКАД, работающей на стандартных ПК, адекватных моделей нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС-51 на различных стадиях разработки проекта;

- генерацию под оболочкой ЭНИКАД модели штатной СВБУ на базе RTA PLS с возможностью ее интеграции с моделью физических процессов в технологических системах и одним из вариантов модели нижнего уровня АСУТП в комплексную модель энергоблока. Комплексная модель обеспечивает, как показал опыт ПНР 3-го энергоблока Калининской АЭС, гораздо более полную проверку алгоритмов АСУТП в различных динамических режимах;

- быструю генерацию модели текущей версии АСУТП (интерфейс + алгоритмы) по файлам серверов СВБУ и файлам штатного "back up" GET-проекта. Этот механизм обеспечивает "отслеживание" и верификацию быстро меняющихся версий GET-проекта АСУТП на стадии ПНР;

- полную визуализацию GET-планов, включая визуализацию прохождения алгоритмов, на стандартном ПК при подаче на них как сигналов от модели, автоматически сгенерированной по СТЕР-коду, так и сигналов от реальной аппаратуры ТПТС через плату N-PCI, через которую работают шлюзы связи нижнего уровня АСУТП и СВБУ. Этот инструмент позволяет значительно облегчить и ускорить отладку алгоритмов АСУТП и их тестирование в процессе ПНР и при эксплуатации энергоблока.

Все созданные программные комплексы были интегрированы в оболочку ЭНИКАД, что значительно расширило ее возможности и позволило обеспечить своевременный ввод в эксплуатацию технических средств обучения для подготовки персонала 3-го энергоблока Калининской АЭС. Эта последняя версия оболочки ЭНИКАД имеет в своем составе все необходимые средства для инженерной поддержки ПНР по АСУТП, аналогичным АСУТП 3-го энергоблока Калининской АЭС, и обеспечивает эффективную разработку технических средств обучения для подготовки персонала аналогичных АЭС.

*Чернаков Виктор Алексеевич – ген. директор,
Осадчий Михаил Андреевич, Краюшкин Юрий Викторович,
Кориковский Константин Петрович – научные сотрудники,
Прокопенко Дмитрий Алексеевич – ведущий инженер ООО "ЭНИКО ТСО".
Контактный телефон (495)323-95-99. [Http://www.eniko.ru](http://www.eniko.ru)*

КИС Omega Production начинает внедряться на Челябинском тракторном заводе

Корпоративная информационная система Omega Production начала внедряться на ООО "Челябинский тракторный завод – Уралтрак". Внедрение ведется совместной рабочей группой представителей предприятия и компании OmegaSoftware. Предварительно на заводе было проведено обследование бизнес-процессов предприятия, разработаны конвертеры данных из существующих информационных систем, проведено обучение пользователей инженерных подразделений.

В течение текущего года в промышленную эксплуатацию должны быть внедрены следующие задачи: ведение данных по

конструкторским элементам и спецификациям; управление изменениями конструкторских элементов на основе конструкторских извещений; ведение архива электронной конструкторской документации; управление конфигурациями изделий и ведения заказных спецификаций комплектаций; ведение технологических маршрутов изделий; расчет мощностей оборудования; ведение данных об инструменте и технологической оснастке; ведение ТП; управление технологической подготовкой производства и техническим документооборотом.

[Http://www.omegasoftware.ru](http://www.omegasoftware.ru)