



РОСЭНЕРГОАТОМ
ВНИИАЭС

Полномасштабные тренажеры АО «ВНИИАЭС»

Департамент №2620

Национальный Исследовательский Ядерный Университет
«МИФИ». Кафедра «Автоматика»



12 октября 2018

НВАЭС | 2018 год

Оргструктура ВНИИАЭС по направлению «Математическое моделирование и тренажеростроение»



Генеральный директор
Тухветов Ф.Т.



Первый заместитель Генерального
директора, директор ВНИИАЭС-НТП
Лупишко А.Н.



Отделение математического моделирования и
тренажеростроения
(104 чел., из них 19 кандидатов наук)
Директор отделения Чернаков В.А.

Департамент математического
моделирования динамики АЭС
(2610)

Разработка тренажеров и моделей
на платформе USDS

Департамент разработки
моделирующих средств
технической поддержки
эксплуатации АЭС
(2620)

Разработка тренажеров и моделей
на платформе ENICAD

Отдел трехмерного
теплогидравлического
моделирования АЭС
(2601)

Разработка CFD-моделей наиболее
ответственных элементов АС

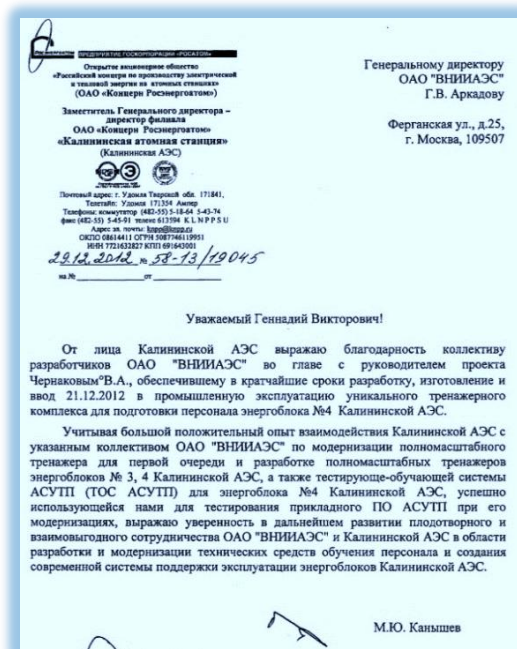
Создание совместно с ИБРАЭ РАН новой российской платформы для разработки моделей тренажеров и разноуровневых моделей для анализа проектов АСУТП и энергоблоков в рамках проекта Виртуально-Цифровая АЭС с ВВЭР

Опыт коллектива Департамента 2620: 32 тренажерных проекта на платформе «ENICAD»

№	Заказчик	Тип энергоблока	Тип тренажера	Страна	Год
1	Курская АЭС	РБМК-1000	МФТ ВИУР	Россия	1995
2	Южно-Украинская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	МФТ РО	Украина	1995
3	ГНЦ НИИАР	ВК-50	ФТ	Россия	1997
4	ГНЦ НИИАР	БОР-60	ФТ	Россия	1997
5	Южно-Украинская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	МФТ ТО	Украина	1997
6	АЭС с ВВЭР-1000	ВВЭР-1000	ЛТ по технологическим системам	Россия	2001
7	Южно-Украинская АЭС (1 бл.)	ВВЭР-1000	МФА	Россия	2001
8	Калининская АЭС, 2 бл.	ВВЭР-1000	МФА ЭЦ	Россия	2003
9	Калининская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	КТ ХВО	Россия	2004
10	Сочинская ТЭС	ПГУ 39МВт	ПМТ	Россия	2004
11	Калининская АЭС, 2 бл.	ВВЭР-1000	МФА ТО	Россия	2004
12	Калининская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	МФА РО	Россия	2005
13	Калининская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	ПК РМ ЦТАИ	Россия	2006
14	Калининская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	ПМТ	Россия	2007
15	ФГУП "ЭНИЦ"	ВВЭР-1000	ПК для статического тестирования ПТК ТПТС для АЭС БУШЕР-1	Россия	2007
16	ТЭЦ-27 ОАО «МОСЭНЕРГО»	ПГУ-450Т	ПМТ	Россия	2008
17	ЗАО "Атомстройэкспорт",	ВВЭР-1000	ПК для статического тестирования ПТК ТПТС для АЭС "Куданкулам", 1,2 бл.	Россия	2010
18	Ростовская АЭС, 2 бл.	ВВЭР-1000	ТОС АСУТП	Россия	2010
19	МИФИ, кафедра "Автоматика"		Учебная лаборатория "Управление и безопасность АЭС"	Россия	2011
20	Харанорская ГРЭС, 2 бл.	ЭБ 215 МВт	ПМТ	Россия	2012
21	Калининская АЭС, 4 бл.	ВВЭР-1000	ПМТ	Россия	2012
22	Юго-Западная ТЭЦ	ПГУ-200	ПМТ	Россия	2012
23	Разданская ТЭС, 5 бл.	ТГМП-344АС-ПГУ	ПМТ	Армения	2012
24	ГИУА, г. Ереван	Уч. лаборатория	«Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация ЯЭУ»	Армения	2012
25	ОИАТЭ, г. Обнинск	Уч. лаборатория	«Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация ЯЭУ»	Россия	2013
26	Березовская ГРЭС, 1 бл.	ЭБ 800 МВт	ПМТ	Россия	2013
27	Ростовская АЭС, 3 бл.	ВВЭР-1000	ТОС АСУТП	Россия	2014
28	ТЭЦ-3 ОАО ТГК-11 (г. Омск)	ПГУ-90	ПМТ	Россия	2015
29	Нововоронежская АЭС, 6 бл.	ВВЭР-1200	ТОС АСУТП	Россия	2016
30	Ростовская АЭС, блоки 3,4	ВВЭР-1000	ПМТ	Россия	2016
31	Белоярская АЭС, блок 4	БН-800	ПМТ, АТ, тренажер ВПУ, тренажер ЦЩУ, тренажер СКУ ПЗ, ТСК АСУТП (аналог ТОС АСУТП)	Россия	2016
32	Ленинградская АЭС-2, 1 бл.	ВВЭР-1200	САТ АСУТП (аналог ТОС АСУТП с дополнительными возможностями)	Россия	2016

Тренажеры ВНИИАЭС для блоков с цифровыми АСУ ТП: ПМТ для блока № 4 Калининской АЭС (ПМТ-4)

- ✓ ПМТ для блока №4 Калининской АЭС с реактором ВВЭР разработан ВНИИАЭС на базе российской платформы «ENICAD» в сотрудничестве с предприятием ГК «Росатом» ФГУП «УЭМЗ» (изготовитель аппаратного комплекса). Особенностью ПМТ является виртуальный РПУ, способный работать в автономном режиме как аналитический тренажер.
- ✓ В ПМТ-4 моделируются 13434 сигналов полномасштабного имитатора БПУ, а также 95304 дискретных и 18854 аналоговых сигналов, выводимых на имитаторы штатных рабочих станций СВБУ.
- ✓ ПМТ-4 введен в обучение комиссией АО «Концерн Росэнергоатом» без замечаний 14.02.2013.
- ✓ За своевременный ввод и высокое качество ПМТ получена благодарность директора Калининской АЭС.



Полномасштабный имитатор БПУ ПМТ-4



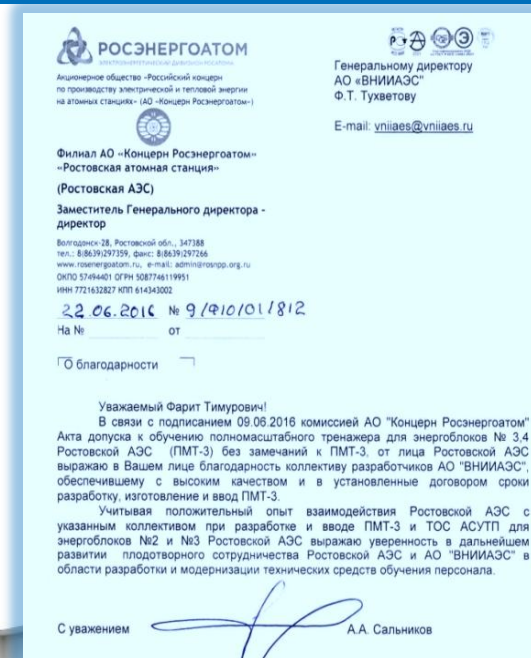
Виртуальный имитатор РПУ ПМТ-4



Генеральный директор МАГATЭ
Ю. Аmano на ПМТ блока №4
Калининской АЭС

Тренажеры ВНИИАЭС для блоков с цифровыми АСУ ТП: ПМТ для блока № 3 Ростовской АЭС (ПМТ-3)

- ✓ ПМТ для блока №3 Ростовской АЭС с реактором ВВЭР разработан АО «ВНИИАЭС» на базе платформы «ENICAD» в сотрудничестве с предприятием ГК «Росатом» ФГУП УЭМЗ (изготовитель аппаратного комплекса).
- ✓ Полномасштабная модель блока-прототипа ПМТ-3 охватывает 82 системы энергоблока и рассчитывает свыше 1 048 576 переменных в широком спектре режимов нормальной эксплуатации, режимов с нарушением условий нормальной эксплуатации, аварийных режимов, включая проектные и запроектные аварии.
- ✓ ПМТ-3 введен в обучение комиссией АО «Концерн Росэнергоатом» без замечаний 09.06.2016.
- ✓ За своевременный ввод и высокое качество ПМТ получена благодарность директора Ростовской АЭС.



Полномасштабный имитатор БПУ ПМТ-3



Полномасштабный имитатор РПУ ПМТ-3

Тренажеры ВНИИАЭС для блоков с цифровыми АСУ ТП: Тренажерный комплекс для блока № 4 Белоярской АЭС

- ✓ В состав тренажерного комплекса для блока № 4 Белоярской АЭС с реактором БН-800 и российской цифровой АСУ ТП входят: ПМТ, тренажерно-стендовый комплекс АСУ ТП (ТСК АСУТП), тренажер системы контроля и управления системы противопожарной защиты (СКУ ПЗ), тренажер центрального щита управления (ЦЩУ), тренажер местного пульта управления водоподготовкой (ВПУ) и компьютерная обучающая система по энергоблоку (КОС). Тренажерный комплекс разработан на базе платформы ENICAD и обеспечивает подготовку всех основных категорий эксплуатационного персонала энергоблока. Тренажеры комплекса разработаны в сотрудничестве с предприятием ГК «Росатом» ФГУП УЭМЗ (изготовитель аппаратных комплексов всех тренажеров и КОС) и фирмой ЭНИМЦ «МС», специализирующейся на моделях реактора БН.
- ✓ Полномасштабная модель ПМТ охватывает более 140 систем энергоблока и рассчитывает свыше 125 тысяч дискретных и 12,5 тысяч аналоговых переменных в широком спектре режимов нормальной эксплуатации, режимов с нарушением условий нормальной эксплуатации и аварийных режимов.
- ✓ Поставка ПМТ для блока № 4 Белоярской АЭС завершена ВНИИАЭС в декабре 2016 года, после проведения комплексных испытаний на площадке ФГУП УЭМЗ. С целью обеспечения опережающей подготовки персонала в 2014 г., до ввода ПМТ, был введен в обучение АТ, использующий модель энергоблока для ПМТ.



ПМТ блока №4 Белоярской АЭС во время комплексных испытаний
на площадке ФГУП УЭМЗ



АТ блока №4 Белоярской АЭС

Тренажер оборудования и систем АСУ ТП для подготовки персонала, эксплуатирующего АСУ ТП АЭС российского дизайна

В связи со сложностью новых цифровых российских АСУ ТП потребовалось специализированное техническое средство обучения для подготовки персонала, эксплуатирующего эти АСУ ТП – ТОС АСУТП.

В состав ТОС АСУТП входят два специализированных комплекса: модель АСУ ТП и представительный комплекс системы верхнего блочного уровня (СВБУ) и основной части нижнего уровня АСУ ТП, реализованной на средствах ТПТС.



ТОС АСУ ТП обеспечивает:

- ✓ Изучение структуры и алгоритмов работы различных систем АСУ ТП в их взаимосвязи;
- ✓ Отработку основных операций по обслуживанию аппаратуры и смене версий штатного прикладного ПО системы верхнего блочного уровня АСУ ТП (СВБУ) и реализованной на средствах ТПТС основной части нижнего уровня цифровых АСУ ТП;
- ✓ Проведения с использованием полномасштабной модели энергоблока анализа текущих версий прикладного ПО СВБУ и нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС.

Особенностью ТОС АСУ ТП является наличие в его составе программного комплекса, позволяющего автоматически генерировать полностью адекватные модели систем нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС (составляющих более 80% его объема) и моделей СВБУ по текущим версиям прикладного ПО этих систем на блоке-прототипе и широкий набор сервисных функций для эффективного анализа проекта АСУТП. При этом в сгенерированных моделях полностью сохраняются штатные интерфейсы основных систем АСУТП.

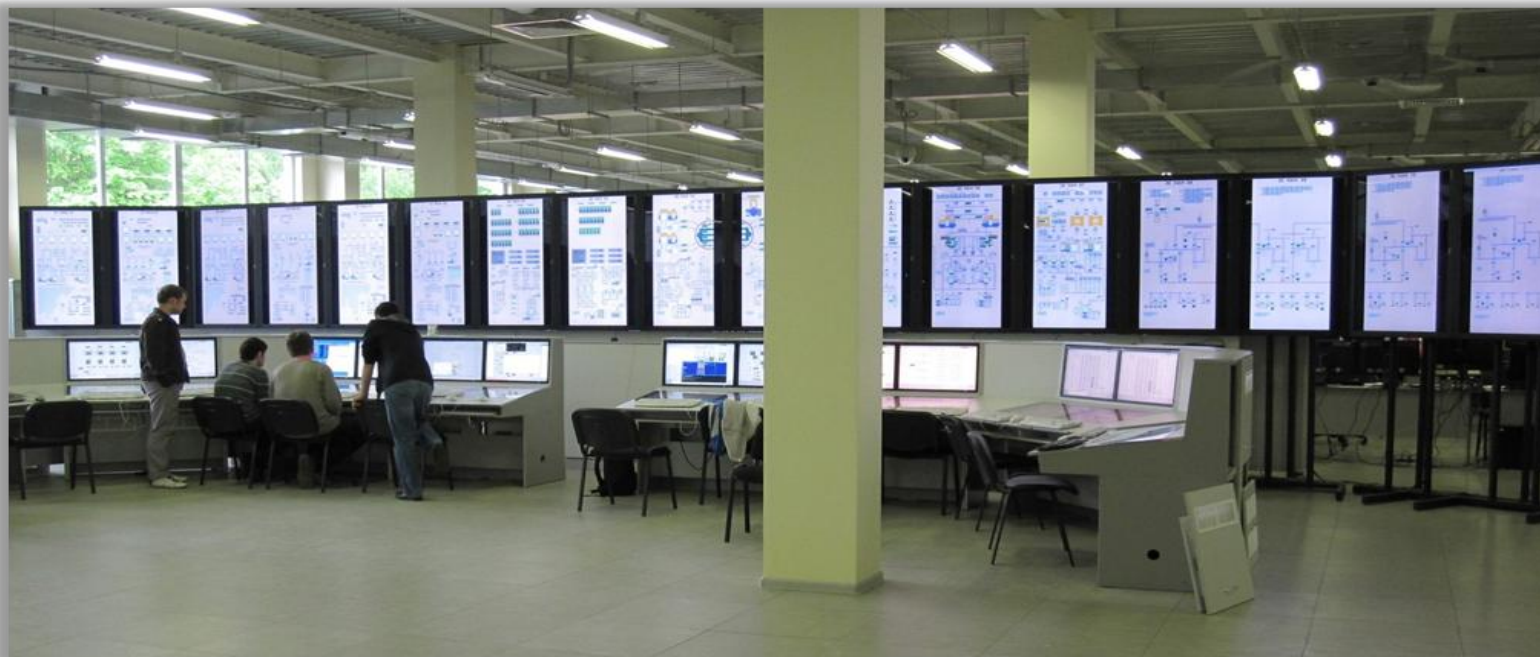
Преимущества ПМТ/АТ/ТОС АСУ ТП ВНИИАЭС для АЭС российского дизайна

Применение в используемой ВНИИАЭС для разработки ПМТ платформе ENICAD систем автоматизированного проектирования (САПР) с развитым графическим интерфейсом при разработке моделей технологических систем и систем АСУ ТП энергоблока

Полностью автоматизированная генерация моделей СВБУ и систем нижнего уровня АСУТП на базе средств ТПТС всех модификаций по файлам штатного прикладного ПО этих систем на энергоблоке-прототипе

Высокоточная модель активной зоны с дополнительной системой расчета ее констант, обеспечивающей соответствие модели текущему состоянию активной зоны блока-прототипа

Возможность разработки и тестирования полномасштабной модели энергоблока одновременно с изготовлением оборудования тренажера и разработкой УММ для тренажера с использованием полигона ВНИИАЭС



Полигон ВНИИАЭС с виртуальными панелями для разработки тренажеров и тестирования проектов АСУ ТП

Методы моделирования систем цифровых АСУ ТП в тренажерах ВНИИАЭС

В ходе создания ряда ПМТ ВНИИАЭС отработал методы моделирования, позволяющие создавать полностью адекватные модели основных систем АСУ ТП по текущим версиям их прикладного ПО.

Система Верхнего Блочного уровня (СВБУ) АСУ– интерфейсы операторов, архивы, расчётные параметры. На новых российских блоках СВБУ реализуется ТП на базе платформы «ПОРТАЛ» (ВНИИАЭС) или платформы «Оператор» (ИПУ РАН).



Нижний уровень АСУ ТП – защиты, блокировки и другая автоматика. На новых российских энергоблоках реализован в основном на средствах ТПТС (ВНИИА) и средствах Teleperm XS (AREVA), составляющих более 80% объема нижнего уровня цифровых АСУ ТП новых блоков российских АЭС.

ТПТС

AREVA

Другие системы АСУ ТП

В модели используется штатное прикладное ПО текущей версии СВБУ блока-прототипа, дополненное специализированными драйверами

Автоматическая генерация моделей по текущей версии проекта (GET-проект и LEFU-5) штатных систем нижнего уровня АСУ ТП блока-прототипа

Моделирование с использованием САПР «Автоматика» платформы ENICAD или перспективной платформы «Виртуально-цифровой АЭС» на основе библиотек элементов, создаваемых под все типы средств автоматизации, применяемых на блоке

Программный комплекс для статического тестирования ПТК ТПТС (ПКСТ). Причины создания и референтность.

ПКСТ - основной инструмент генерации моделей систем нижнего уровня АСУ ТП на базе средств ТПТС по текущим версиям GET-проектов.

Проект программно-технического комплекса (ПТК) нижнего уровня АСУ ТП блока АЭС ВВЭР, реализованного на базе средств ТПТС, содержит огромное количество схем алгоритмов. Например, для блока №4 Калининской АЭС этот проект содержит 77383 GET-плана. При этом ПТК ТПТС обменивается с СВБУ более, чем 130 000 сигналов, а в процессе разработки и наладки ПТК ТПТС сами GET-планы и даже их количество непрерывно меняются. Инженерная станция фирмы Siemens, использованная при проектировании ПТК ТПТС первых версий (51-ЕМ) не предоставляла возможностей по визуализации работы и эффективного анализ создаваемых ее средствами алгоритмов и была не эффективна при отладке GET-проектов столь большого объема. Это стало основной причиной создания ПКСТ.

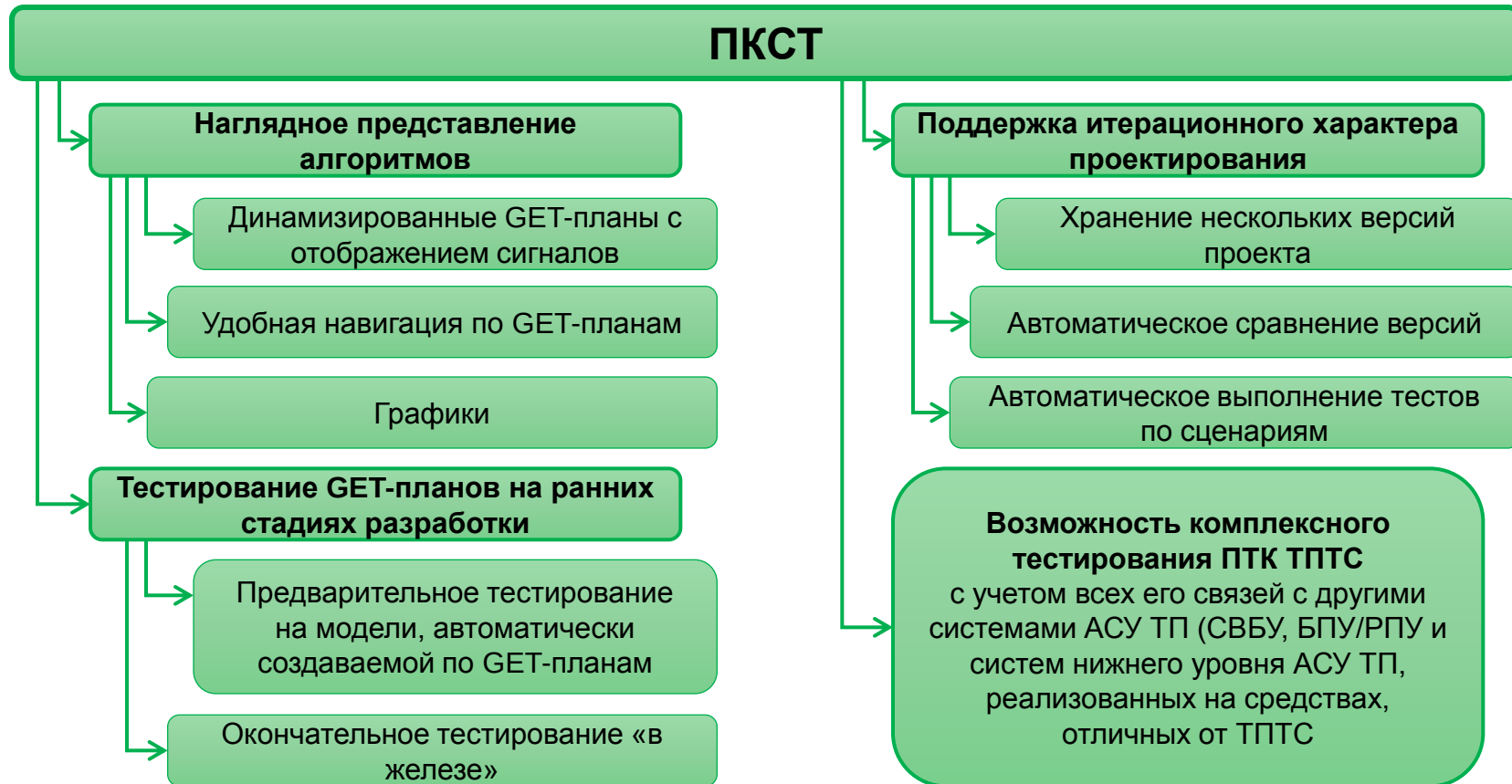


Референтность
Бушер-1
Куданкулам-1,2
Калинин-3,4
Ростов-2,3,4
Нововоронежская АЭС-2 блоки № 1,2
Белоярская АЭС блок №4

Количество сигналов от ПТК ТПТС в СВБУ:
116000 дискретных сигналов из ТПТС в СВБУ
9000 аналоговых сигналов из ТПТС в СВБУ
5500 управляемых от СВБУ объектов ТПТС
(из них **3500** исполнительных механизмов)

Программный комплекс для статического тестирования ПТК ТПТС (ПКСТ). Функционал.

Для анализа проекта ПТК ТПТС уже при наладке первого энергоблока АЭС ВВЭР с российской цифровой АСУ ТП – блока №3 Калининской АЭС (введен в 2004 г.), был создан программный комплекс (ПКСТ), который позволил многократно снизить трудозатраты на анализ текущих версий проекта.



Программный комплекс для статического тестирования ПТК ТПТС (ПКСТ). Тестирование алгоритмов с использованием модели.

Процесс получения модели ТПТС-51, ЕМ

На инженерной станции:

- Разработка версии проекта
- Генерация STEP-кода
- Создание архива резервной копии

На ПКСТ:

- Распаковка архива резервной копии
- Генерация вспомогательных файлов
- Генерация моделей ПТК ТПТС и ИМ
- Тестирование с использованием модели

Процесс получения модели ТПТС-НТ/СБ

На инженерной станции:

- Разработка версии проекта
- Генерация STEP-кода

На ПКСТ:

- Связь с базой данных САПР GET-R1
- Генерация моделей ПТК ТПТС и ИМ
- Тестирование с использованием модели

Функциональный состав модели:

•интерфейсы модели:

- связь с ЭНИКАД встроена в модель;
- модуль связи ЭНИКАД с СВБУ на базе «Портал» без шлюзов;
- модуль эмулятора шины EN для связи с любым верхом через шлюзы;

•модели STEP-кодов модулей обмена (EAS-ов):

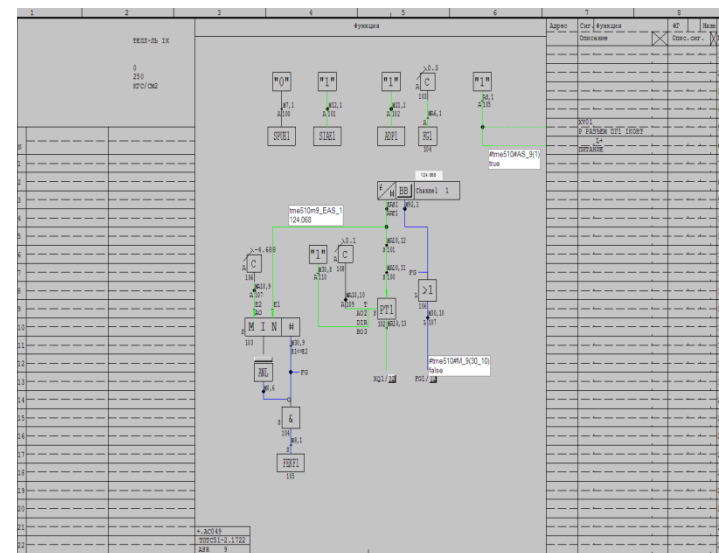
- межмодульный обмен;
- проектируемые телеграммы – обмен между стойками и верхним уровнем;
- модели головных и канальных операторов (обмен с верхним уровнем);

•модели функциональных модулей:

- модели базовых функций функциональных модулей;
- модели STEP-кодов модулей;

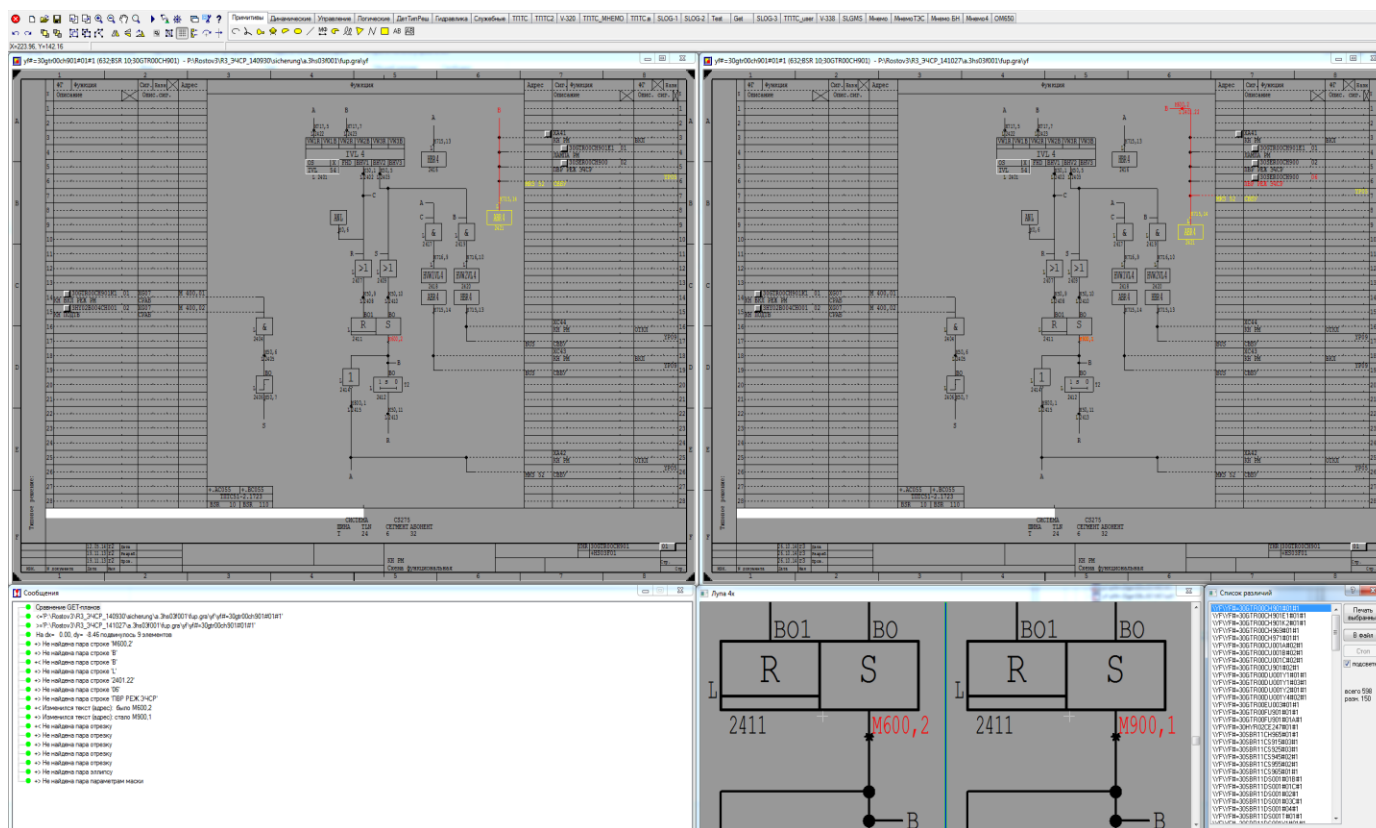
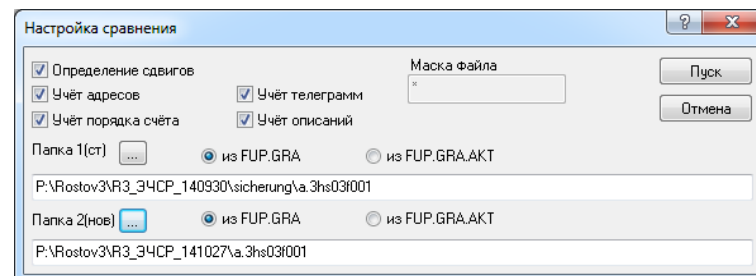
•модели исполнительных механизмов.

Визуализация GET-планов:



Программный комплекс для статического тестирования ПТК ТПТС (ПКСТ). Сравнение версий GET-проектов.

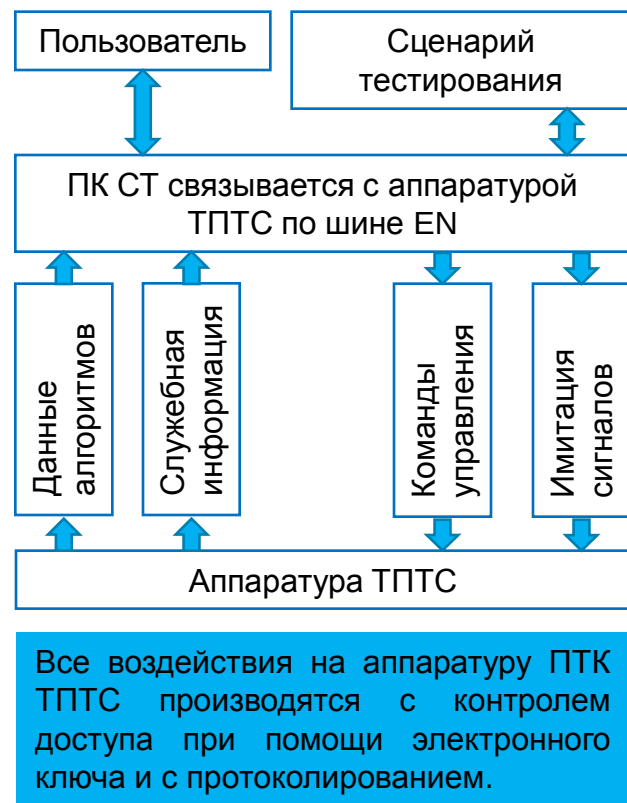
ПКСТ предоставляет возможность интерактивного сравнения двух версий GET-проектов. Процесс является настраиваемым. При сравнении можно указать, какие именно изменения надо учитывать. Например, при выполнении автоматической процедуры назначения адресов операндов, адреса могут измениться почти во всём проекте, но не оказать влияния на работу алгоритмов. А при решении о возможности обновления алгоритмов в одиночном модуле стабильность адресов операндов очень важна.



Результатом сравнения являются списки различающихся листов проекта и списки различий между одинаковыми листами версий проектов. При выборе в списке листов, имеющих различие, обе версии листа выводятся на экран и в окно сообщений выдается список различий между листами. При выборе мышью пункта списка различающиеся элементы выделяются на листах. Красным цветом помечаются важные изменения, желтым – элементы, у которых изменились только координаты.

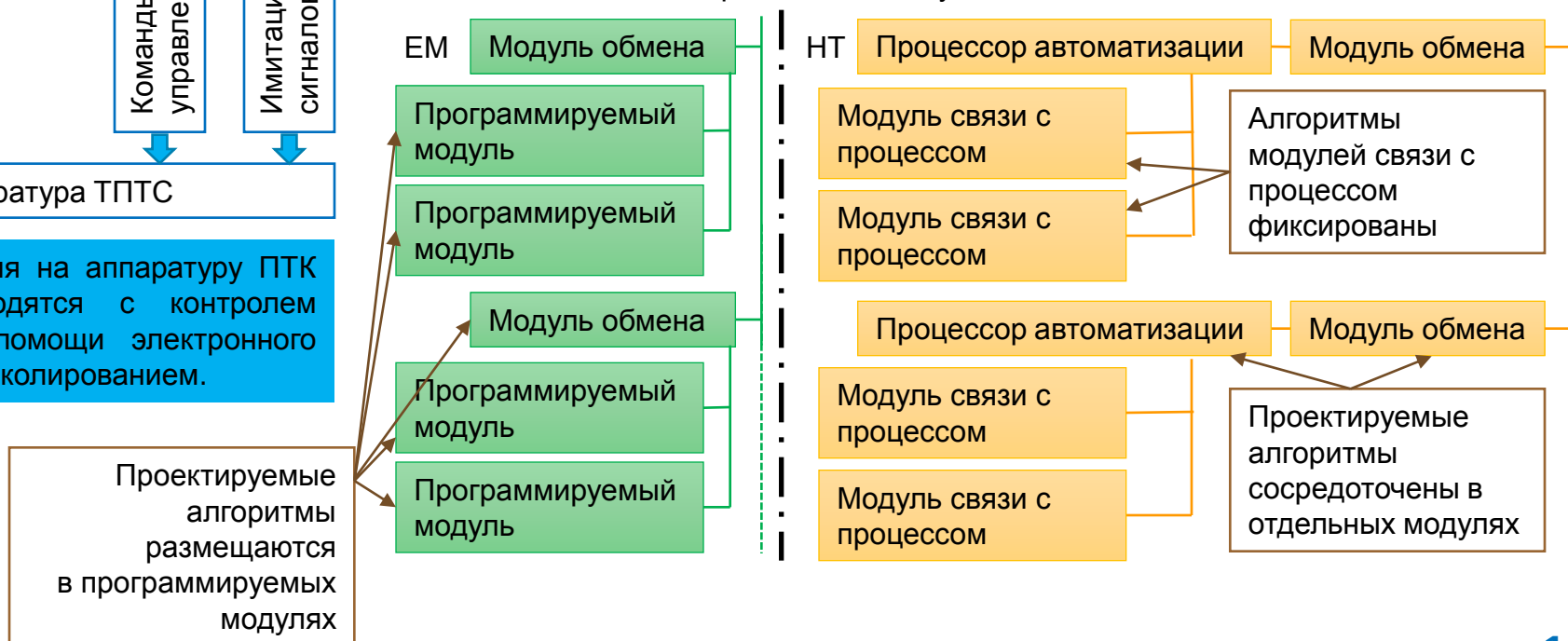
Программный комплекс для статического тестирования ПТК ТПТС (ПКСТ). Тестирование алгоритмов, загруженных в аппаратуру ТПТС.

Работа с аппаратурой ТПТС:



Новая техника -ТПТС-НТ и ТПТС-СБ:

- ВНИИА разработал новое поколение средств ТПТС, предназначенное для создания систем управления нормальной эксплуатации (ТПТС-НТ) и систем безопасности (ТПТС-СБ)
- Для нового поколения ТПТС ВНИИА создана новая, российская САПР инженерной станции - САПР «GET-R1»
- Структура нового ТПТС значительно отличается от предшественника, что потребовало разработки средств моделирования для нового поколения ТПТС фактически «с нуля»

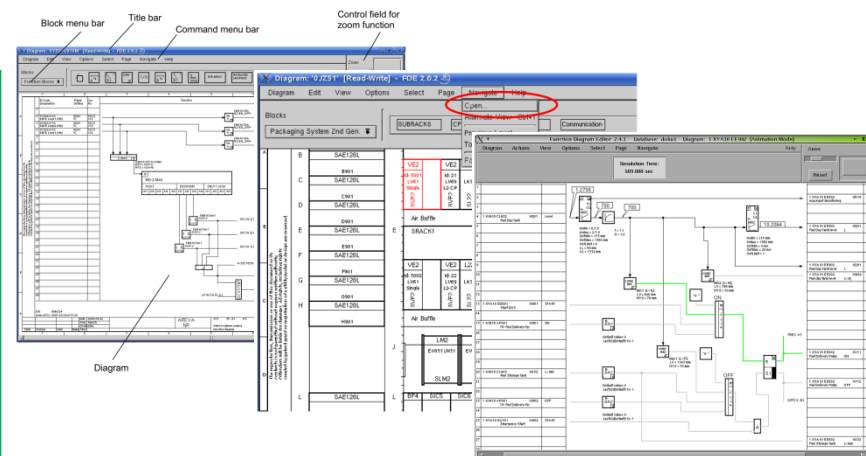


Программный комплекс для статического тестирования ПТК на базе средств Teleperm XS. Функционал.

Процесс получения модели

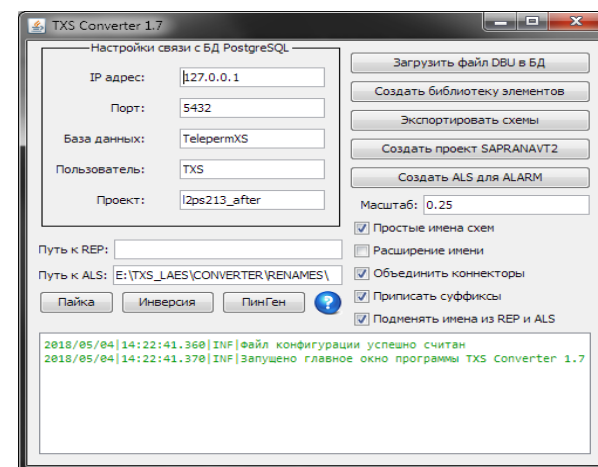
С использованием средств разработчика:

- в программном обеспечении Teleperm XS Engineering System SPACE разрабатываются алгоритмы и их распределение по аппаратным средствам (крейты, стойки, сетевые диаграммы связи стоек между собой);
- выполняется компиляция нарисованных схем в исполняемый код;
- в программном обеспечении Teleperm XS SIVAT-TXS Simulation Based Validation Tool выполняется запуск исполняемого кода (моделирование: наблюдение за поведением алгоритмов и управление входными данными);
- все данные проекта хранятся в формате БД Oracle.



С использованием средств, разработанных ВНИИАЭС:

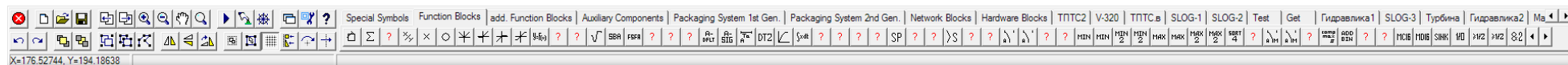
- в качестве исходных данных используется резервная выгрузка БД Oracle;
- используется оригинальная библиотека специально разработанных элементов САПРАНАвт, функционально соответствующая элементам библиотеки Teleperm XS;
- при помощи оригинального конвертора функциональные диаграммы TXS импортируются в среду исполнения. В результате их компиляции получается модель АСУ ТП.



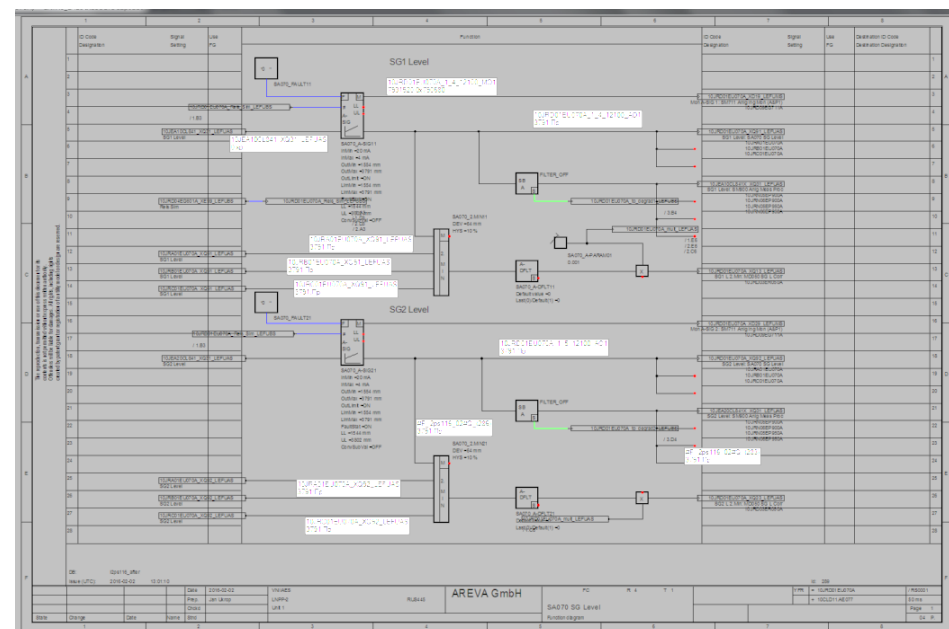
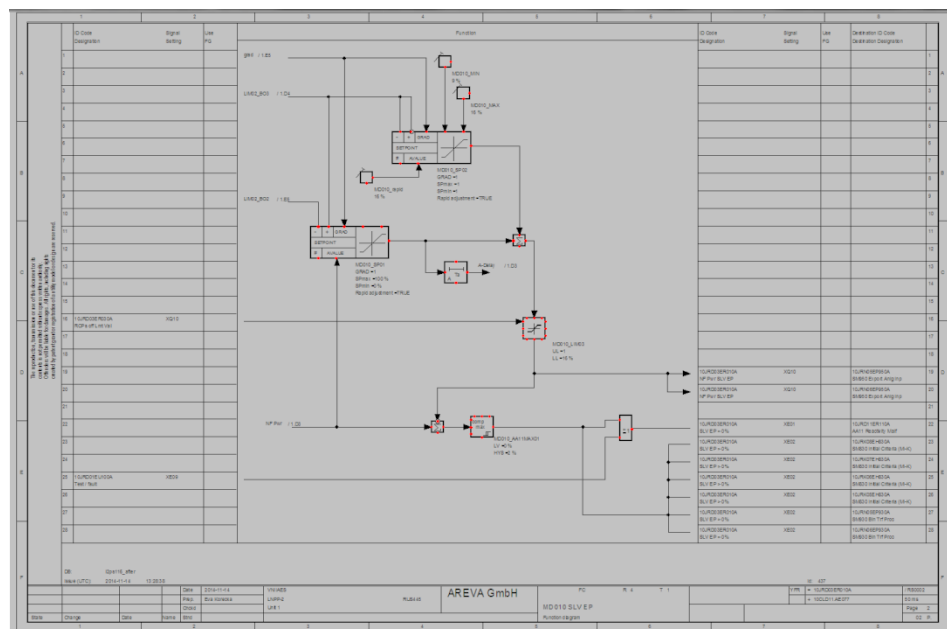
В результате автоматической конвертации получается модель, пригодная к использованию в составе комплексной модели энергоблока, разработанной как на платформе ENICAD, так и на перспективной платформе, создаваемой в рамках проекта «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР». В отличие от оригинальной системы, алгоритмы моделируются без привязки к аппаратному распределению.

Программный комплекс для статического тестирования ПТК на базе средств Teleperm XS. Библиотека элементов.

Библиотека функциональных модулей САПРАНАвт



Для получения моделей АСУТП на базе Teleperm XS был разработан набор моделей функциональных модулей «САПРАНАвт» (САПР Надежной Автоматики), которые соответствуют библиотекам элементов Teleperm XS. Оригинальные библиотеки Function Blocks и Add.Function Blocks, отвечающие за работу алгоритмов, имеют соответствующую внутреннюю реализацию. Остальные библиотеки (Hardware Blocks, Network Blocks) имеют графическую реализацию (без возможности моделирования аппаратной части). Получаемые аналоги схем Teleperm XS строятся по принципу один-в-один, но имеют дополнительную визуализацию, позволяющую отслеживать прохождение сигналов и оценивать правильность работы алгоритмов во время исполнения модели. Система «САПРАНАвт», имея собственную библиотеку эквивалентных Teleperm XS элементов, позволяют не только конвертировать уже созданный проект, **но и разрабатывать новые проекты, проводя их статическое тестирование непосредственно в ходе проекта.**



На базе описанных программных средств в настоящее время уже получены модели СБ для ЛАЭС-2 и НВАЭС-2.

Статическое и динамическое тестирование проектов энергоблоков

Модели АСУ ТП на базе средств ТПТС и Teleperm XS получаются методом автоматической генерации по текущим версиям проектов с использованием вышеописанных комплексов ПКСТ и «САПРАНАвт». Никакие ручные корректировки при этом не вносятся. В качестве модели СББУ используется дополненная необходимыми драйверами текущая версия прикладного ПО штатной СББУ. Это гарантирует полную адекватность указанных моделей наиболее объемных и часто меняющихся частей АСУ ТП, создаваемых «проектным способом» с участием большого количества организаций, их текущим версиям проекта.

Модели остальных мало изменяемых в ходе проекта систем АСУ ТП (БПУ/РПУ, КЭ СУЗ и т.д.), создаваемых как правило «под ключ» одним разработчиком, заранее разрабатываются средствами платформы ENICAD, тестируются и комплексировются с моделями систем АСУ ТП, создаваемых «проектным способом». Таким образом получается полномасштабная модель АСУ ТП с легко изменяемыми по текущим версиям проекта моделями СББУ и систем нижнего уровня АСУ ТП на базе средств ТПТС и AREVA, на которой можно проводить статическое тестирование всего проекта АСУ ТП. Такое статическое тестирование проводилось по всем проектам АСУ ТП новых энергоблоков российского дизайна (Бушер-1; Куданкулам-1,2; Калинин-2,3,4; Ростов-2,3,4; НВАЭС-5,6; блоки 1,2 ЛАЭС-2; Белоярская-4).

При «замыкании» модели АСУ ТП на модель физических процессов в технологических системах энергоблока получается комплексная полномасштабная модель энергоблока для ПМТ/АТ, на которой можно проводить полное комплексное динамическое тестирование проектов новых энергоблоков, либо проектов модернизации действующих блоков.

Комплексная полномасштабная модель энергоблока для ПМТ/АТ и динамического тестирования проектов блоков

Полномасштабная модель АСУ ТП для статического тестирования

Модели АСУ ТП,
создаваемых «проектным
способом» (ТПТС, ТХС,
СББУ)



Модели систем АСУ ТП,
реализованных на средствах,
отличных от ТПТС и Teleperm XS
(БПУ/РПУ, КЭ СУЗ, РЗА ЭЦ и др.)



Модели физических
процессов в технологических
системах энергоблока,
реализованные средствами
платформы ENICAD или
перспективной платформы
«Виртуально-цифровой АЭС»

Наши контакты



АО «ВНИИАЭС»

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

E-mail: vniiaes@vniiaes.ru

Tel. +7(499)796-93-63

Fax +7(495)376-83-33



НИЯУ «МИФИ»

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

Тел: 8 (495) 788-56-99

8 (499) 324-77-77

