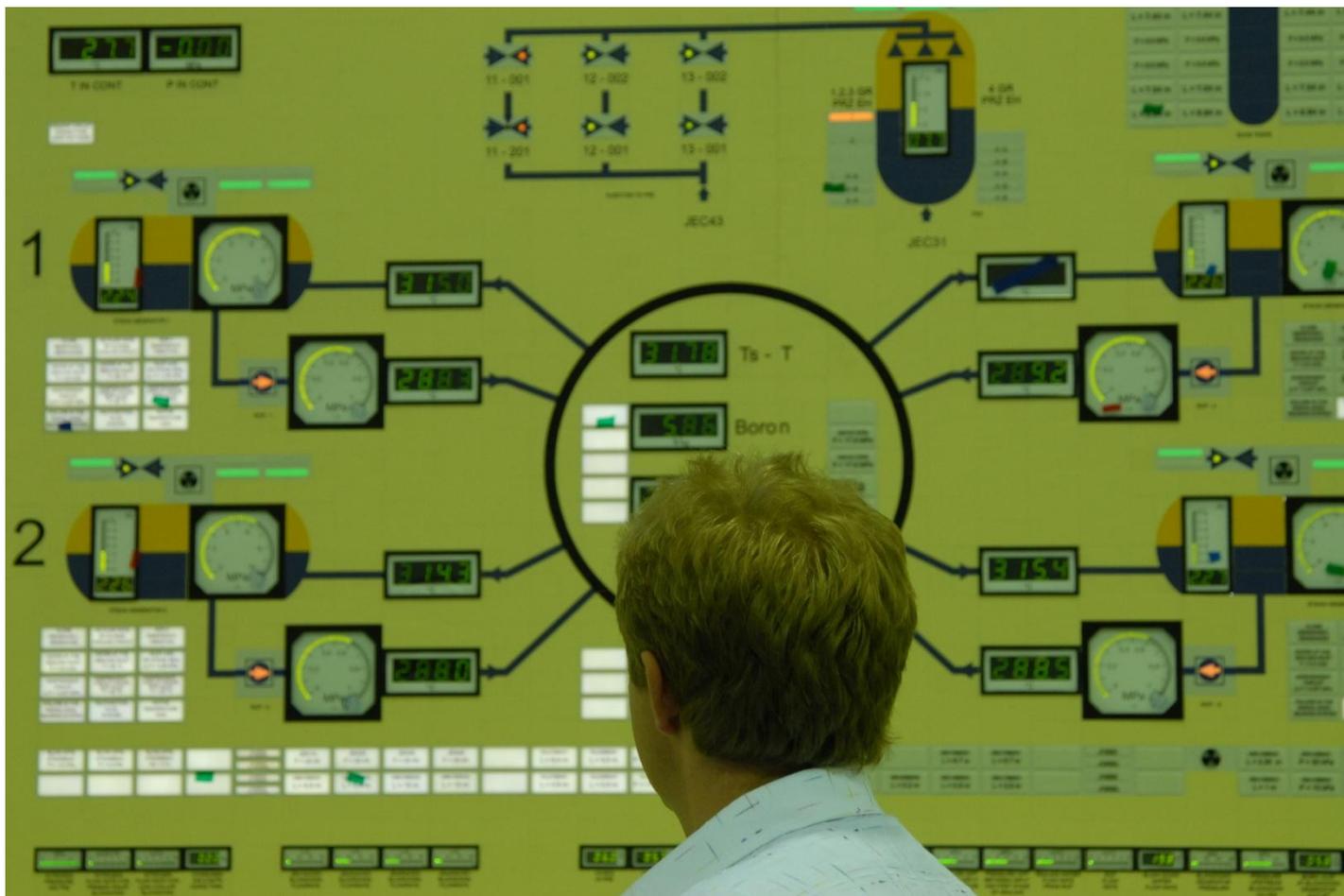


«Синхронное моделирование проекта энергоблока для повышения его качества и сокращения сроков разработки».

Аркадов Г.В., Жукавин А.П., Крошилин А.Е.

ОАО «ВНИИАЭС»



Математическая модель энергоблока:

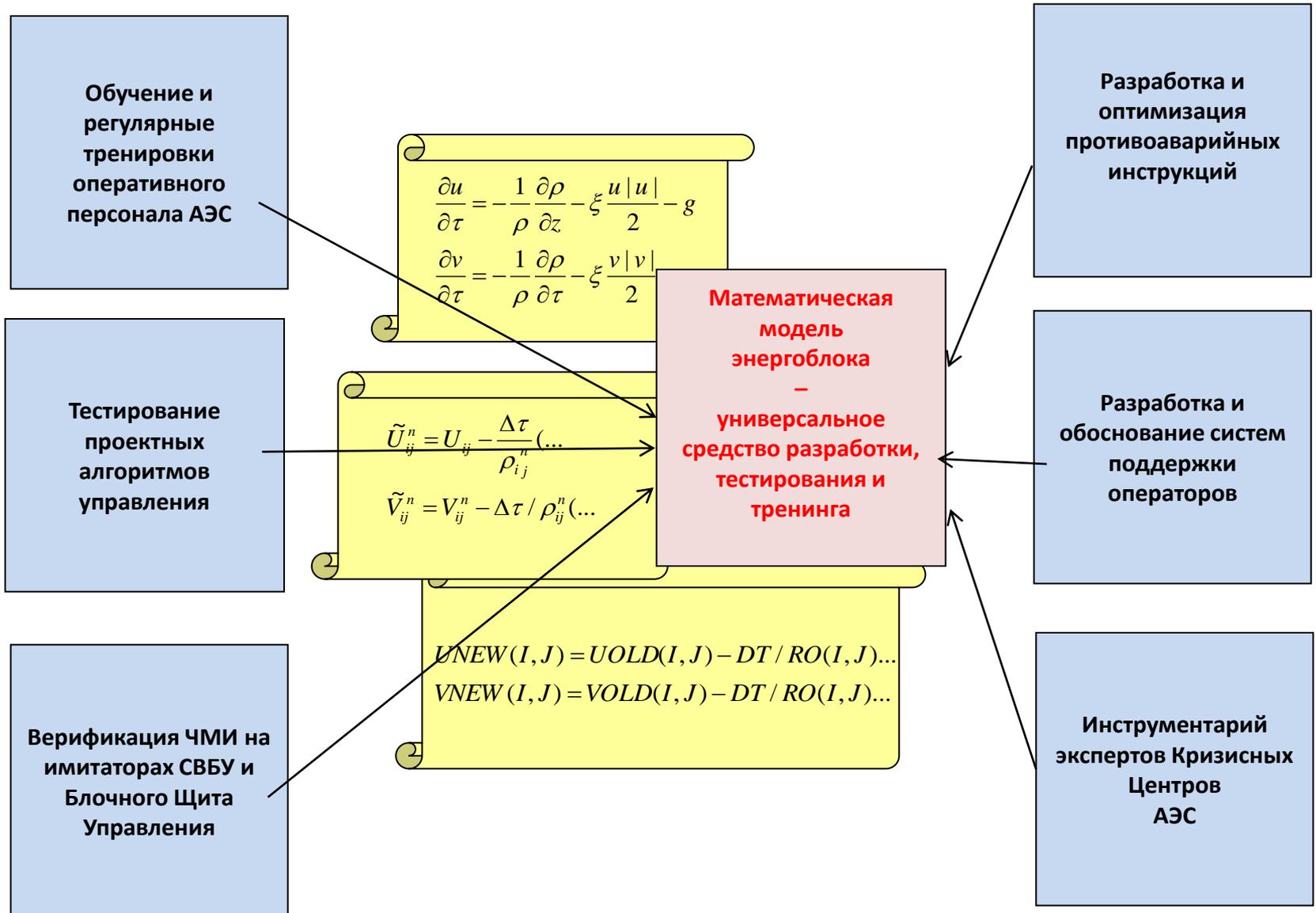
А) Модели физических процессов, объединенные в кодо-генераторы:

- теплообмен, гидродинамика, нейтронная физика, электрика, логика...

Б) Модели оборудования и систем блока, полученные с помощью кодо-генераторов:

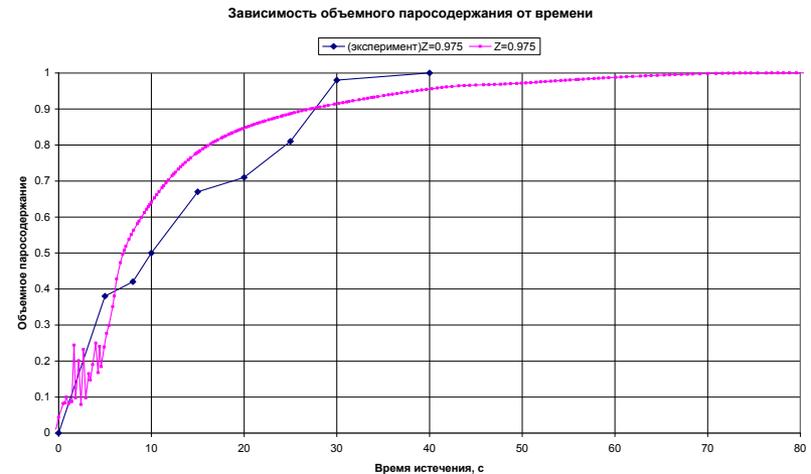
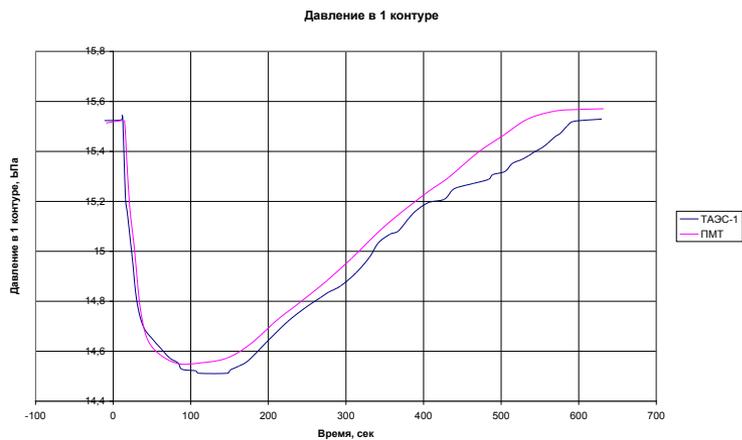
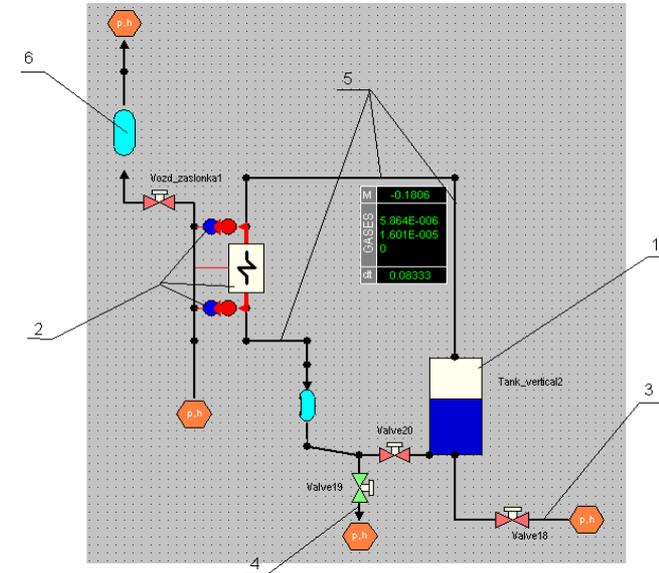
- Модели технологических систем
- Модели систем энергоснабжения и генерации
- Модель активной зоны и ловушки
- Модели систем управления нижнего и верхнего уровней

Сфера применения полномасштабных моделей



Верификация математических моделей

- ✘ Локальная верификация
- ✘ моделей физических процессов
- ✘ Автономная верификация
- ✘ моделей технологических систем
- ✘ Комплексная (интегральная)
- ✘ верификация математической
- ✘ модели энергоблока



В России этап полномасштабного моделирования для проверки проектных решений в достаточном объеме не использовался, что приводило к значительным потерям:

1. Калининская АЭС:

- На ПНР принято более 500 тех. решений по корректировке проекта
→ **удлинение сроков ПНР и задержка пуска блока**

2. Тяньваньская АЭС:

На ПНР множественные корректировки проекта

- **удлинение сроков ПНР и задержка пуска блока**
- **валидация БПУ/РПУ проводилась на ПМТ в декабре 2006г. при уже работающем энергоблоке**

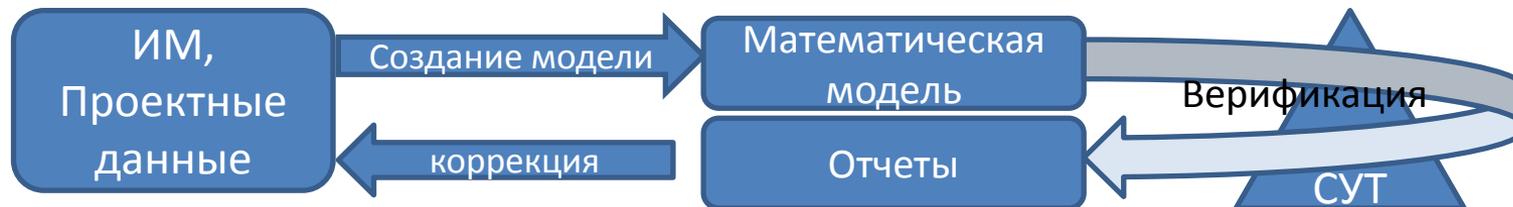
3. АЭС Куданкулам:

- После изготовления БПУ для ПМТ и поставки его Инозаказчику предполагается изменение проекта БПУ в объеме до 30%. Валидация и верификация БПУ не проводились
- Инозаказчик предъявил замечания к уже изготовленному СВБУ в части человеко-машинного интерфейса
→ **может вызвать удлинение сроков проектирования, изготовления АСУТП и ввода энергоблока в эксплуатацию**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПММ В РОССИИ: ОПЫТ И НАМЕРЕНИЯ ВНИИАЭС/ДЖЭТ



Верификация проекта. Математическое моделирование



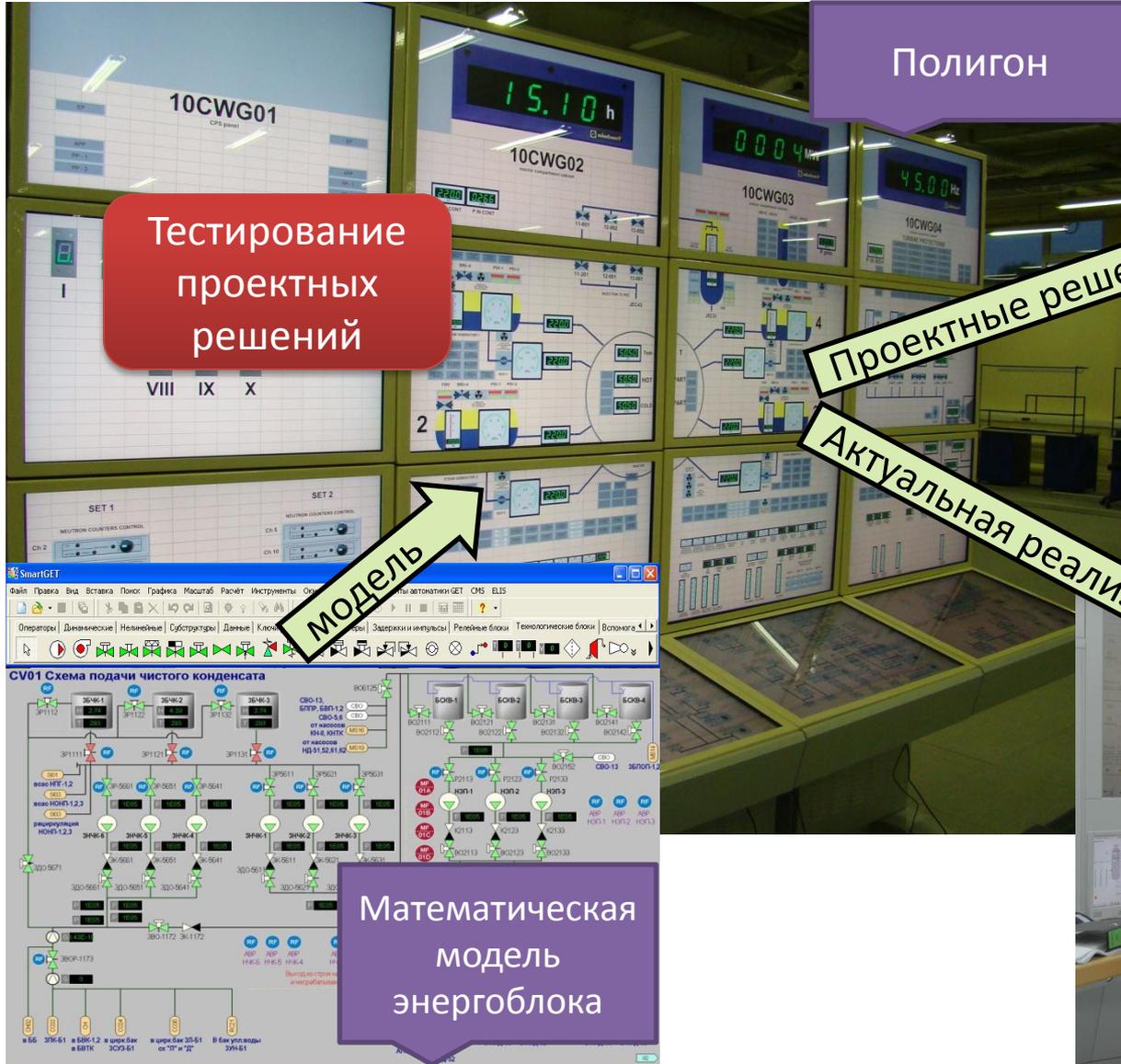
- Цель:

- Создать инструмент верификации проекта для исправления ошибок и нахождения неточностей еще на стадии проектирования, подготовки информации для изменения проекта и верификации его новой версии.
- Помочь Дизайн-центру:
 - Создать проект высокого качества, обеспечивающий ввод в эксплуатацию энергоблоков без срывов плановых сроков
 - Выявить критические проблемы планирования, управления и интеграции процессов проектирования
 - Снизить затраты тестирования и пуско-наладочных работ на площадке и устранить причины не прогнозируемых календарных отставаний
 - Разработать и оптимизировать эксплуатационные процедуры управления и регламентную документацию
 - Верифицировать и валидировать проектные решения систем АСУ ТП, проверить алгоритмы управления до пуска энергоблока
 - Выявить все неоднозначности и проектные вопросы на динамической модели

Сенсорный электронный блочный щит для тестирования проектных решений



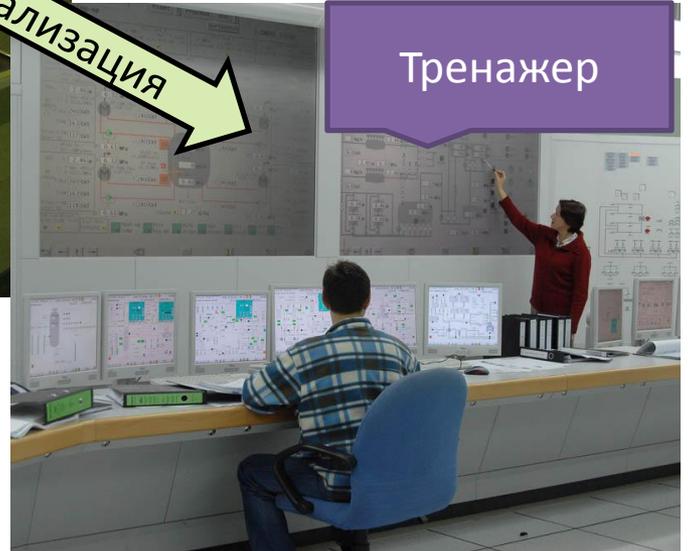
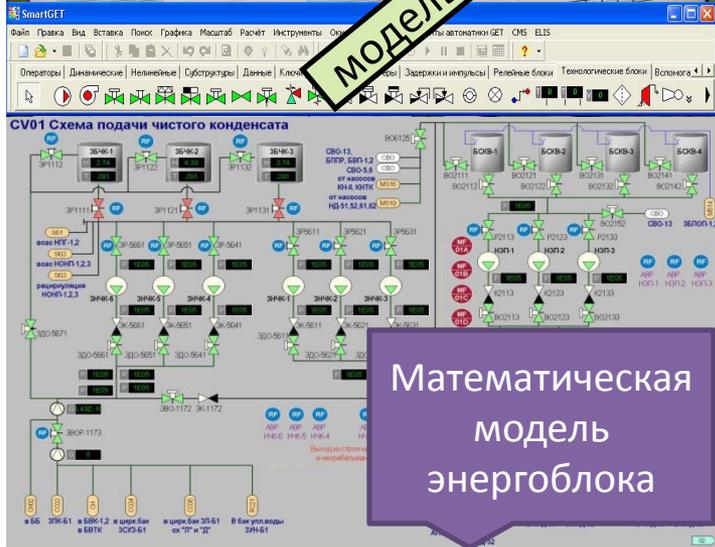
Электронная модель блока с электронным БПУ для тестирования проекта АЭС



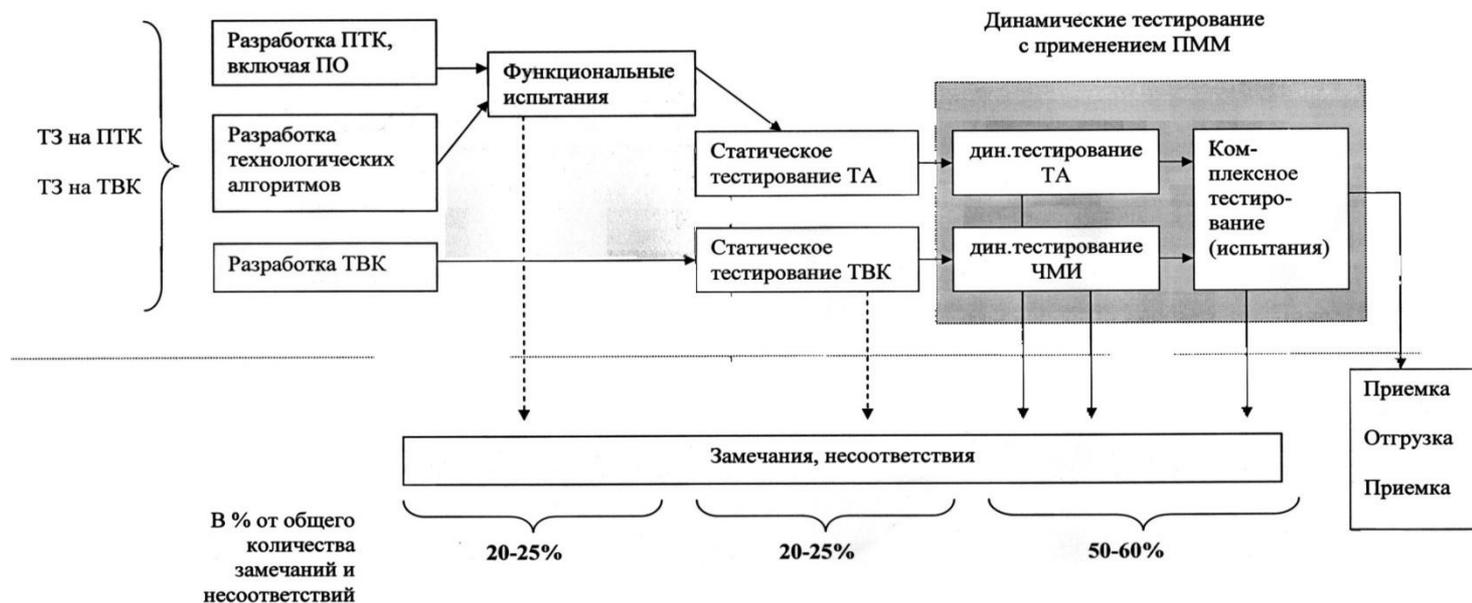
Проектные решения

Актуальная реализация

Модель



Структура процесса тестирования алгоритмов АСУ ТП проекта АЭС «Куданкулам»



Более половины замечаний и несоответствий обнаруживается на этапе тестирования с полномасштабными моделями блока

Результаты тестирования технологических алгоритмов (АЭС «Куданкулам»)

ПТК	Количество систем	Количество алгоритмов	Кол-во замечаний по настольной верификации	Кол-во замечаний по статической верификации	Ко-во замечаний по результатам динамического тестирования	Кол-во замечаний по результатам повторного тестирования
СКУ СВО	19	430	88	70	54	2
СКУ САПЗ	5	136	0	5	23	21
СКУ Вентиляция	9	773	66	60	23	6
СКУ РО +УСБТ	93	1734	55	144	188	53 142
СКУ ТО	64	860	65	143	165	118
СКУ ТГ	8	62	12	20	32	31
СКУ ЭЧСР					46	27

Результаты испытаний ЧМИ СВБУ с использованием ПММ

Подсистемы АСУ ТП (СКУ)	Количество технологических видеокад-ров для СКУ	Кол-во замеча-ний, несоответ-ствий (технологи-ческое содержа-ние)	Кол-во замечаний, несоответ-ствий (эргономика)	Всего по ТВК
АСКУЗ	14	10	21	31
КЭ СУЗ	7	14	30	44
СКУ СВО	47	12	7	19+45
СКУ В САППЗ	90	23	12	35+42
СТД ГЦНА	2	3	12	15
СКУ ТГ	2	5	2	7+1
СКУ ЭЧСР	2	21	4	25+22
СКУ РО	153	110	67	177+58
СКУ ТО				122+35
ТДК АСРК				3
ВХР				4
СПНБ				3
Всего	317			688

Примеры проблем, выявленных при верификации и валидации технологических алгоритмов и ЧМИ СВБУ

ВиВ технологических алгоритмов (ТА)

- Ошибки реализации в GET-проекте технического задания проектанта-технолога
- Потеря в GET-проекте выходного сигнала управления механизмом при срабатывании алгоритма управления
- Блокирование работы ТА вследствие ограничений, не предусмотренных проектантом-технологом
- Ошибки в указании кода датчиков контроля, диапазонов измерения параметров
- Отсутствие важной информации оперативному персоналу для контроля параметров в переходных режимах (не выявляется при статическом тестировании)

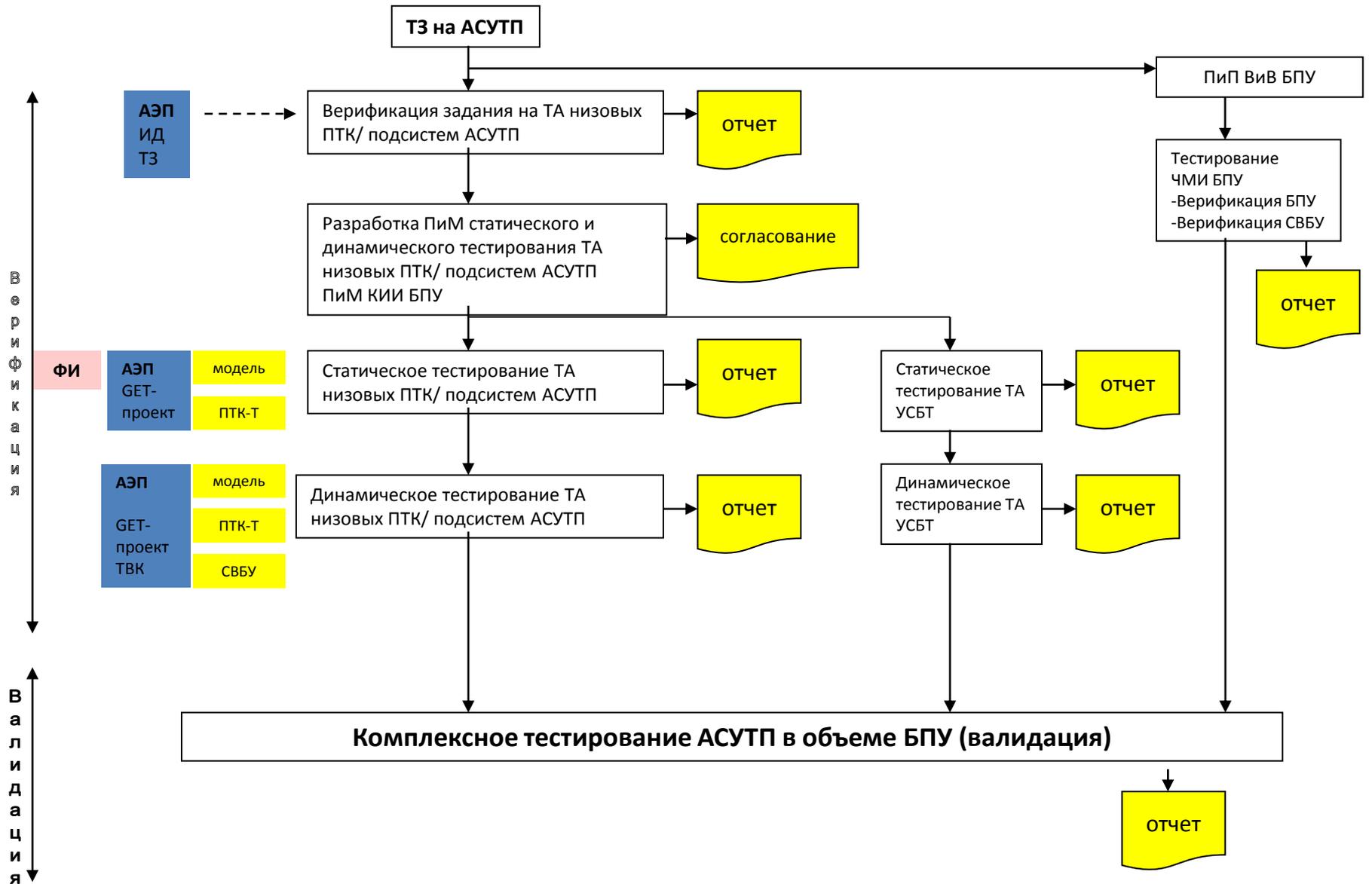
ВиВ ЧМИ СВБУ

- Несоответствия видеокадров схеме технологической системы (арматура, трассировка и т.д.)
- Неупорядоченное представление сигнализации на ТВК
- Отсутствие и ошибки переходов между видеокадрами, нарушение иерархии ТВК
- Невыполнение установленных эргономических требований :
 - К унификации интерфейса между АРМами на БПУ энергоблока,
 - По представлению сбалансированной информации операторам БПУ (перегруженность информации для оперативного контроля),
 - По кодированию информации (ошибки в обозначениях контролируемых элементов, цветовых обозначениях прокачиваемых сред в трубопроводах и тд)

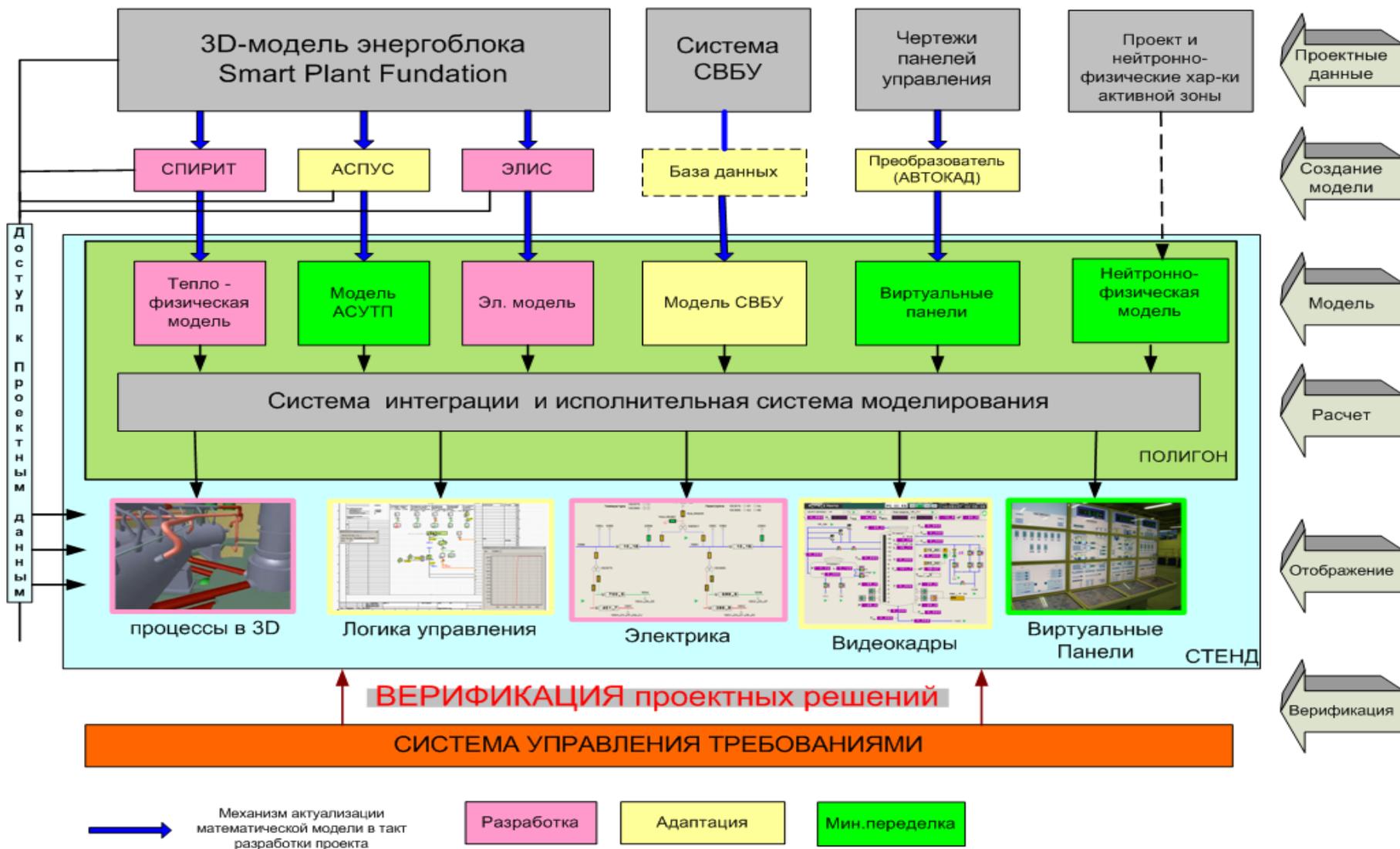
Примеры проектных ошибок, выявленных в процессе моделирования технологических систем ПМТ ТАЭС

- Высотное расположение дыхательного бака RGB01BB001 на 8 метра ниже требуемого (*система не заполняется рабочей средой*)
- Отсутствовал нагреватель предпускового прогрева масла ТГ (*срабатывает блокировка по температуре масла*)
- Ошибочное расположение регуляторов уровня в ПНД-2 (до БОУ) (*низкое качество регулирования вследствие большого гидравлического сопротивления тракта*)
- Высотное расположение дыхательных баков промконтра системы КАА на 4 метра ниже требуемого (*невозможность заполнения системы*)
- Ошибка в реализации технологического алгоритма «течь из первого контура во второй» (*ложное срабатывания систем безопасности*)
- Ошибочное закрытие задвижки на линии гидроемкости при аварии с разрывом 1 контура (*система норм экспл отключает систему без-ти*)
- Ошибочное закрытие задвижки на подаче воды в парогенератор (*невозможность проведения гидроиспытаний ПГ*)
- Не оптимальные структуры основных регуляторов второго контура

Общая схема работ по тестированию ТА ПТК/подсистем АСУТП силами ОАО «ВНИИАЭС»

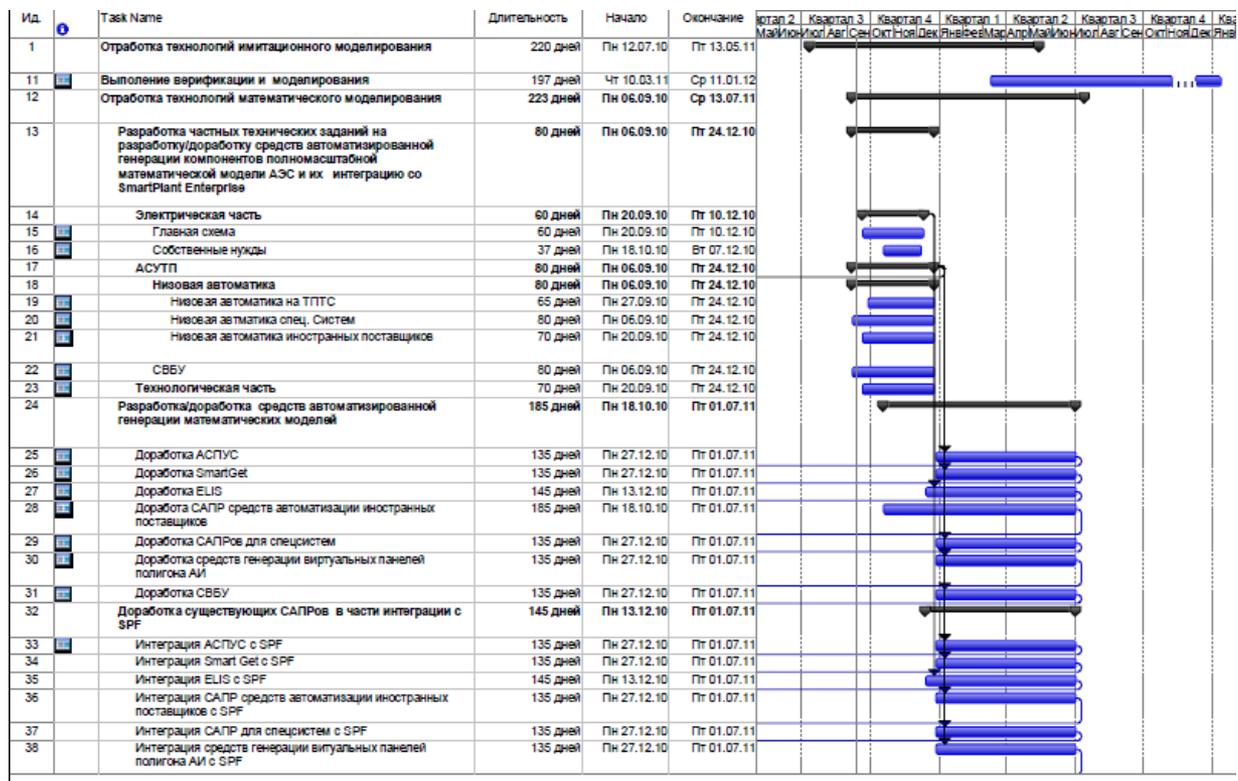


Концепция математического моделирования в такт изменениям проектных данных.



План работ по математической верификации проекта

- **Задачи:**
 - Создать математическую модель энергоблока с ВВЭР ТОИ
 - Разработать средства изменения модели в такт изменениям проектных данных
 - Разработать методики верификации проектных данных на математической модели энергоблока
- **Архитектуру-инженеру необходимо иметь:**
 - График Дизайн-центра сроков проектирования систем и их готовности
 - График передачи проектных данных от ДЦ к АИ по мере готовности систем или внесения в них очередных изменений



**Основные области
применения
математической модели для
ВВЭР-ТОИ**

```
graph TD; A([Основные области применения математической модели для ВВЭР-ТОИ]) --> B([Оптимизация технологических систем]); A --> C([Оптимизация человеко-машинного интерфейса]); A --> D([Оптимизация алгоритмов управления]);
```

**Оптимизация
технологических
систем**

**Оптимизация
человеко-машинного
интерфейса**

**Оптимизация алгоритмов
управления**



Сохранить для будущих поколений

Спасибо за внимание