

# **Реализация цифровых управляющих систем безопасности для АЭС**

**Докладчики: Диков А.И., Писаренко В.В.**

## Преимущества применения цифровых технологий:

Цифровые технологии имеют неоспоримые преимущества на всех этапах жизненного цикла системы (при проектировании, наладке, эксплуатации и дальнейшей модернизации):

- 1) Изменение алгоритмов управления происходит только посредством изменения программного обеспечения, без изменения технических средств.
- 2) Реализуются не только широкий набор функций контроля и управления технологическим процессом и оборудованием (включая реализацию сложных функций), но и улучшаются такие важные характеристики систем, как:
  - точность измерения;
  - быстродействие;
  - надежность.
- 3) Глубокая самодиагностика оборудования обеспечивает:
  - выявление дефектов, проявляющихся только при аварийных ситуациях;
  - обоснованную возможность отказаться от сложных и частых регламентных процедур опробования выполнения функций.

## Преимущества применения цифровых технологий (продолжение):

- 4) **Повышается качество эксплуатационных характеристик:**
  - информативность данных по оборудованию;
  - информативность по технологическому процессу, включая точные знания пороговых величин, характеризующих безопасное функционирование и наблюдение за параметрами системы;
  - снижение риска ошибок в результате регулирующих воздействий.
- 5) **Реализуется подход единичного ввода информации и многократного её использования.**
- 6) **Обеспечивается возможность тестирования штатного программного обеспечения (загрузочных кодов) на этапе разработки, не дожидаясь изготовления оборудования, включая использование математической модели технологического объекта управления.**
- 7) **Объективно снижается число эксплуатационного персонала при сохранении и повышении качества эксплуатации.**

## Преимущества применения цифровых технологий (продолжение):

Системы на основе цифровых технологий обеспечивают проектирование с учетом необходимых критериев и принципов:

- критерия единичного отказа;
- принципа разнообразия (включая алгоритмы управления);
- принципа независимости;
- функционального тестирования каналов защиты;
- независимости между системами управления защитными действиями и системами контроля и управления нормальной эксплуатации;
- направления действий при отказе системы в сторону безопасности (принцип безопасного отказа);
- полноты исполнения;
- возможности глубоких проверок состояния систем управления защитными действиями во время эксплуатации.

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Опыт внедрения цифровых технологий в системах управления и защиты реактора, системах безопасности:

Западные фирмы (Westinghouse, Siemens, Merlin-Gerin, ABB и другие) более 15 лет назад приступили к разработке и внедрению в управляющих системах безопасности АЭС цифровых технологий на основе программируемых микропроцессоров.

Компания "Data Systems & Solutions" (DS&S) в сотрудничестве с другими известными французскими компаниями получила лицензию и эксплуатировала цифровую систему защиты реактора класса 1E (Палуэл-1 – 1984г.).

20 энергоблоков мощностью 1300 МВт были оснащены системой SPIN первого поколения, а четыре блока N4 мощностью 1450 МВт – системой SPIN второго поколения.

Новейшая версия системы – SPINLINE-3 – была выбрана компанией "Electricité de France" для модернизации АСУ ТП ядерных реакторов на электростанциях Фессенхайм и Буже (Bugey) (6 трехконтурных реакторов). Эта система также используется на атомных электростанциях "Козлодуй" (Болгария), "Quinshan" (КНР) и "Дукованы" (Чехия) – для всех четырех реакторных блоков.

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Опыт внедрения цифровых технологий в системах управления и защиты реактора, системах безопасности (продолжение):

Компания «Siemens» разработала и внедрила цифровые технологии для систем защиты реактора и систем безопасности на следующих АЭС:

Наименование АЭС	Страна	Тип реактора	Функции	Начало экспл-ции
Унтервезер	Германия	PWR (ВВЭР)	АРМ; РОМ, ПЗ; СГИУ	1997
Богунце 2	Словакия	PWR (ВВЭР)	АЗ; РОМ, ПЗ; АКНП	1999
Неккар 1	Германия	PWR	АРМ; РОМ, ПЗ; СГИУ	1999
Пакш 1, 2, 3, 4	Венгрия	PWR (ВВЭР)	АЗ; РОМ, ПЗ	1999-2002
Безнау 1	Швейцария	PWR	АЗ; РОМ, ПЗ; УСБ	2000
Богунце 1	Словакия	PWR (ВВЭР)	АЗ; РОМ, ПЗ; УСБ; АКНП	2000
Garching FRM II	Германия	Исслед. реактор	РОМ, ПЗ; АКНП	2000
Безнау 2	Швейцария	PWR	АЗ; РОМ, ПЗ; УСБ	2001
Филиппсбург 1	Германия	BWR	АЗ	2001
Унтервезер	Германия	PWR	АРМ; РОМ, ПЗ	2001

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Опыт внедрения цифровых технологий в системах управления и защиты реактора, системах безопасности (продолжение):

Компания «Siemens» разработала и внедрила цифровые технологии для систем защиты реактора и систем безопасности на следующих АЭС:

Наименование АЭС	Страна	Тип реактора	Функции	Начало экспл-ции
Тяньвань 1	Китай	PWR (ВВЭР)	АЗ; РОМ, ПЗ; УСБ	2004
Библис Б	Германия	PWR	АРМ; РОМ, ПЗ	2005
Эмсланд	Германия	PWR	АРМ	2005
Тяньвань 2	Китай	PWR (ВВЭР)	АЗ; РОМ, ПЗ; УСБ	2005
Богунце 3, 4	Словакия	PWR (ВВЭР)	АЗ; РОМ, ПЗ	2007

## Внедрение цифровых управляющих систем на АЭС России:

**01.06.2007** на совещании в Технической дирекции Концерна «Росэнергоатом» было принято решение о внедрении «цифровой» техники в управляющих системах безопасности на АЭС России на основе технических предложений **ОАО «ВНИИАЭС»**.

Для внедрения «головной» СУЗ-УСБТ с использованием микропроцессорной техники был определён энергоблок №3 Кольской АЭС (модернизация с целью продления срока службы энергоблока).



## Особенности модернизации СУЗ-УСБТ на Кольской АЭС:

- модернизация выполнялась с сохранением общей концепции управления энергоблоком;
- в качестве органов ДУ элементами систем безопасности сохраняются существующие аппаратные средства управления, которые должны быть совместимы с вновь вводимым оборудованием;
- сборки РТЗО, КРУ, другое электротехническое оборудование, а также основные схемы сигнализации на БЦУ и РЦУ не модернизируются (а значит необходимо обеспечивать выходные сигналы уровня 220 В);
- функции АЗ, ПЗ, САОЗ, АСП и локальных защит на Кольской АЭС до модернизации были реализованы на разнородном морально устаревшем оборудовании без требуемого выполнения принципов резервирования и защиты отказа по общей причине;
- вновь вводимое оборудование иницирующей части размещается в новом здании систем безопасности;
- жёсткие сроки модернизации – не позднее ППР-2010 года.

## Выбор изготовителей оборудования для «головной» СУЗ-УСБТ:

Выбор изготовителей оборудования определялся прежде всего сроками модернизации.

Для иницирующей части СУЗ-УСБТ рассматривалось два основных варианта оборудования с использованием микропроцессорной техники:

- SPINLINE – фирма «Data Systems & Solutions (Франция);
- TELEPERM XS – фирма «AREVA NP GmbH» (Германия).

Вариант использования SPINLINE рассматривался в связи с его применением в системах защиты на АЭС «Дукованы» (энергоблоки – аналогичные Кольской АЭС).

Вариант использования TELEPERM XS – в связи с его успешным внедрением на АЭС «Тяньвань» в совместном применении с оборудованием российских предприятий «СНИИП-СИСТЕМАТОМ» (АКНП) и НПП «ВНИИЭМ» (КЭ СУЗ).

С учётом оборудования других подсистем, оценки сроков поставки оборудования, а также перспективности сотрудничества выбор был остановлен на оборудовании TELEPERM XS.

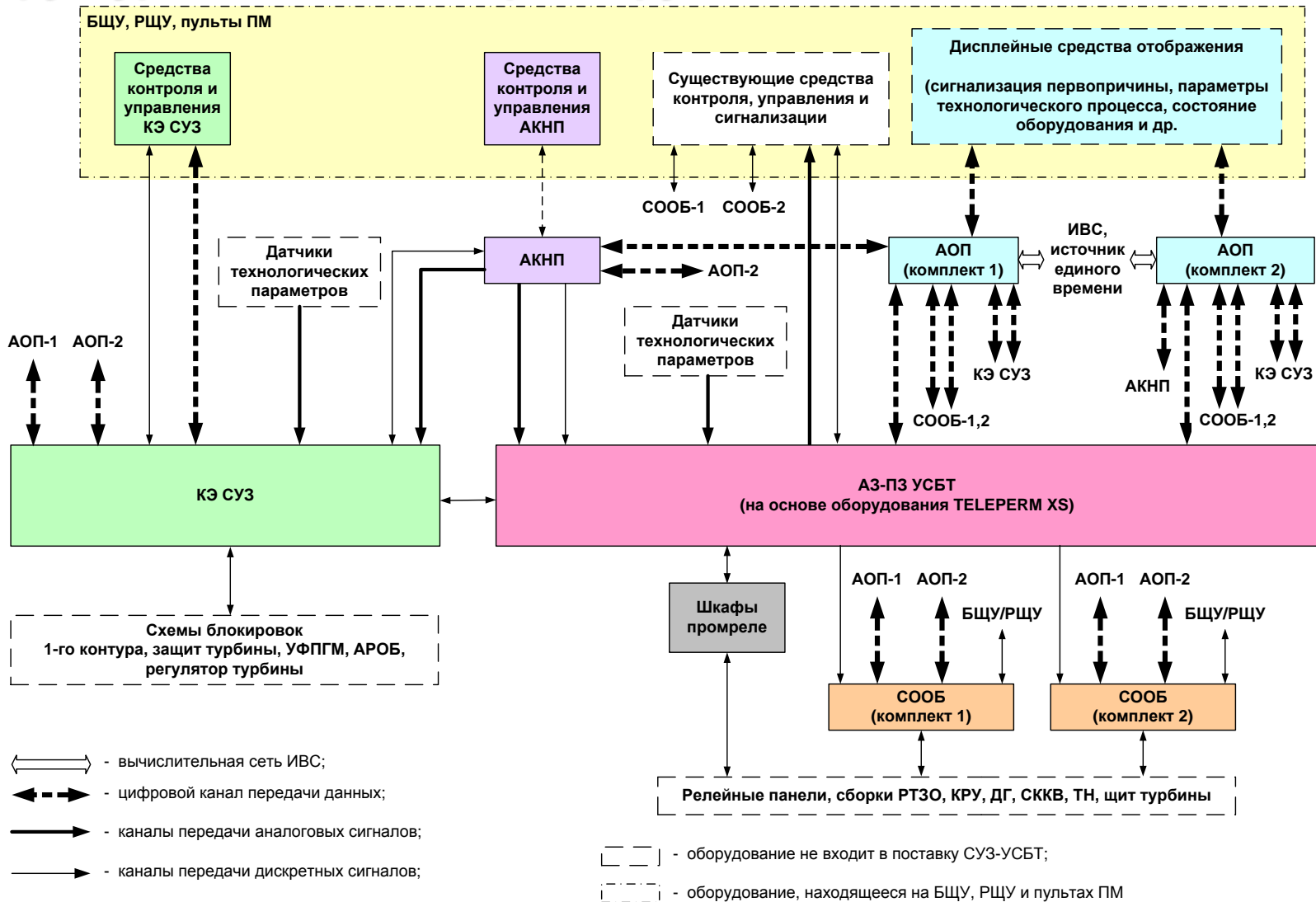
## Участники проекта по модернизации СУЗ-УСБТ:

- Заказчик – Филиал концерна «Росэнергоатом» - Кольская АЭС;
- Проектная организация – ОАО «Атомэнергопроект» (СПБАЭП);
- Главный конструктор РУ – ОАО «ОКБ «ГИДРОПРЕСС»;
- Научный руководитель проекта АЭС и РУ – РИЦ «Курчатовский институт»;
- Системный интегратор - Главный конструктор АСУ ТП, Поставщик оборудования –  
– ОАО «ВНИИАЭС»;
- Головная пуско-наладочная организация – ОАО «Атомтехэнерго».
- Изготовители оборудования СУЗ-УСБТ:

- АКНП – ООО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ»;
- ПТК АЗ-ПЗ УСБТ (функции АЗ, ПЗ, САОЗ, АСП, локальные защиты) – фирма «AREVA NP GmbH» (Германия);
- стойки питания АКНП и ПТК АЗ-ПЗ УСБТ – ФГУП «ВНИИА»;
- шкафы промреле – завод «ПСЗ» (г. Трёхгорный);
- КЭ СУЗ (ИЧ АЗ-ПЗ, СГИУ, АРМ, ПТК ИДС) – ФГУП «НПП «ВНИИЭМ»;
- СООБ – ООО «СКУ-АТОМ»;
- АОП – ИФ «СНИИП-АТОМ», ОАО «ВНИИАЭС».

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Структурная схема модернизируемой СУЗ-УСБТ для Кольской АЭС



## Особенности разработки СУЗ-УСБТ для Кольской АЭС:

- принято решение перейти от сигналов АЗ 1,2,3 и 4-го родов к сигналам АЗ, ПЗ-1 и ПЗ-2;
- для обеспечения принципа разнообразия были разработаны «диверсные» алгоритмы АЗ для двух комплектов и применены различные способы обработки входных сигналов для резервированного оборудования каналов систем безопасности;
- технологическое задание (алгоритмы) разрабатывалось с учётом требований фирмы «AREVA NP GmbH»;
- для представления информации на БЩУ и РЩУ (включая сигнализацию первопричины АЗ, ПЗ и УСБТ), кроме традиционных средств отображения, по требованию Кольской АЭС, были внедрены дисплейные средства;
- на оборудовании TELEPERM XS были реализованы функции АЗ, ПЗ, запуска СБ, пуск и ступенчатое нагружение ДГ, локальные защиты ПГ.

## Оценка соответствия оборудования и ПО TELEPERM XS:

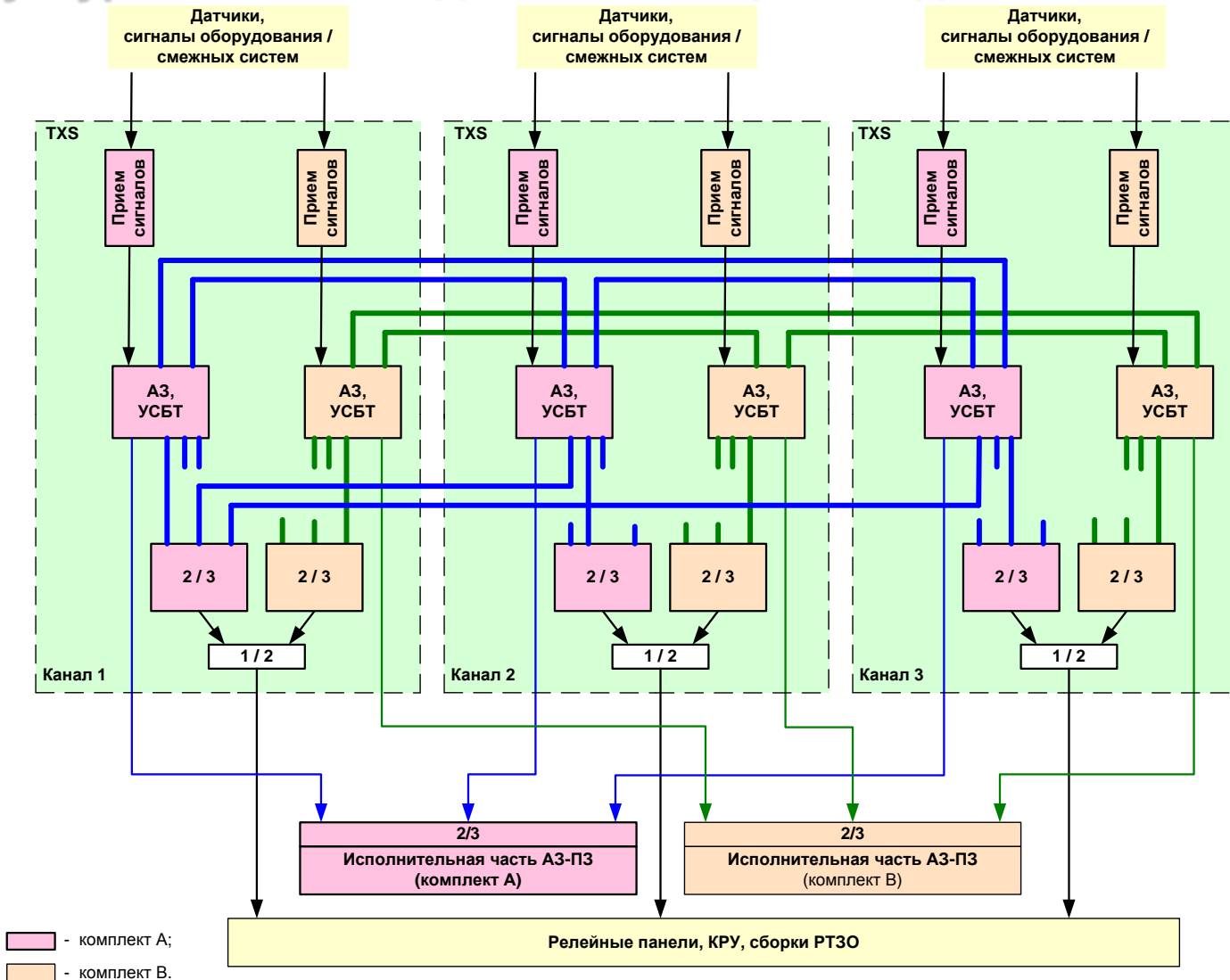
В соответствии с требованиями «Условий поставки импортного оборудования ... . РД 03-36-2002» для оборудования и программного обеспечения TELEPERM XS были проведены:

- проверка производства оборудования TELEPERM XS в Германии;
- процедура сертификации в системе ОИТ с получением соответствующих сертификатов;
- оформление и согласование «Решения о намерении применить оборудование и ПО TELEPERM XS»;
- оформление, согласование и одобрение в Ростехнадзор «Решения о применении оборудования и ПО TELEPERM XS».

В соответствии с Законом о единстве измерений аналоговые модули TELEPERM XS прошли процедуру утверждения типа средств измерений и внесены в Государственный реестр средств измерений.

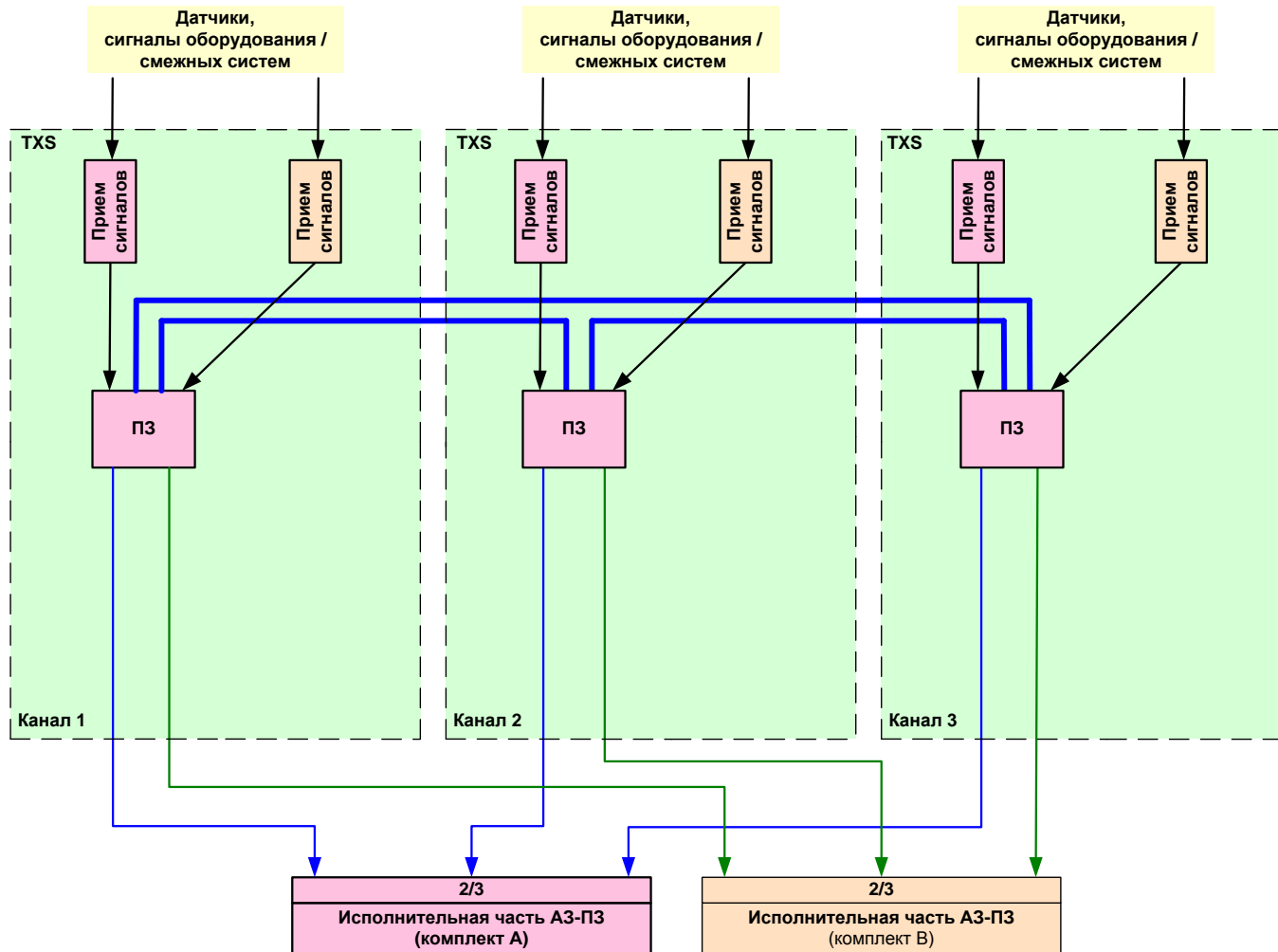
# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Структурная схема подсистемы АЗ, УСБТ для Кольской АЭС



# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Структурная схема подсистемы ПЗ для Кольской АЭС

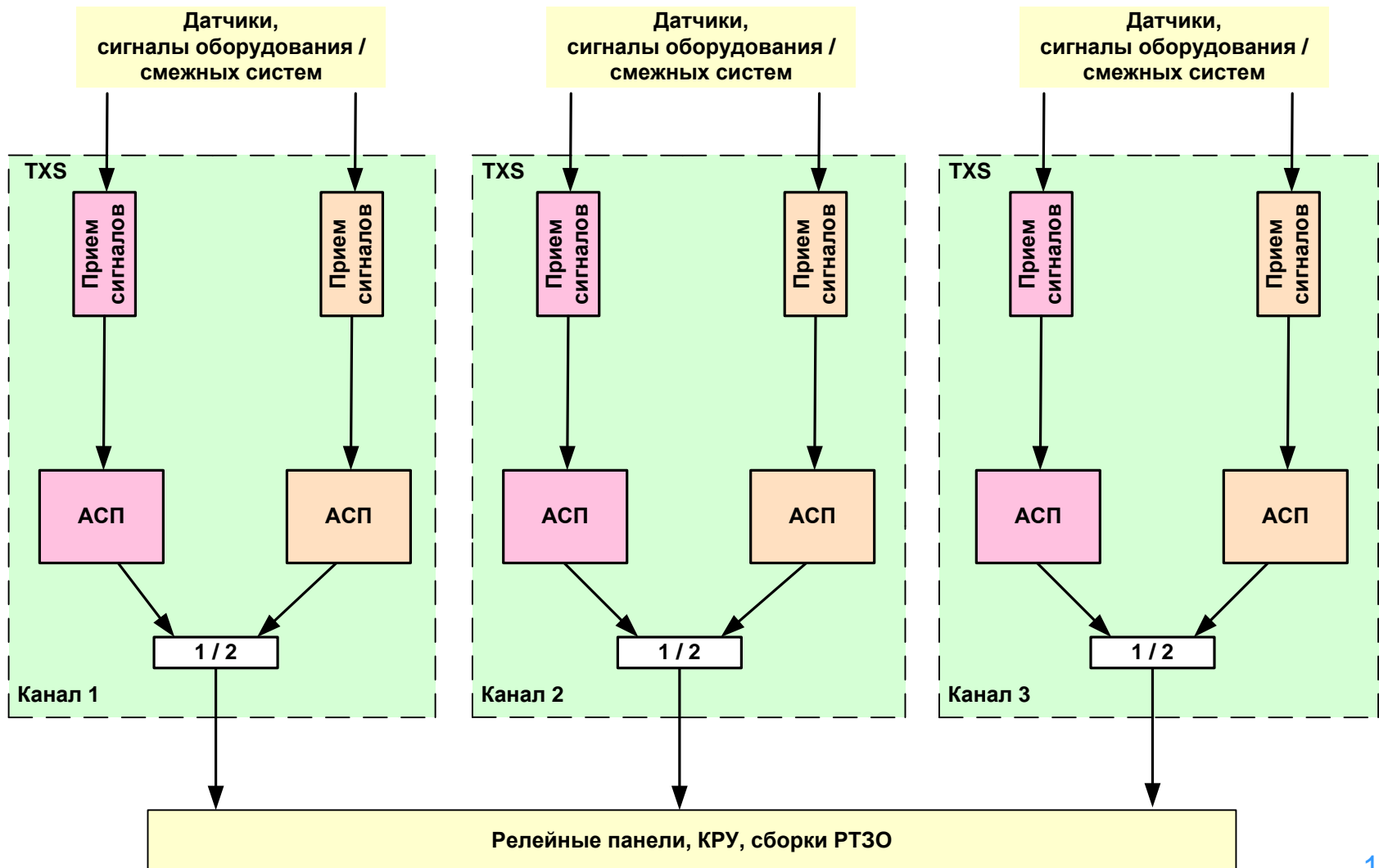


- комплект А;  
 - комплект В.



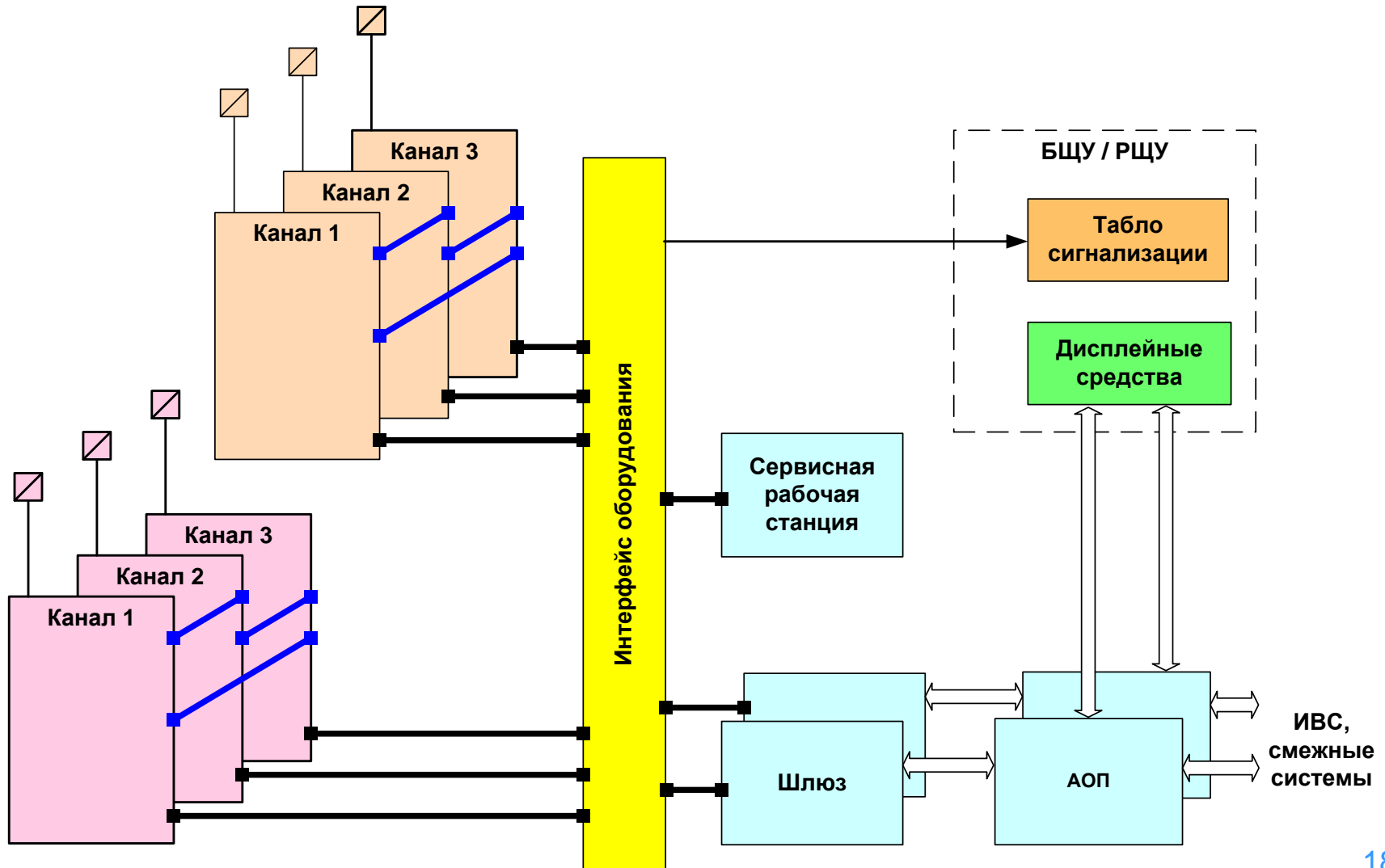
# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Структурная схема подсистемы АСП для Кольской АЭС



# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Структура информационной части АЗ-ПЗ УСБТ для Кольской АЭС



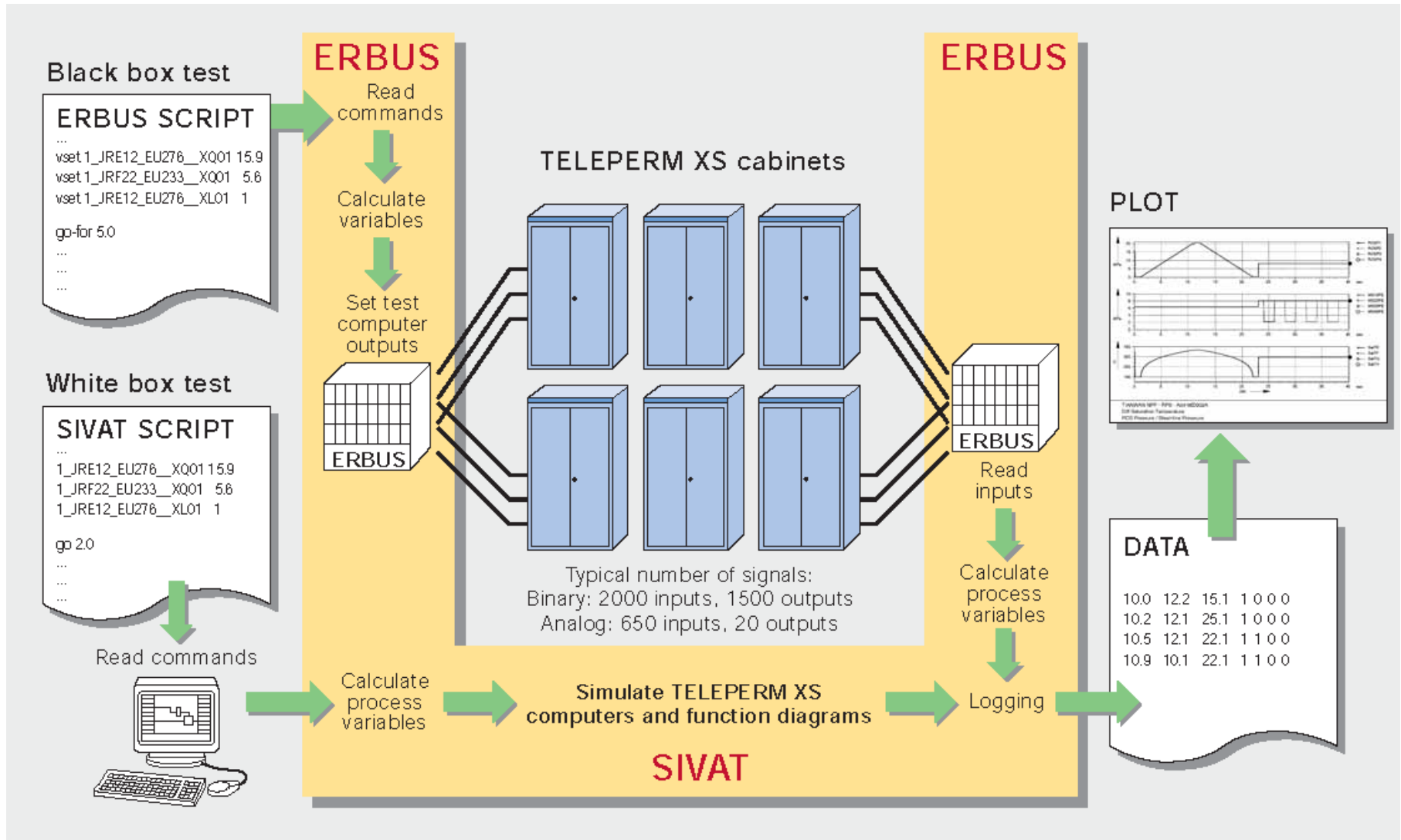
# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Схема разработки и отладки прикладного ПО для TELEPERM XS



# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Схема испытаний на Полигоне



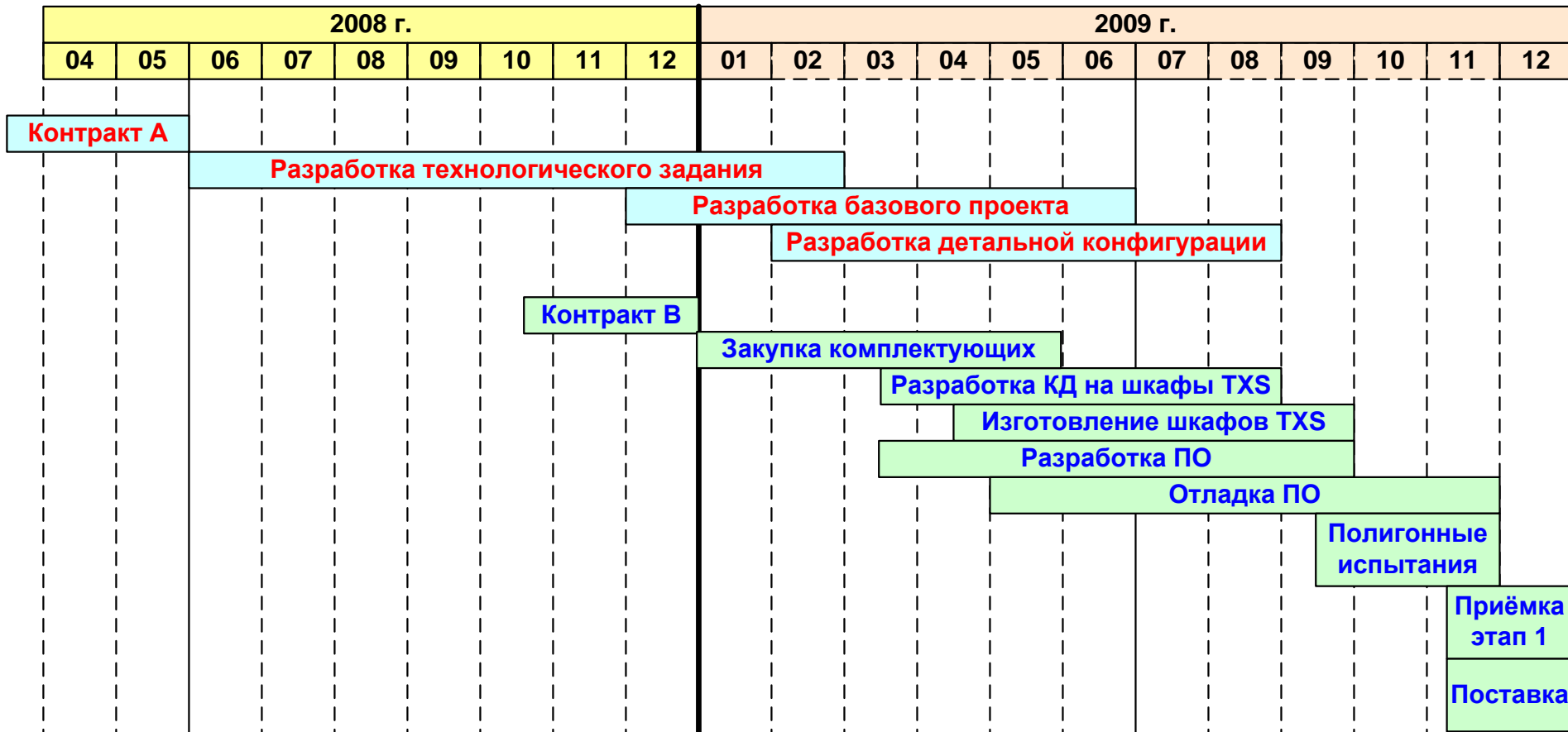
# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Состав испытаний СУЗ-УСБТ на основе TELEPERM XS

Виды испытаний	Перечень испытаний по стадиям		
	А	В	С
	Тестирование ППО	Комплексные испытания на Полигоне	Ввод в эксплуатацию на АЭС
.0: Проверка конфигурации	Конфигурация ПО -	Конфигурация ПО Конфигурация ТС	Конфигурация ПО Конфигурация ТС
.1: Проверка электропитания и связи	-	Электропитание Связь по сети Сигнализация оборудования	Электропитание Связь по сети Сигнализация оборудования
.2: Проверка передачи сигналов и данных	-	Входные / выходные сигналы Шлюз	Входные / выходные сигналы Шлюз
.3: Проверка показателей работы и работа при отказах	Отказы процессора и связи Потеря одного канала Потеря одного комплекта	Режимы работы Загрузка шины и процессора Отказы процессора и связи Потеря одного канала Потеря одного комплекта	Режимы работы Загрузка шины и процессора
.4: Проверка функций	Верификация ПО («White box»)	Функциональные проверки Технологическая сигнализация	(при необходимости)
.5: Проверка технологических задач	Верификация ПО («Black box»)	Комплексные проверки при имитации исходных событий	(при необходимости)

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Сроки основных работ по разработке, испытаниям и поставке



Аналогичный проект на АЭС «Богунце» выполнялся в несколько этапов (один канал в год, включая время на разработку) – с 2004г. по 2008г.

## Эксплуатационные показатели модернизированной СУЗ-УСБТ

При разработке модернизированной СУЗ-УСБТ были выполнены:

- расчёт надёжности (учитывающий объём и периодичность проверок);
- расчёт времени реакции подсистем и системы в целом;
- анализ последствий отказов системы;
- разработана и согласована «Концепция проверок АЗ, ПЗ, УСБТ, АСП и ЗБ»;
- и др.

Указанные расчёты и анализы, в дальнейшем подтверждённые испытаниями, подтвердили соответствие системы СУЗ-УСБТ проектным требованиям.

Применение в СУЗ-УСБТ «цифровых» технологий (с учётом указанных расчётов и обоснований) позволило улучшить эксплуатационные показатели и упростить эксплуатационные процедуры, например:

- проверка срабатывания прерывателей ОР СУЗ – 1 раз в год (при ППР);
- периодические проверки иницирующей части (на основе TXS) – не требуются (проводятся только при замене модулей и др.);
- контроль исправности TXS выполняется постоянно и автоматически встроенными средствами – отображение на БЩУ/РЩУ и АРМ НС ЦТАИ.

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Шкафы ТХС и стойки питания (канал 3) на Кольской АЭС





## БЩУ после модернизации



## Панели САОЗ после модернизации



## Эксплуатация TELEPERM XS в составе СУЗ-УСБТ

Подсистема АЗ-ПЗ УСБТ на основе TELEPERM XS за год эксплуатации зарекомендовала себя с самой лучшей стороны, проявив все необходимые эксплуатационные качества:

- надёжность;
- информативность;
- минимальные трудозатраты при обслуживании;
- гибкость при внесении изменений.

29 сентября 2010 года на энергоблоке №3 Кольской АЭС при работе на мощности 99 % произошло самопроизвольное открытие ИПК компенсатора давления, в результате чего давление в первом контуре снизилось до уставок срабатывания ПЗ и АЗ, уставок запуска систем безопасности.

В указанной ситуации практически прошли динамические испытания подсистемы АЗ-ПЗ УСБТ с реальным исходным событием на максимальной мощности энергоблока.

Анализ архивов показал, что подсистема отработала в полном соответствии с технологическими алгоритмами, временными и другими требованиями.



# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Текущие проекты на АЭС России с использованием «цифровых» УСБ

Следующими энергоблоками, на которых будут внедрены УСБ с использованием «цифровых» технологий на основе оборудования TELEPERM XS являются (контракты заключены):

- энергоблок №1 Нововоронежской АЭС-2 (новый);
- энергоблок №1 Ленинградской АЭС-2 (новый);
- энергоблок №4 Кольской АЭС (модернизация);
- энергоблок №2 Нововоронежской АЭС-2 (новый);
- энергоблок №2 Ленинградской АЭС-2 (новый).

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Организация работ по разработке и испытаниям TELEPERM XS:

Этап работы	Участники работ					
	АЭП	ОКБ ГП	АЭС	ВНИИАЭС	AREVA	ПНО
Разработка технологического задания и технических требований	Разр.	Разр.	Согл.	Согл.	Согл.	-
Разработка базового (технического) проекта	Согл.	Согл.	Согл.	Согл. <b>Участ.</b>	Разр.	-
Разработка детальной структуры	Согл.	Согл.	Согл.	Согл. <b>Разр.</b>	Разр.	-
Разработка документации на шкафы TXS	-	-	-	- <b>Разр.</b>	Разр.	-
Разработка ПО (САПР «SPACE»)	-	-	-	- <b>Разр.</b>	Разр.	-
Верификация ПО (САПР «SIVAT»)	-	Исполн.	-	- <b>Исполн.</b>	Исполн	-
Испытания на Полигоне	Участ.	Участ.	Участ.	Участ. / <b>Исп.</b>	Исполн	Участ.
Испытания на АЭС	Сопров.	Сопров.	Исполн.	Исполн.	Исполн	Исполн

# Реализация цифровых УСБ для АЭС

## Состояние дел по проекту УСБ для Нововоронежской АЭС-2

Наименование работы	Срок выполнения
Технологическое задание (LEFU1-3)	декабрь 2010
Разработка КД на шкафы TXS	февраль 2011
Изготовление и приёмка шкафов TXS	апрель 2011
Поставка шкафов TXS и испытательного оборудования на Полигон	май 2011
Разработка и отладка прикладных программ	июнь 2011
Монтаж оборудования и кабельных связей на Полигоне	июнь-июль 2011
Полигонные испытания	июль-декабрь 2011

**Благодарю за внимание**