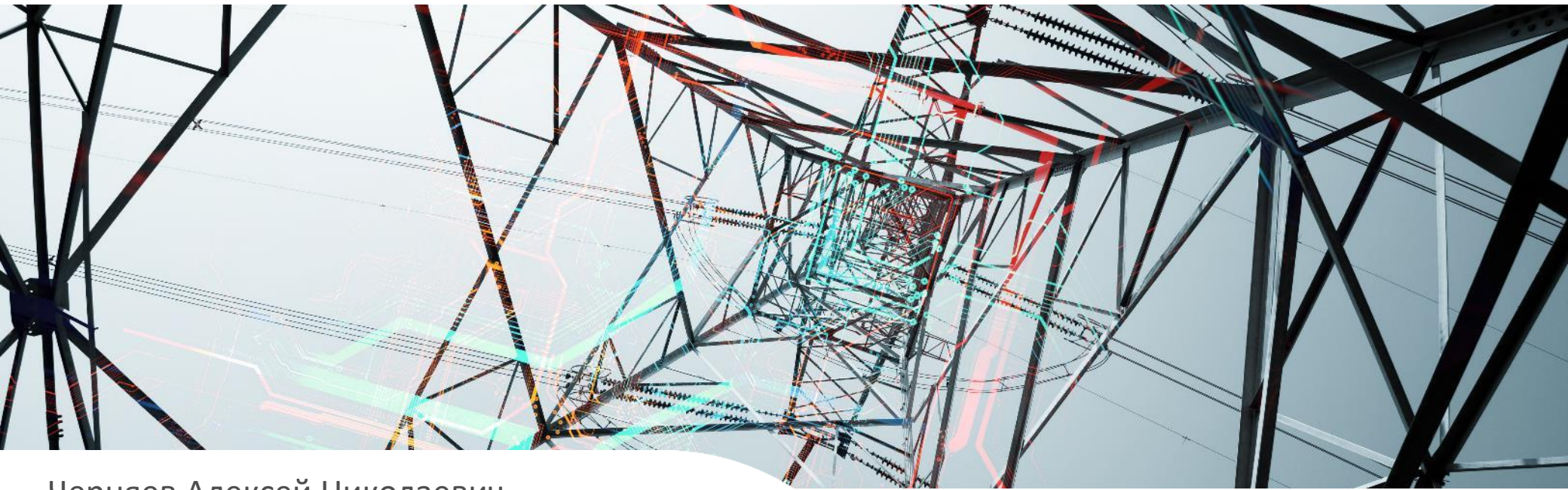


# ЭВОЛЮЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



Черняев Алексей Николаевич  
Заместитель технического директора – директор  
департамента проектирования АО «РАСУ»

26.06.2019

**К 65-ЛЕТИЮ ПЕРВОЙ АЭС В МИРЕ Г. ОБНИНСК  
ПО ИНИЦИАТИВЕ ЯДЕРНОГО ОБЩЕСТВА РОССИИ**



# Эволюция АСУ ТП

Отсутствие мощных атомных проектных организаций

Отсутствие особых требований в области безопасности

Близость технических решений в области управления оборудованием АЭС к применяемым на ТЭС



Увеличение количества задач



Усложнение технологических схем



Повышение требований к безопасности



Шкафных конструкций  
500-700\*



Объектов управления  
4000\*



Точек контроля  
8000\*

2005 г.

(ввод в эксплуатацию энергоблока №3 Калининской АЭС)

1954 г.

(ввод в эксплуатацию Обнинской АЭС)

1970 г.

1990 г.

(вывод из эксплуатации Обнинской АЭС)

2002 г.

настоящее время

Безаварийная работа Обнинской АЭС в течение 48 лет



Высокий уровень использованных технических решений разработчиков



Контроль небольшого объема автоматизации с помощью индивидуальных показывающих и регистрирующих приборов



Дистанционное управление с помощью небольшого количества органов управления



Развитые СВРК при снижении консервативных запасов эксплуатации активной зоны



Диагностические системы СКУД для контроля возможных течей на оборудовании первого контура



Улучшение ЧМИ за счет применения показывающих приборов нового поколения и дисплеев на БПУ для информационных функций

Современные цифровые АСУ ТП



Большое количество различных технических средств



Разнородное программное обеспечение



Активное участие группы операторов в процедурах ведения технологического процесса

# Эволюция СКУ



60-е

УС с ИВС ИВ-500  
(Нововоронежская АЭС  
э/бл №1  
ВВЭР-440 серии В-179)

70-е

УС с ИВС «УРАН-2»  
(Калининская АЭС э/бл №1  
ВВЭР-1000 серии В-338)

80-е

УВС «Комплекс Титан-2»  
(Балаковская АЭС  
ВВЭР-1000 серии В-320)

2004 г

Калининская АЭС  
э/бл №3  
ВВЭР-1000 серии В-320

Настоящее время

SCADA-системы



# Эволюция СКУ

## ИВС ИВ-500

✓ Основная функция ИВС – отображение информации на БЩУ.

✓ Реализация управляющей функции на базе аппаратуры и средств защит, блокировок, автоматических регуляторов и дистанционного управления.

✓ Построение ЧМИ на базе показывающих приборов, кнопок, переключателей и ключей управления

✓ Использование для регулирования локальных регуляторов, одноконтурных систем регулирования

# Эволюция СКУ

## ИВС «Уран-2»



Соответствие архитектуры УС требованиям EUR, описывающим УС как четырехуровневую структуру



Интеграция функций регулирования, сбора и обработки информации



Рост мощности вычислительной техники



Дополнение ЧМИ печатными устройствами, дисплеями



Внедрение логических управляющих устройств и ФГУ



Внедрение независимых каналов систем безопасности



Внедрение РПУ

# Эволюция СКУ

## УВС «Комплекс Титан-2»



Эволюционное развитие программно-аппаратного обеспечения



Развитие методики управления в части внедрения ФГУ



Увеличение количества автоматизированных функций



Повышение эргономичности ЧМИ



Повешение уровня и степени автоматизации

# Эволюция СКУ

Ростовская  
АЭС  
Энергоблок  
№1

Применение аппаратуры с  
жесткой логикой



Калининская  
АЭС  
Энергоблок №3

Применение цифровой техники



2004 г.

# Энергоблок №3 Калининской АЭС

Первая отечественная цифровая АСУ ТП, реализованная среди всех российских и зарубежных АЭС, выполненных по проектам РФ после 2000 г.



Впервые реализация функций управления с СВБУ

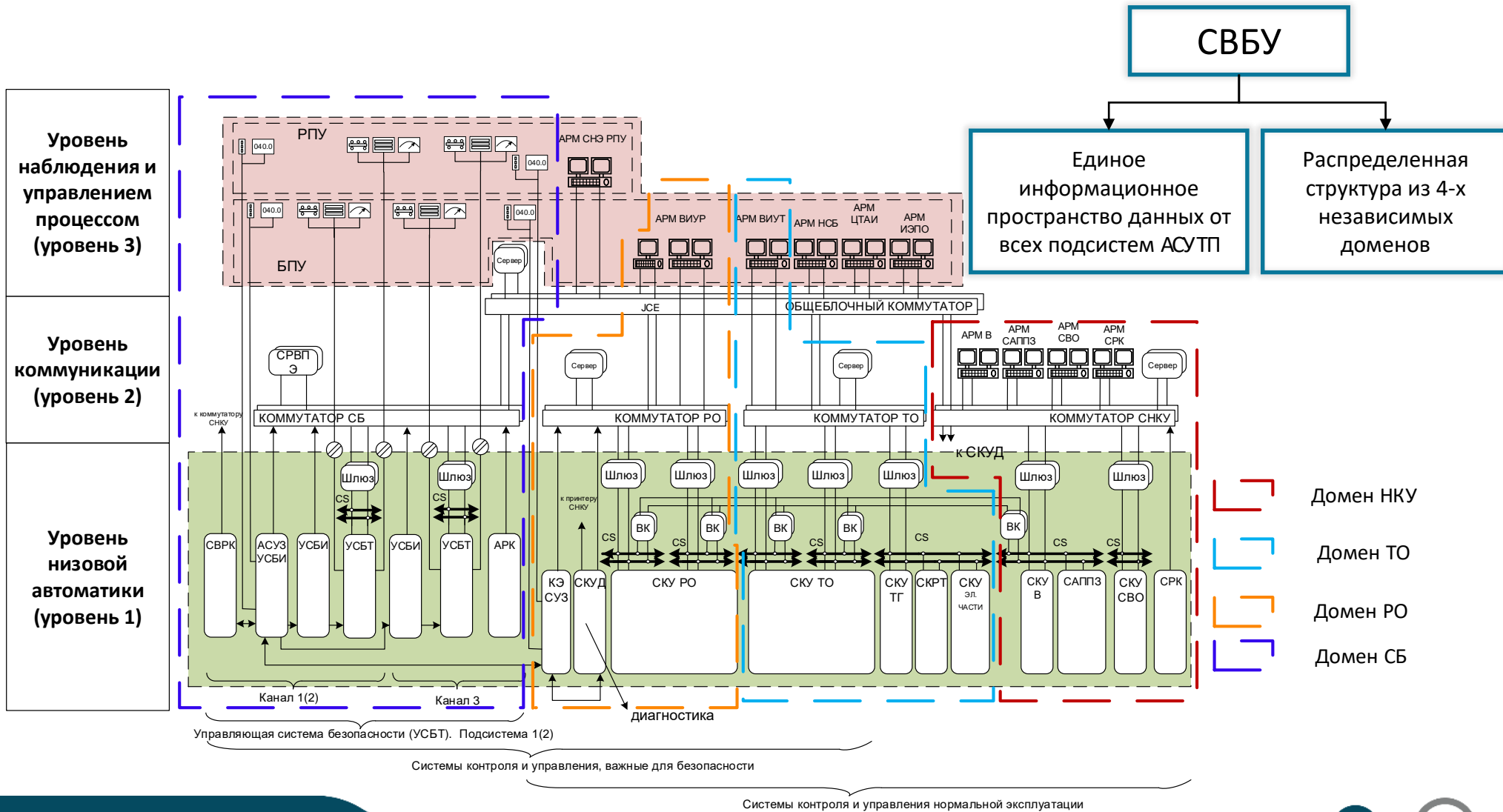
АСУ ТП представляет собой распределенную в пространстве систему, построенную с использованием отечественной аппаратуры:

Иницирующая часть АЗ, ПЗ, УСБИ	ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ»
Исполнительная часть УСБТ	АО «ВНИИА»
Функции двойного управления с БПУ и РПУ (управление с БПУ или с РПУ одним оборудованием)	АО «ФИЗПРИБОР»
ПТК НА (в основном)	АО «ВНИИА»





# Структурная схема АСУ ТП энергоблока №3 Калининской АЭС



# Энергоблок №3 Калининской АЭС



Внедрение функционально-группового управления



Повышение степени автоматизации энергоблока



Реализация дисплейного способа дистанционного управления системами нормальной эксплуатации



Снижение вероятности ошибочных действий персонала за счет совмещения информационный полей контроля и управления



Внедрение цифровых регуляторов основных технологических процессов



Повышение точности регулирования и снижение затрат на разработку, монтаж и эксплуатацию



Реализация диагностики аппаратных и программных средств АСУ ТП



- Упрощение обслуживания системы.
- Сокращение времени ремонта за счет технологии замены элементов



Реализация рекомендации МАГАТЭ по организации ЧМИ, в том числе с применением экрана коллективного пользования

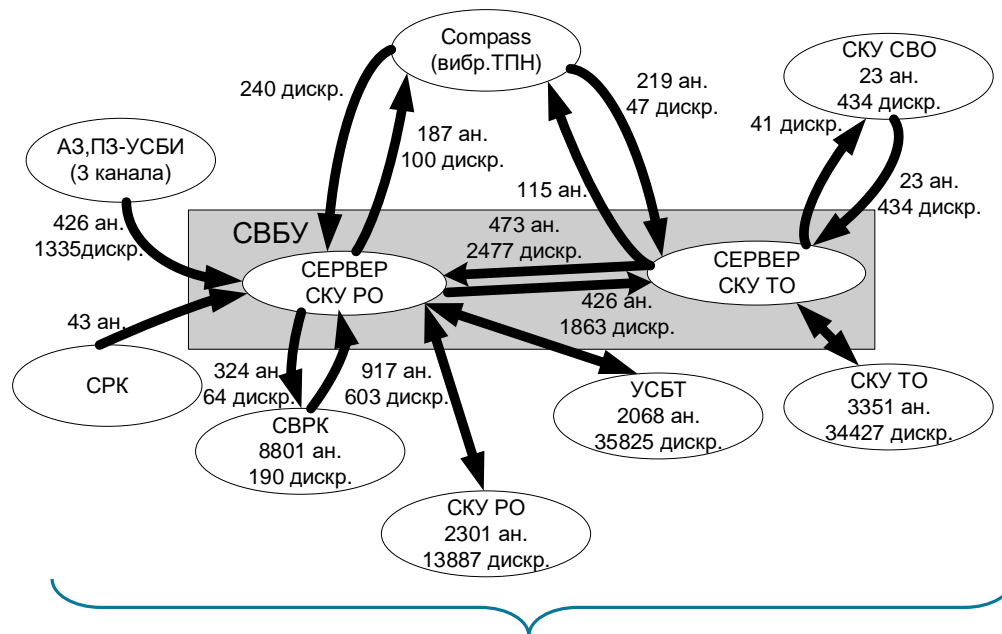


Организация цифровой оперативной зоны БПУ с использованием дисплейного способа и ЭКП



# Эффективность использования цифровых систем

Анализ информационных потоков (Калининская АЭС, э/бл №3)



Подтверждена работа СВБУ во всех режимах нормальной эксплуатации и аварийных режимах

# Тиражирование опыта управляющих воздействий с СВБУ



Энергоблок  
№3  
Калининской  
АЭС

Энергоблок №3  
Ростовской АЭС



Энергоблок №4  
Ростовской АЭС



В в о д в э к с п л у а т а ц и ю

2012 г.

2014 г.

2015 г.

2016 г.

2018 г.

Энергоблок №4  
Калининской АЭС

Энергоблок №1  
АЭС «Куданкулам»

Энергоблок №4  
Белоярской АЭС

Энергоблок №2  
АЭС «Куданкулам»

# Введённые в эксплуатацию энергоблоки проекта АЭС-2006



Энергоблок №5  
Ленинградской АЭС

В в о д в э к с п л у а т а ц и ю

2016 г.

2018 г.

2019 г.

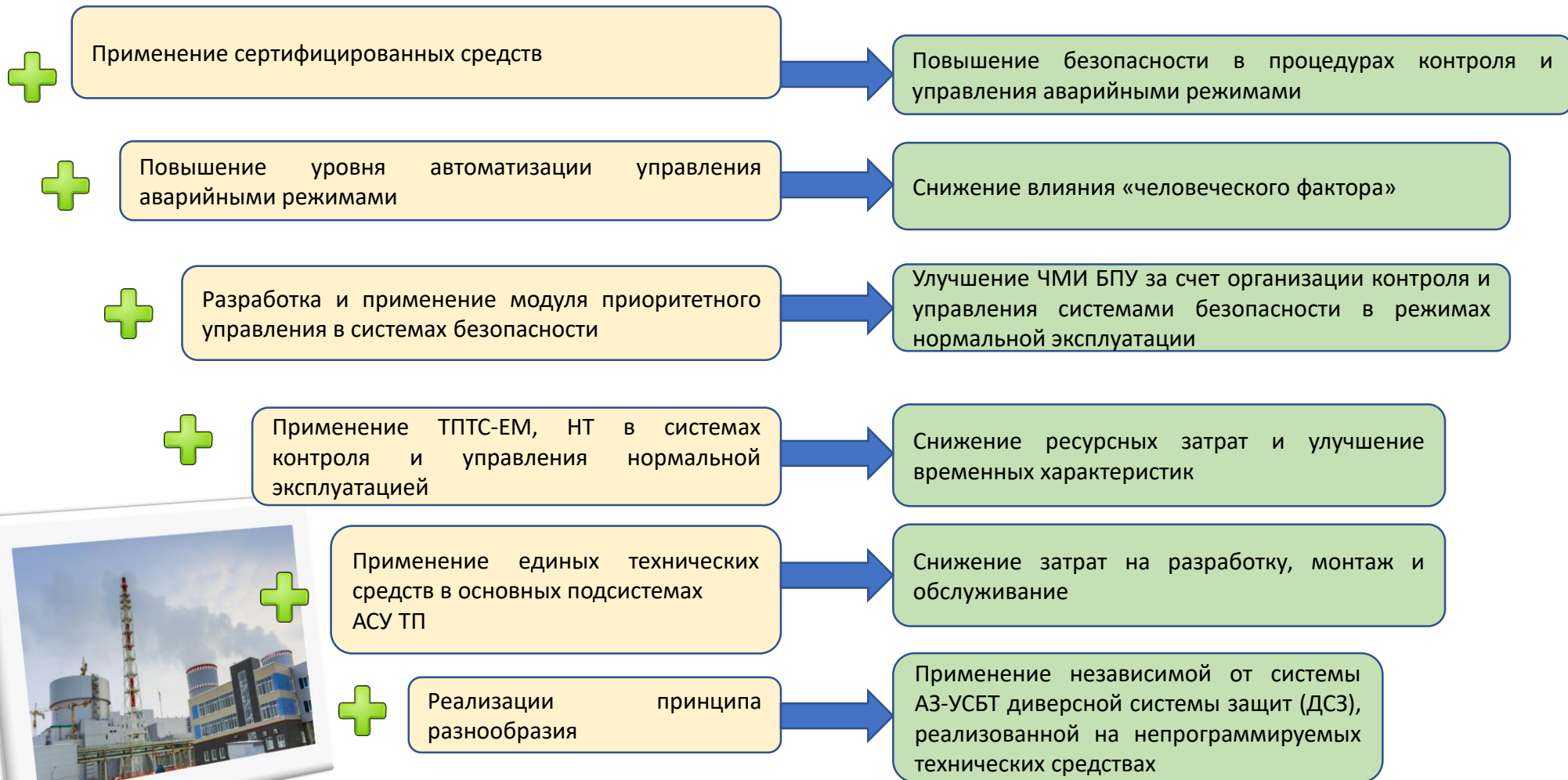


Энергоблок №6  
Нововоронежской АЭС



Энергоблок №7  
Нововоронежской АЭС

# АЭС-2006



# Белорусская АЭС

Ввод в эксплуатацию ▲

Энергоблоки №1-2  
Белорусская АЭС

Новое поколение цифровых платформ управляющих систем безопасности (ТПТС-СБ)

Удовлетворение всем международным требованиям к резервированию, независимости и надежности

Использование идеологии встроенного разнообразия (диверситета)

Минимизирование вероятности отказов по общей причине

Оптимизирование затрат на оборудование



На Белорусской АЭС будет представлен новый комплексный продукт, который станет **референтным** для последующих разработок и применения

# Перечень АЭС, ввод в эксплуатацию которых запланирован после 2020 г.



Курская АЭС-2



АЭС «Эль-Дабба»



АЭС «Аккую»



АЭС «Ханхикиви»



АЭС «Руппур»



АЭС «Пакш-2»



# Новые требования к АСУ ТП



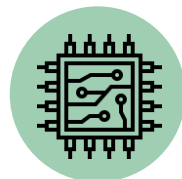
Обновленные концепция ГЭЗ и архитектура АСУ ТП



Технические характеристики АСУ ТП



Принципы классификации оборудования по безопасности



Надежность программируемых контроллеров в АЗ-УСБТ



Разнообразие управляющих систем безопасности



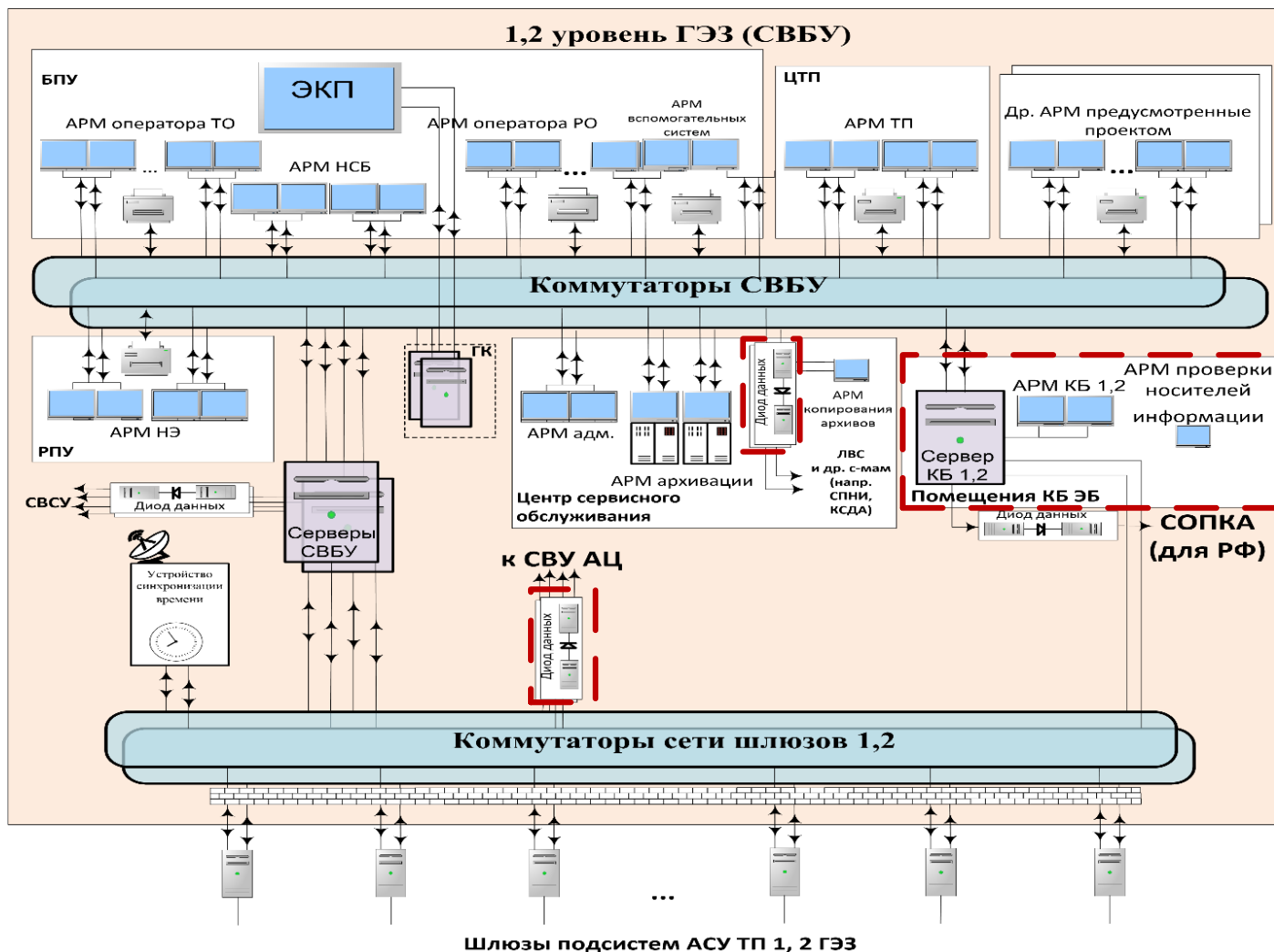
Обеспечение кибербезопасности АСУ ТП

# Обновленная концепция ГЭЗ

Уровень защиты в глубину	Цель	Главные (существенные) методы	Радиологические последствия
Уровень 1	Предупреждение отклонений от нормальной эксплуатации и нарушений	Консервативный проект, высокое качество конструкции и эксплуатации, управление основными параметрами блока в назначенных пределах	Нет радиологического воздействия вне площадки (ограничено эксплуатационными пределами по выбросу)
Уровень 2	Управление при отклонениях от нормальной эксплуатации и нарушениях	Управляющие и ограничивающие системы, другие возможности контроля	
Уровень 3	3а Управление авариями с ограниченным радиологическим выходом и предупреждение развития состояния до расплавления активной зоны	Система защиты реактора, системы безопасности и аварийные процедуры	Нет радиологического воздействия вне площадки или незначительное радиологическое воздействие
	3б Управление авариями с расплавлением активной зоны и ограниченным выбросом вне площадки	Дополнительное оборудование безопасности и аварийные процедуры	
Уровень 4	Управление авариями с расплавлением активной зоны и ограниченным выбросом вне площадки	Дополняющее оборудование безопасности для уменьшения расплавления активной зоны, управление авариями с расплавлением активной зоны (тяжелые аварии)	Радиологический выброс вне площадки. Может заключать в себе ограниченные пределы по площади и времени
Уровень 5	Уменьшение радиологических последствий значительных выбросов радиоактивных материалов	Аварийное реагирование вне площадки Уровень вмешательства (эвакуация населения)	Выброс вне площадки, делающий необходимым защитные мероприятия

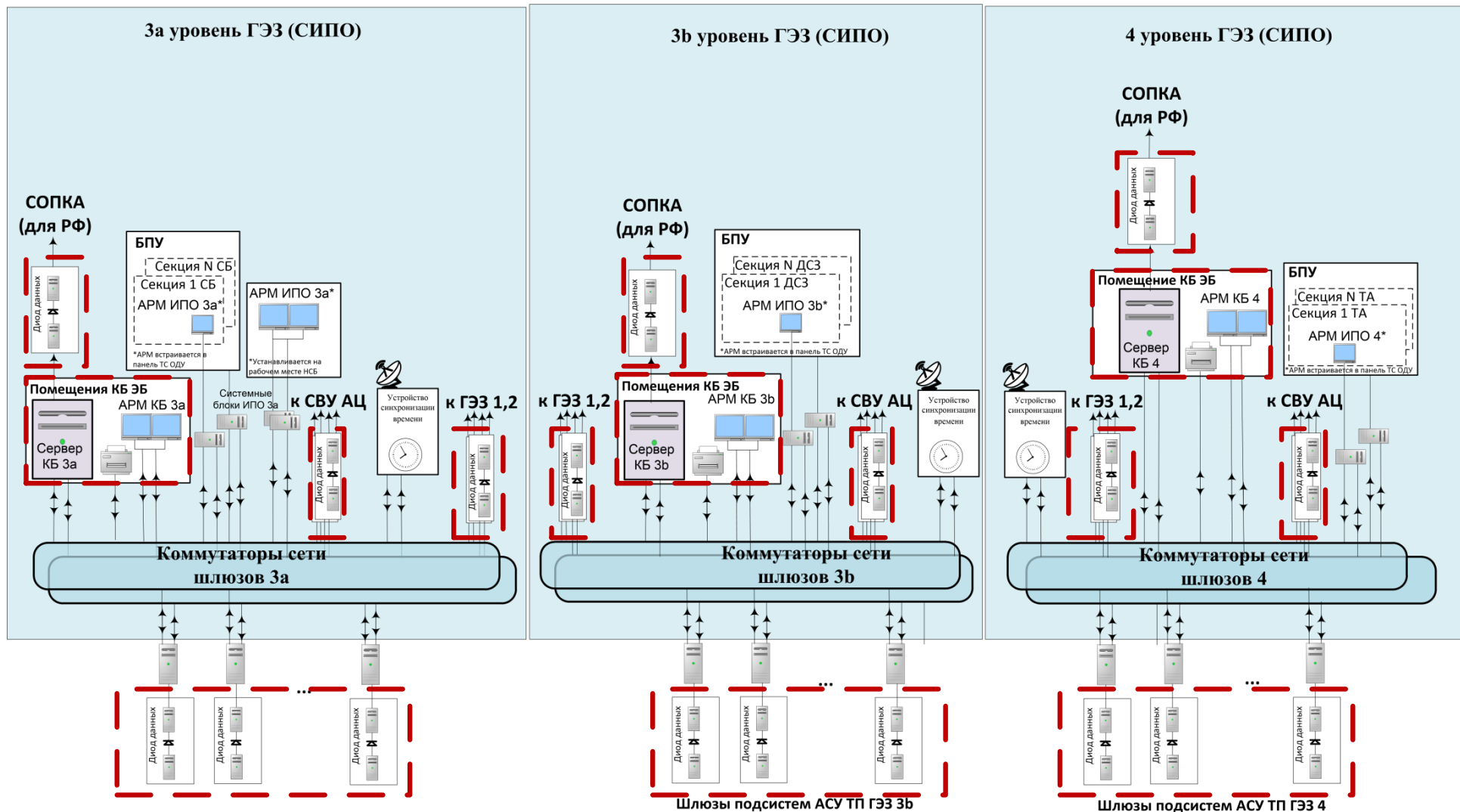
# Разработки АО «РАСУ» для новых проектов

## Схема СВБУ для 1 и 2 уровней ГЭЗ



# Разработки АО «РАСУ» для новых проектов

## Схема для уровней 3а, 3б, 4 ГЭЗ



# Разработки АО «РАСУ» для новых проектов

АО «РАСУ» принимало активное участие в разработке документа МАГАТЭ NP-T-2.11 «Подходы к общей архитектуре АСУ ТП АЭС»



## Ключевые принципы общей архитектуры АСУ ТП АЭС

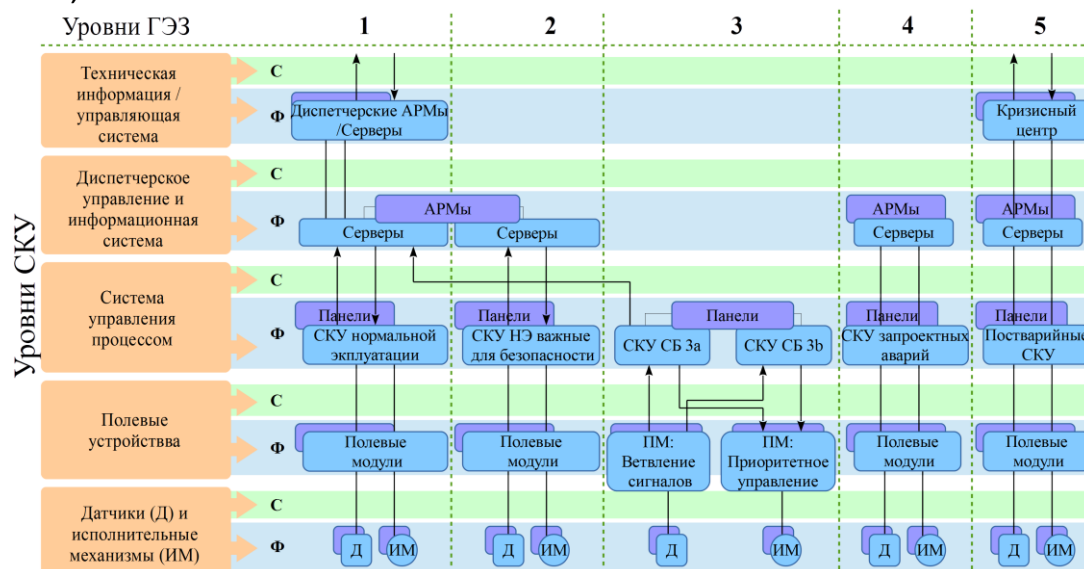
Группировка СКУ по уровням глубокоэшелонированной защиты, так что если сбой происходит на одном уровне, он может быть скомпенсирован другими уровнями

### Категоризация функций и классификация СКУ

Независимость между уровнями глубокоэшелонированной защиты и классами безопасности

Создание концепций компьютерной безопасности и определение групп компьютерной безопасности по зонам

Интеграция и согласованность с архитектурой станции, в частности для обеспечения безопасности (включая глубокоэшелонированную защиту)

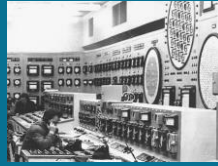


# Эволюция БЩУ/БПУ

**БЩУ Первой  
(Обнинской)  
АЭС (1954 г.)**



**БЩУ Кольской АЭС  
(сер. 1970-х гг.)**



**БПУ энергоблока № 3  
Калининской АЭС  
(2004 г.)**



**БЩУ энергоблока № 1  
Нововоронежской  
АЭС (1964 г.)**



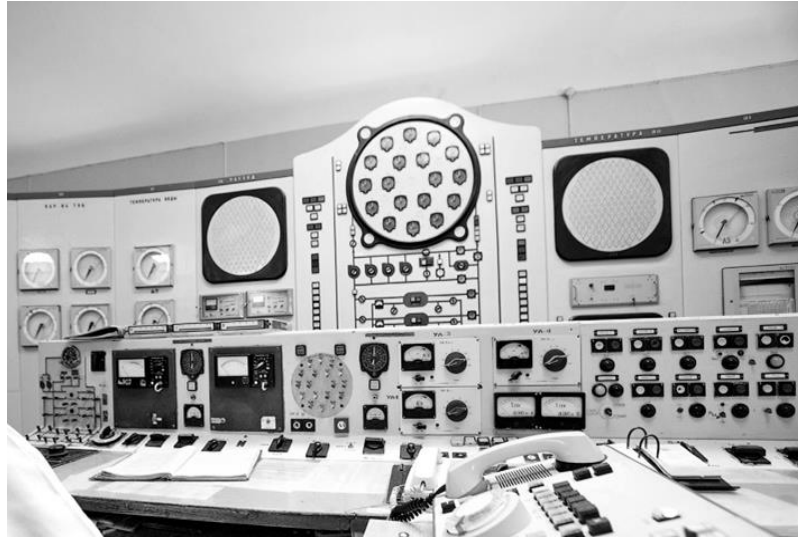
**БЩУ  
Ленинградской АЭС  
(сер. 1970-х гг.)**



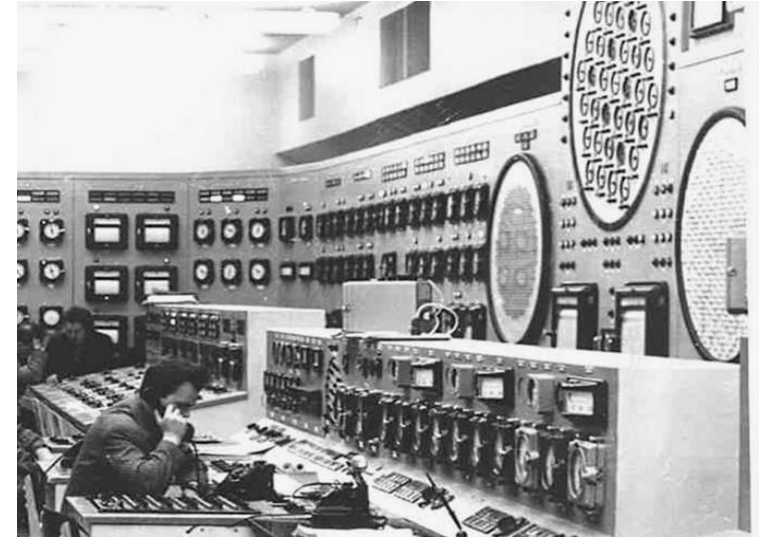
**БПУ энергоблока № 6  
Нововоронежской  
АЭС (2016 г.)**

# Эволюция БЩУ/БПУ

БЩУ Первой (Обнинской) АЭС  
(1954 г.)



БЩУ Энергоблока №1 Нововоронежской АЭС  
(1964 г.)



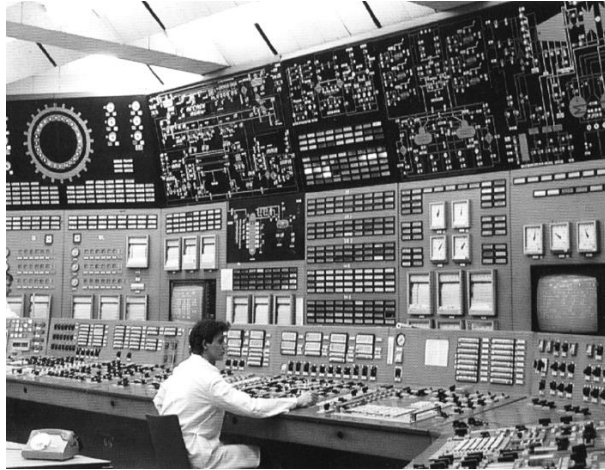
Концентрация вокруг реактора



Отсутствие структурирования информации

# Эволюция БЩУ/БПУ

БЩУ Кольской АЭС  
(середина 1970-х гг.)



БЩУ Ленинградской АЭС  
(середина 1970-х гг.)



Соответствие технологической структуре блока



Применение развернутых активных мнемосхем, отображающих состояние оборудования энергоблока в динамике



Применение дисплеев, отображающих состояние энергоблока и оборудования в компактной графической форме

**НО!**



Удорожание конструкции

Осуществление большей части контроля и управляющих действий с помощью кнопок, ключей и аналоговых приборов



# Эволюция БЩУ/БПУ

БПУ Энергоблока № 3  
Калининской АЭС  
(2004 г.)



БПУ Энергоблока № 6  
Нововоронежской АЭС  
(2016 г.)



Новая мозаичная технология изготовления панелей БПУ



Дисплейный способ управления, при котором основные операции выполняются с помощью компьютерных манипуляторов и всплывающих окон с виртуальными кнопками управления



Экраны коллективного пользования, предназначенные для целостного представления обобщенного состояния энергоблока

# БПУ будущих проектов, предлагаемых АО «РАСУ»

## БПУ Курской АЭС-2



Улучшение эргономики



Увеличение площади БПУ



Улучшение  
информационно-  
технической поддержки

# Традиционный ЧМИ

Принцип  
«один к одному»

«Один элемент информации –  
одно средство отображения  
информации»

«Один элемент  
оборудования – один орган  
управления»



Сложное ЧМИ, состоящее из тысяч  
компонентов



# Современный ЧМИ



Современный ЧМИ

- Упрощение сбора и анализа информации:
- снижение объема навигационных действий;
  - поддержание процесса принятия решений.

Дисплеи, ориентированные на задачу

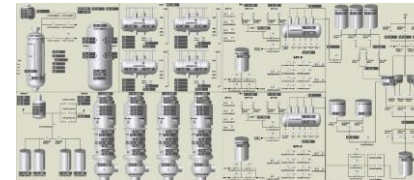
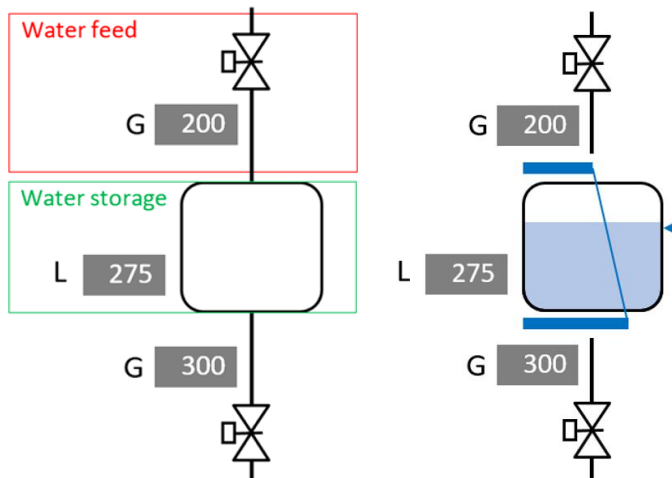
Функционально-ориентированные дисплеи

Экологические дисплеи

Обзорные дисплеи

Адаптивные дисплеи

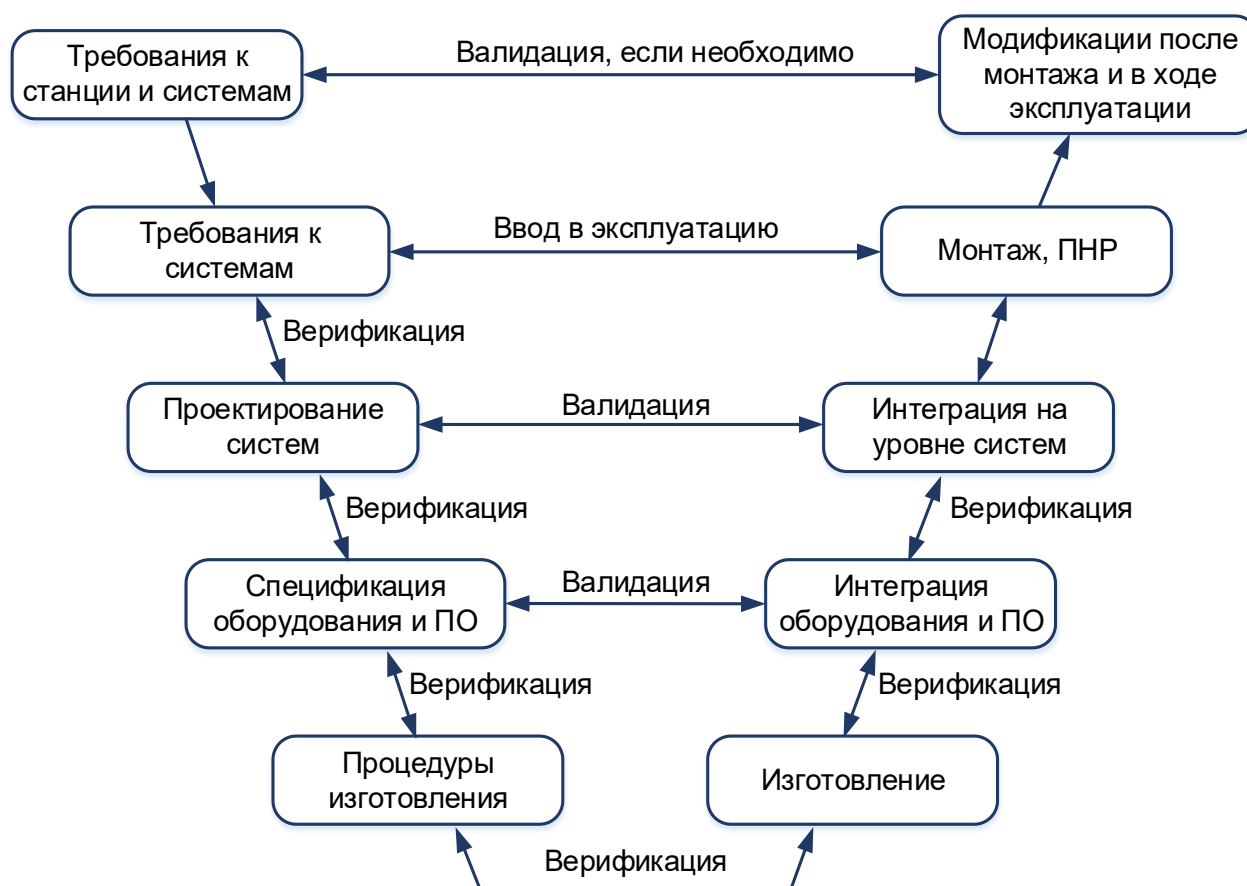
Группирование информации, необходимой для выполнения определенной типовой задачи, такой как снижение или подъем мощности



Активирование разных форм представления информации в разных ситуациях

# Верификация и валидация АСУ ТП

## Жизненный цикл АСУ ТП



*NS-G-1.3 «Системы контрольно-измерительных приборов и управления, важные для безопасности атомных станций»*

IAEA Safety Standards  
for protecting people and the environment

Design of Instrumentation  
and Control Systems for  
Nuclear Power Plants

Specific Safety Guide  
No. SSG-39



# Верификация и валидация АСУ ТП в АО «РАСУ»



Верификация проектной документации



Верификация заданий заводу на изготовление



Верификация статического и динамического тестирования ППО с использованием математических моделей



Верификация видеокладов СВБУ



Испытания на полигонах заводов изготовителей, АО «РАСУ» и площадках АЭС

# Статистика выявленных замечаний



# Заключение



Мировое значение атомной энергетики России – в 12-ти странах мира проектируется и сооружается 35 атомных энергоблоков по проектам РФ



Системы контроля и управления современных АЭС России поколения 3+ это цифровые системы в составе энергоблоков мощностью 1200–1300 МВт с высоким уровнем безопасности, надежности и экономичности



Применение современных технических средств в составе СКУ повышает безопасность за счет снижения ошибок персонала.



**Спасибо за внимание!**

