



Международный форум АТОМЭКСПО 2010 • Москва, 7-10 июня 2010 г.

# **Облик АЭС с легководными энергетическими реакторами следующего поколения**

**Ближайшая целевая задача –**

***АЭС-2006 М***

**(он же АЭС-2010, он же АЭС ВВЭР-ТОИ)**

**В этом исполнении следует завершить  
объявленную программу строительства**

**АЭС до 2020 года.**

# Основные направления оптимизации АЭС-2006



# **Основные технико-экономические цели АЭС-2010**

- 1. Коэффициент готовности – не менее 93%.**
- 2. Расход электроэнергии на собственные нужды – не выше 6,4%.**
- 3. КПД (брутто) – 37,4%.**
- 4. Защитная оболочка должна быть рассчитана на падение самолета – 20 т (опция 400 т).**
- 5. Занимаемая площадь для двухблочной АЭС, включая оборотные системы охлаждающей воды – не более 300 м<sup>2</sup>/МВт.**
- 6. Строительные объемы зданий и сооружений двухблочной АЭС – не более 500 м<sup>3</sup>/МВт.**
- 7. Срок сооружения от первого бетона до энергопуска не более 45 месяцев.**

# **Направления оптимизации реакторного отделения**

- 1. Повышение тепловой мощности реактора до 3300-3400 МВт (т) на базе снятия консерватизма.**
- 2. Модернизация парогенератора (улучшение сепарационных характеристик).**
- 3. Сокращение органов регулирования СУЗ по результатам уже проведенных работ.**
- 4. Полное исключение циркуляционных маслосистем из реакторного отделения, внедрение новых ГЦН (разработка практически завершена).**
- 5. Внедрение новой корпусной стали.**

# Общеплочные модернизации

1. **Повышение среднегодового термического КПД энергоблока до 37,4% за счет оптимизации термодинамического цикла паротурбинной установки.**
2. **Внедрение новой линейки теплообменного оборудования коллекторно-ширмового типа (ПНД, ПВД, СПП).**
3. **Переход на бездеаэрационную схему второго контура.**
4. **Разработка (или применение) тихоходной турбины с генератором до 1300-1400 МВт (э).**
5. **Повышение маневренных характеристик энергоблока за счет внедрения тепловых аккумуляторов, участие энергоблока в первичном, вторичном и суточном регулировании.**

# Общеплочные модернизации

6. Отказ от блочных обессоливающих установок и переход на БОУ малой производительности.
7. Утилизация сбросного низкотемпературного тепла для нужд теплофикации (внедрение тепловых насосов).
8. Оптимизация структуры водопитательной установки 2-го контура, включая внедрение гидромуфт на электропитательных насосах, турбоприводов ПН.
9. Оптимизация алгоритмов управления энергоблока
10. Оптимизация номенклатуры и характеристик систем безопасности (опционы по системам безопасности по требованию заказчика).

**Среднесрочная и более  
отдаленная перспектива  
ориентируются на новые цели,  
которые определяют задачи как  
эволюционного, так и  
инновационного развития  
технологии ВВЭР**



# Центральная задача

## **– формирование оптимальной структуры всего ядерного топливного цикла**

- создание замкнутого топливного цикла;
- инновационное развитие реакторов деления;
  - создание эффективных бридеров на быстрых нейтронах;
  - повышение эффективности топливоиспользования в реакторах на тепловых нейтронах.

# **Приоритетное место корпусных легководных реакторов – носителей традиционной технологии и большого опыта**

## **Основные цели:**

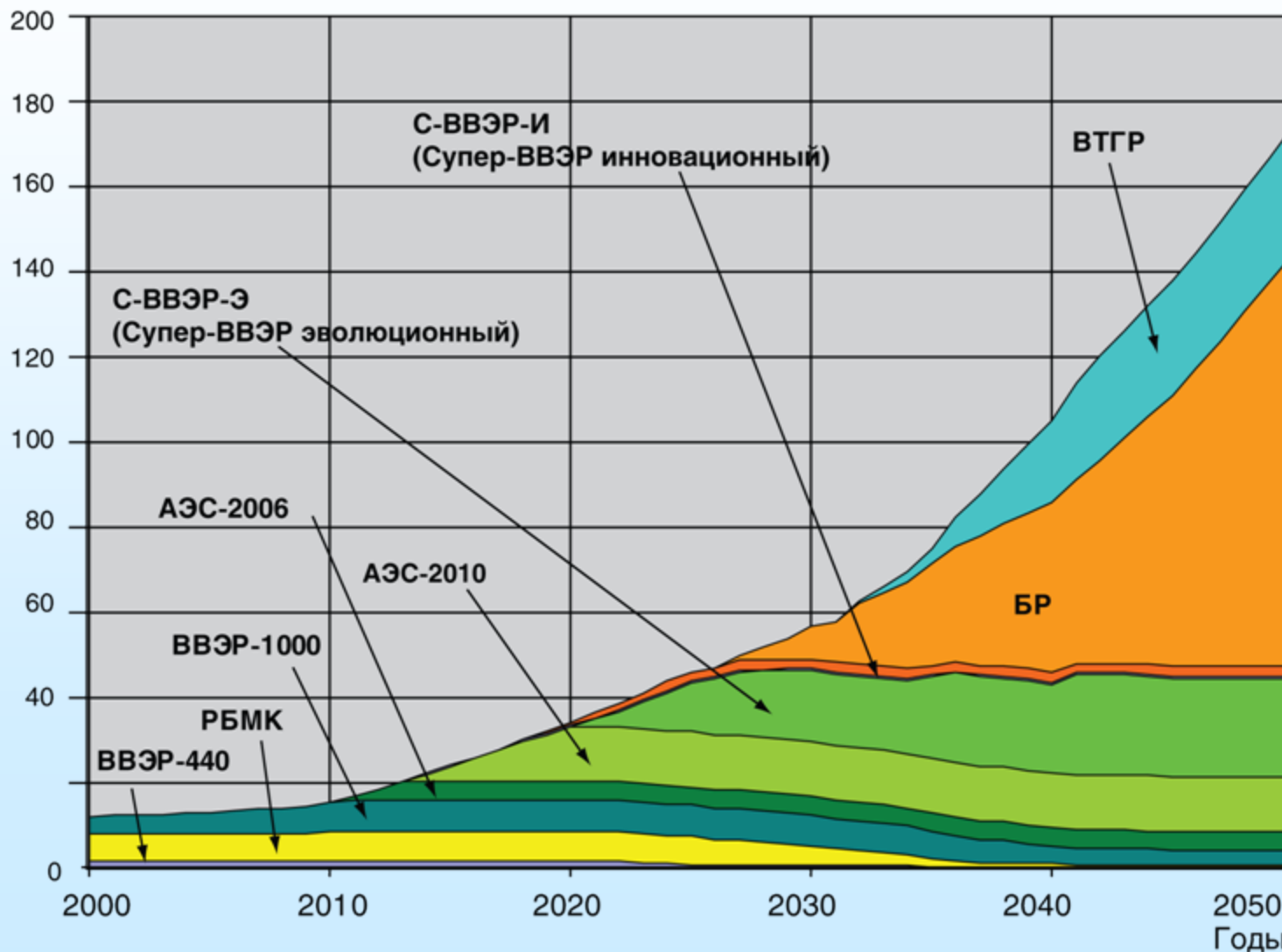
- **более эффективное использование урана;**
- **снижение инвестиционных рисков;**
- **повышение термодинамической эффективности.**

# **Рассмотренные направления инновационного развития**

- **Охлаждение водой докритических параметров с возможностью регулирования спектра нейтронов.**
- **Использование технологии корпусного реактора, охлаждаемого кипящей водой докритических параметров.**
- **Использование воды сверхкритического давления в прямоточном одноконтурном исполнении.**
- **Использование воды сверхкритического давления в двухконтурной реакторной установке.**
- **Пароводяное охлаждение в докритической области давления реактора с быстрым спектром нейтронов.**
- **Паровое охлаждение в закритической области давления реактора с быстрым спектром нейтронов.**

# Предполагаемая структура атомной энергетики России на период до 2050 г.

Установленная электрическая мощность АЭС, ГВт



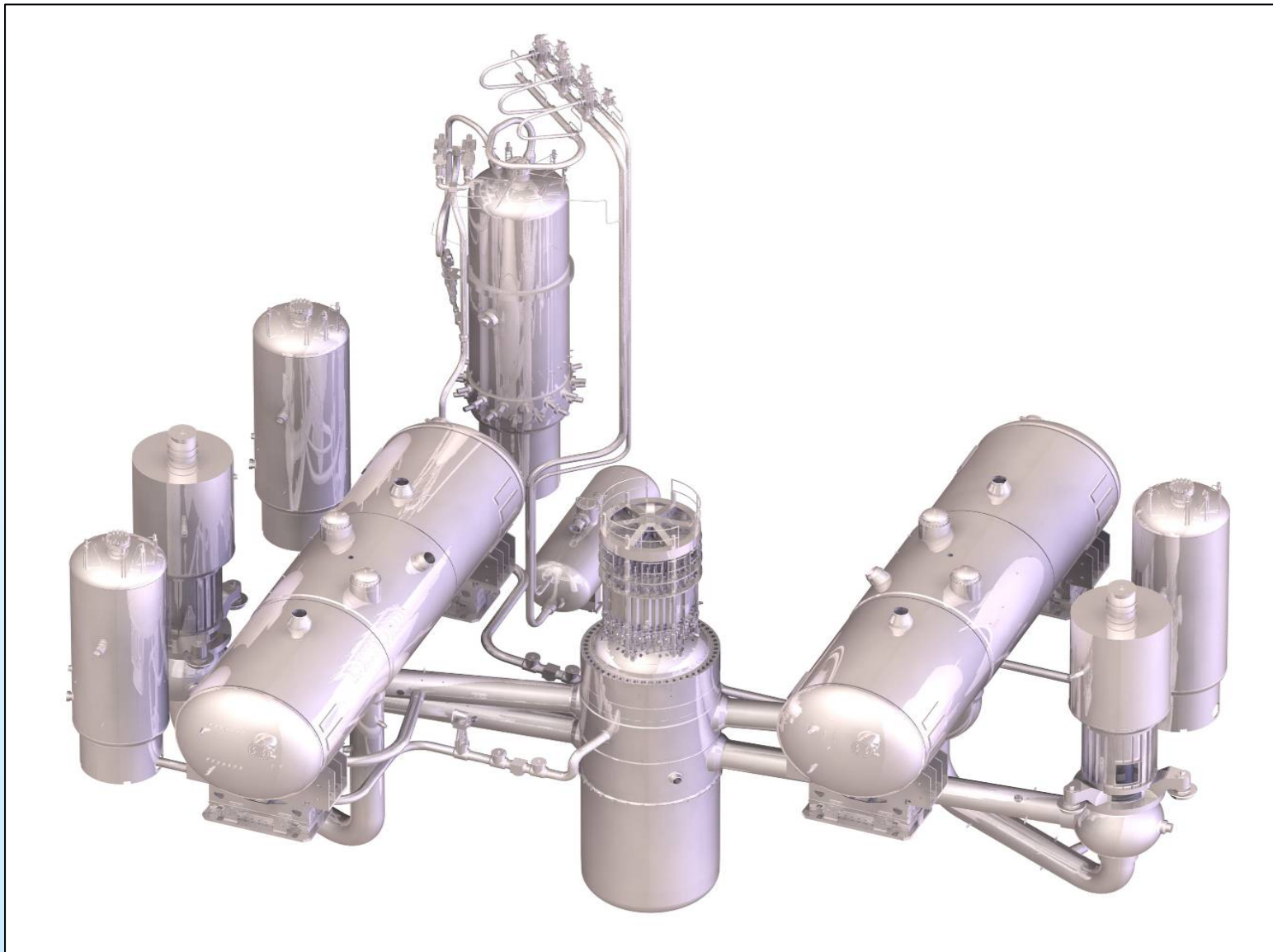
# **Исходное условие при рассмотрении предложений –**

***возможность практической реализации  
в период 2020-2025 годы***

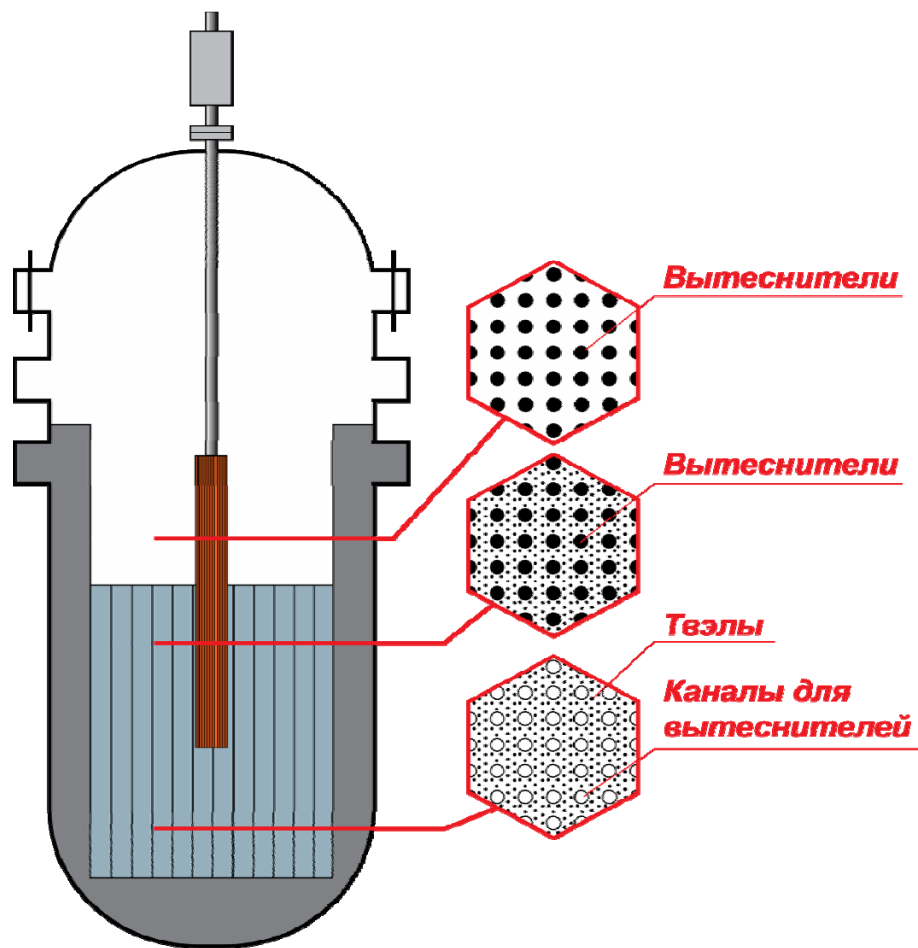
# **Улучшенный ВВЭР для работы в замкнутом топливном цикле**

- **Расход природного урана в открытом цикле 130-135 т/ГВт(э) с КВ-0,8-0,85.**
- **Спектральное регулирование.**
- **Минимизация паразитного поглощения нейтронов.**
- **Оптимизация глубины выгорания топлива.**
- **Повышение термического КПД путем оптимизации конструкции парогенератора и повышения параметров пара.**
- **Обеспечение широких эксплуатационных возможностей (маневрирование, длительность кампании до 24 месяцев, КИУМ более 90%).**
- **Уменьшение числа петель РУ, создание стандартной петли 600 МВт(э).**
- **Индустриальное производство модулей энергоблока, сокращение времени сооружения до 3,5-4 лет.**
- **Свободное размещение энергоблоков по условиям безопасности.**
- **Внедрение модернизаций, не реализованных в АЭС-2010.**

# Двухпетлевой ВВЭР-1200



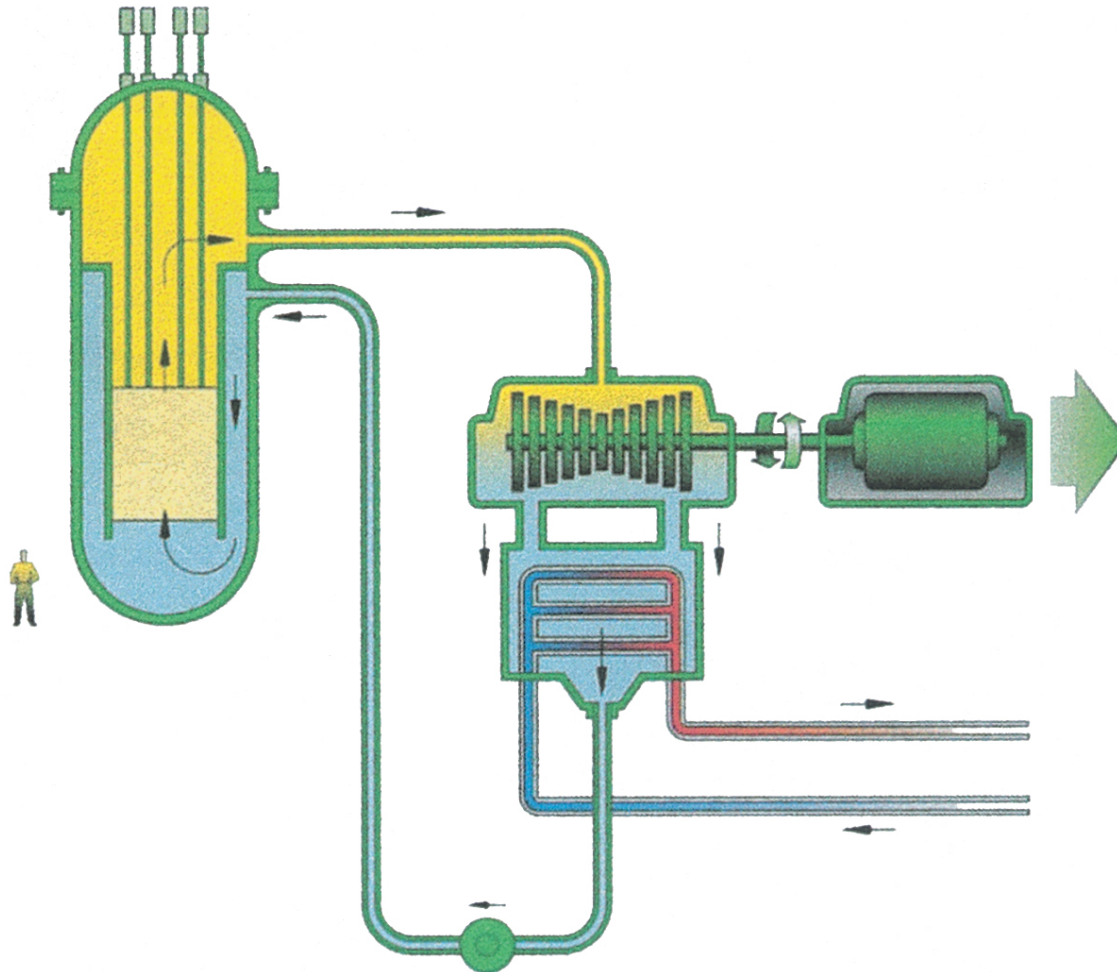
# Конструктивная схема реактора с регулированием спектра нейтронов подвижными вытеснителями



Мощность тепл. /Эл, МВт	3500/1300
КПД АЭС, %	33-34
Компоновка, кол-во контуров	Петлевая 2 контура
Давление на входе/выходе реактора, МПа	16.2/15.9
Температура на входе/выходе реактора, °С	287/328,7
Высота/диаметр активной зоны (+экраны), м	4,57/3,4
Размеры корпуса высота/диаметр, м	22/ 4. 5
Стадия разработки проекта РУ	ТЭИ
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет	10
Необходимость сооружения опытной установки	-

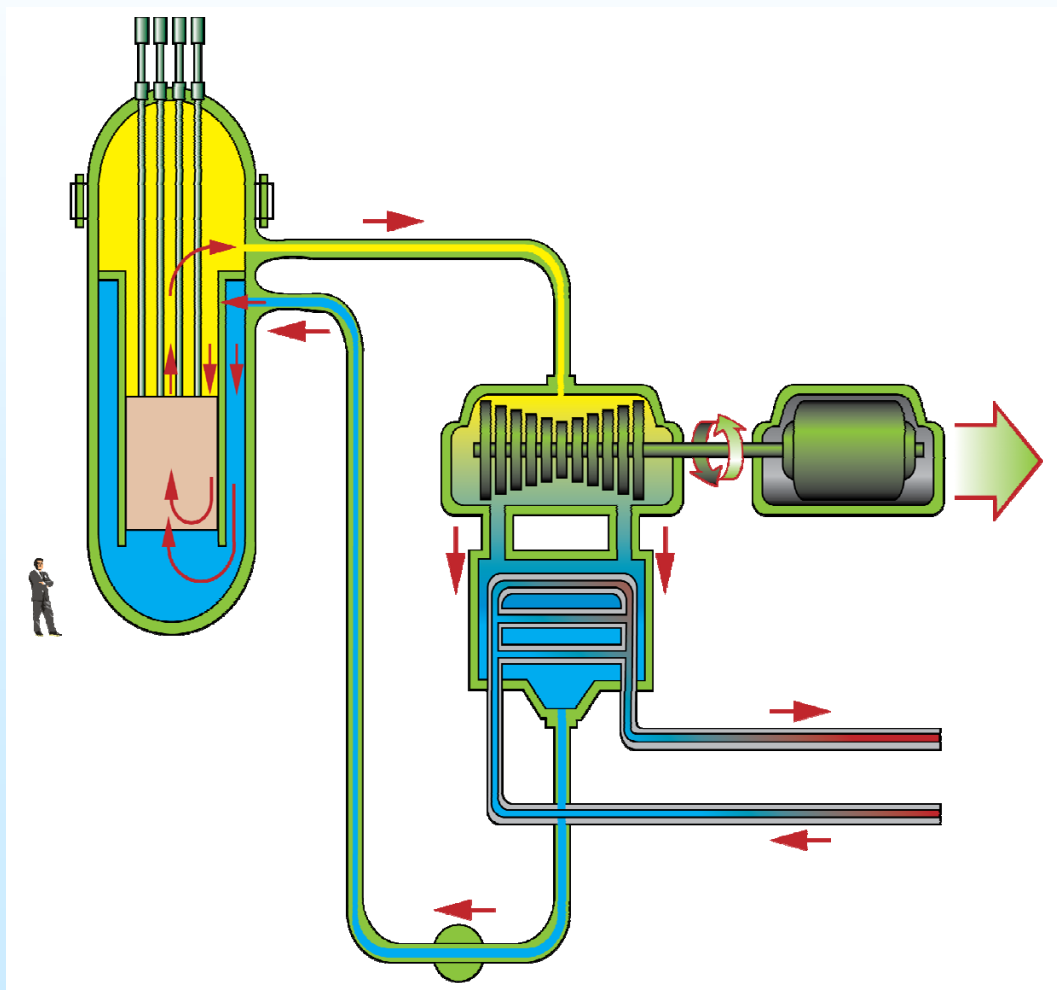


# Одноконтурный водо-водяной кипящий реактор с жестким спектром нейтронов и высоким воспроизводством ядерного топлива



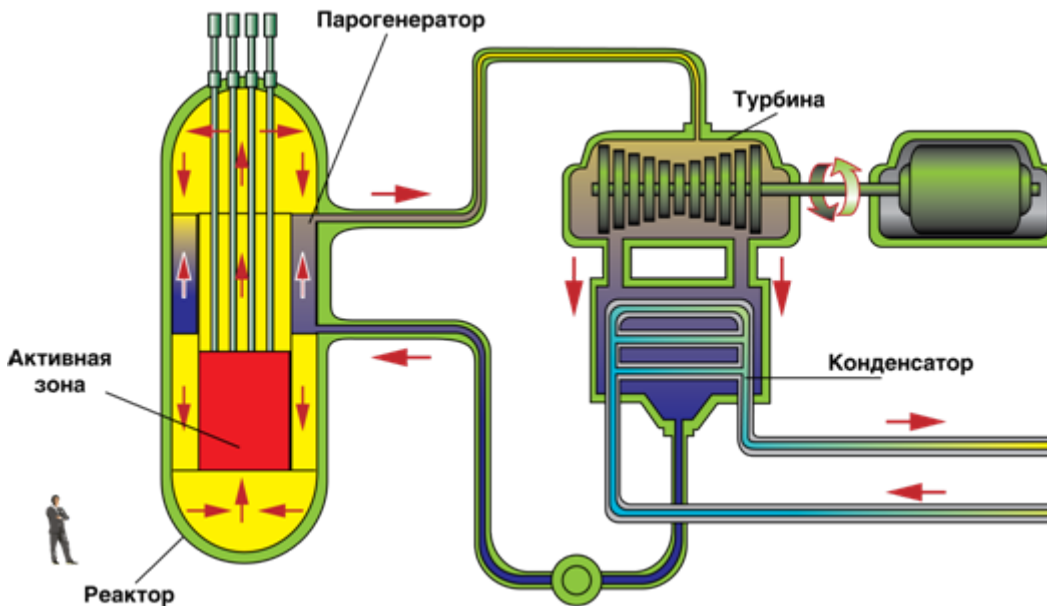
Мощность тепл. /Эл, МВт	3000/ 1035
КПД АЭС, %	33-34
Компоновка, кол-во контуров	1-контур
Давление на входе/выходе реактора, МПа	8,0/7,3
Температура на входе/выходе реактора, °С	287/288,7
Высота/диаметр активной зоны (+экраны), м	2,4(+1)/ 4.14(+0.43)
Размеры корпуса высота/диаметр, м	21/5.8
Стадия разработки проекта РУ	Концепт. проект
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет	10
Необходимость сооружения опытной установки	+

# Одноконтурный ВВЭР-СКД с двухзаходной активной зоной



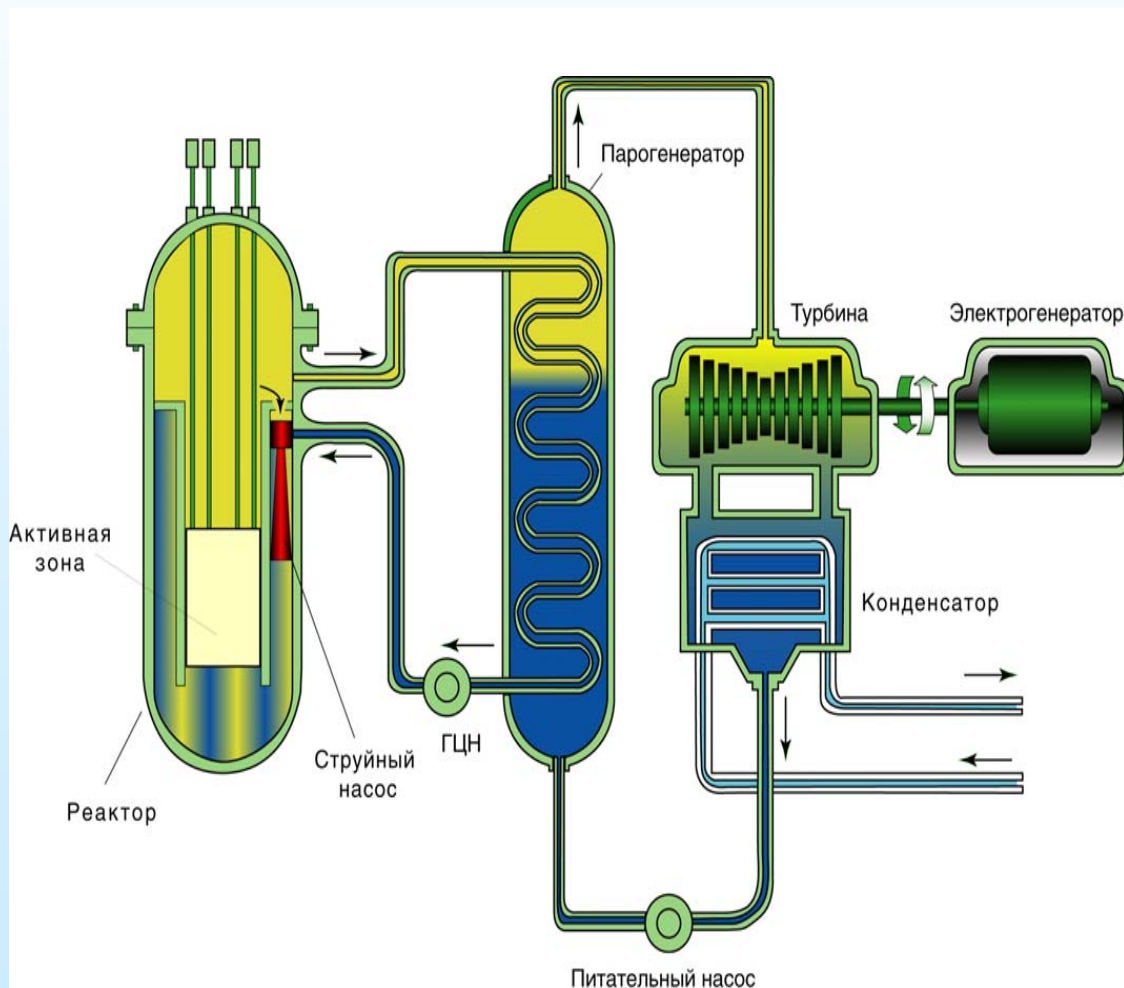
Мощность тепл. /Эл, МВт	3830/ 1700
КПД АЭС, %	44
Компоновка, кол-во контуров	Петлевая 1 контур
Давление на входе/выходе реактора, МПа	25/24
Температура на входе/выходе реактора, °С	290/540
Высота/диаметр активной зоны (+экраны), м	3.76(+0.5)/ 3,37(+0,5)
Размеры корпуса высота/диаметр/толщина, м	15,0/4,8/0,335
Стадия разработки проекта РУ	Концепт. проект
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет *	15
Необходимость сооружения опытной установки	+

# Двухконтурный интегральный ВВЭР-СКДИ с одноходовой активной зоной и естественной циркуляцией теплоносителя



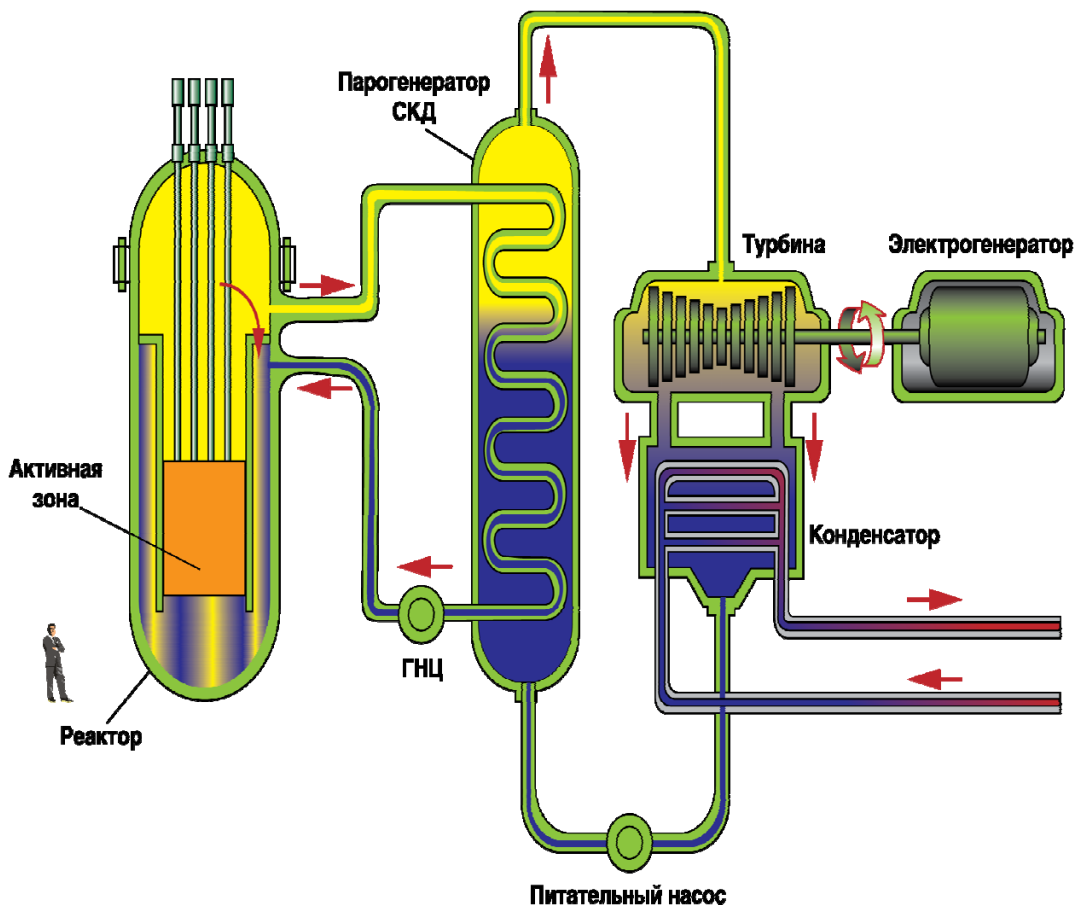
Мощность тепл. /Эл, МВт	1635/670
КПД АЭС, %	41
Компоновка, кол-во контуров	Интегральный 2 контура, в 1-м контуре естеств. циркуляция
Давление на входе/выходе реактора, МПа	23.6
Температура на входе/выходе реактора, °С	375/395
Высота/диаметр активной зоны (+экраны), м	4,2/2,6
Размеры корпуса высота/диаметр, м	23,5/4,96
Стадия разработки проекта РУ	Концепт. проект
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет	15
Необходимость сооружения опытной установки	+

# Двухконтурный реактор на быстрых нейтронах, охлаждаемый пароводяной смесью (ПВЭР)



Мощность тепл. /Эл, МВт	1750/650
КПД АЭС, %	37,1
Компоновка, кол-во контуров	Петлевая 2 контура
Давление на входе/выходе реактора, МПа	16.3/16.0
Температура на входе/выходе реактора, °С	347/368
Высота/диаметр активной зоны (+экраны), м	1.5(+0.5)/ 3(+0.2)
Размеры корпуса высота/диаметр, м	10.9/4.25
Стадия разработки проекта РУ	Концепт. Проект
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет	10
Необходимость сооружения опытной установки	+

# Двухконтурный быстрый реактор с паровым теплоносителем сверхкритического давления (ПСКД)



Мощность тепл. /Эл, МВт	1470/ 590
КПД АЭС, %	40.2
Компоновка, кол-во контуров	Петлевая 2 контура
Давление на входе/выходе реактора, МПа	24.5/24.2
Температура на входе/выходе реактора, °С	388/500
Высота/диаметр активной зоны (+экраны), м	1.5(+0.5)/ 3(+0.2)
Размеры корпуса высота/диаметр, м	10.5/4.55
Стадия разработки проекта РУ	Концепт. проект
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет	15
Необходимость сооружения опытной установки	+

# Состояние разработки, планируемые сроки и этапы реализации

Название опции реактора	ВВЭР-Э	ПВЭР-650	ВВЭР-СКДИ	ПСКД-600	ВВЭР-СКД	ВК-М
Стадия разработки проекта РУ	ТЭИ	Концептуальный проект	Концептуальный проект	Концептуальный проект	Концептуальный проект	Концептуальный проект
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет	10	10	15	15	15	10
Необходимость сооружения опытной установки	-	-	+	+	+	+
Возможный срок пуска головного энергоблока, год	2020	2025	2035	2035	2035	2025
Возможный срок начала массового внедрения, год	2025	2030	2040	2040	2040	2030

# Оценка предложений

- Перспектива использования опыта BWR (?)
- Переход на «быстрый» спектр нейтронов – сфера выбора оптимального варианта бридера.
- Переход на сверхкритическое давление воды – самостоятельное перспективное направление.

# **Предлагаемые направления разработки СУПЕР-ВВЭР**

**Предлагается сосредоточиться на двух направлениях исследований и разработок:**

- направление эволюционного развития с модернизацией и совершенствованием традиционной технологии ВВЭР;**
- направление инновационного развития с переходом на теплоотвод водой сверхкритических параметров.**



# Этапы создания эволюционного СУПЕР-ВВЭР

- 2009-2011 гг. Технические предложения по проекту инновационной активной зоны и формирование программы НИОКР для АЭС с **эволюционным** вариантом СУПЕР-ВВЭР.
- 2011-2015 гг. Выполнение предпроектных и базовых НИОКР для АЭС с **эволюционным** вариантом СУПЕР-ВВЭР (материалы, коды, базы данных, бенчмарки, стендовая база).
- 2012-2016 гг. Проектирование АЭС с **эволюционным** вариантом СУПЕР-ВВЭР (концептуальный проект, техническое предложение, технический проект, ТЭО, РД).
- 2016-2021 гг. Сооружение головной АЭС с **эволюционным** вариантом СУПЕР-ВВЭР.

# Этапы создания инновационного СУПЕР-ВВЭР

2009-2011 гг. Изучение обобщенных базовых проблем ВВЭР-СКД нового поколения, технические предложения по АППУ с инновационной РУ СУПЕР-ВВЭР, формирование требований и программы НИОКР для АЭС с *инновационным* вариантом СУПЕР-ВВЭР;

2012-2019 гг. Выполнение предпроектных и базовых НИОКР для АЭС с *инновационным* вариантом СУПЕР-ВВЭР (материалы, коды, базы данных, бенчмарки, стендовая база, экспериментальные исследования);

2017-2021 гг. Проектирование АЭС с *инновационным* вариантом СУПЕР-ВВЭР (концептуальный проект, техническое предложение, технический проект, ТЭО, РД);

2022-2026 гг. Сооружение головной АЭС с *инновационным* вариантом СУПЕР-ВВЭР.

# Основные направления НИОКР

- **Нейтронно-физические расчеты и эксперименты.**
- **Тепло-гидравлические расчеты и эксперименты.**
- **Материаловедческие проблемы в комплексе.**
- **Динамика процессов в ЯЭУ и анализ устойчивости.**
- **Водоподготовка.**
- **Новые технические решения, масштабные эксперименты.**

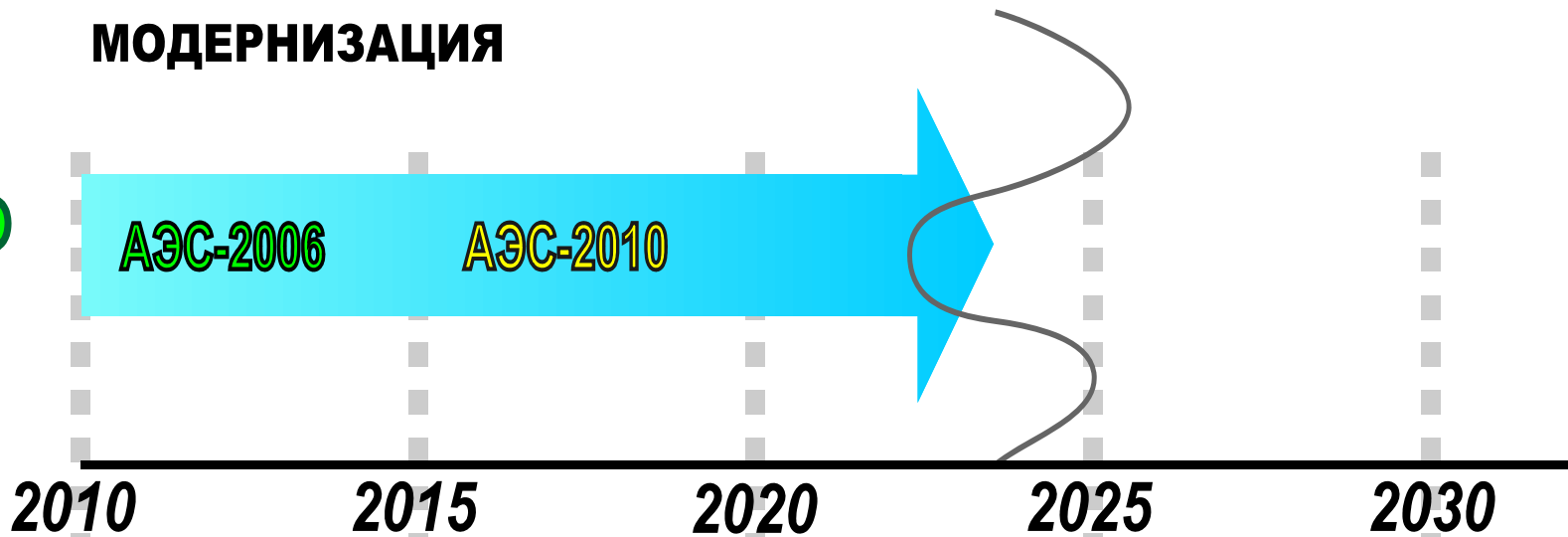
# Основное содержание работ на 2-3 года

Выполнение базовых НИОКР,  
которые позволяют:

- для эволюционного направления – сформировать технические предложения по проекту активной зоны, реакторной установки и АЭС;
- для инновационного направления – обеспечить изучение обобщенных базовых проблем создания ВВЭР-СКД, выбор конструктивно-проектного облика ЯППУ и создание научно-технического задела для перехода к целенаправленному НИОКРу и конкретному проектированию.

# МОДЕРНИЗАЦИЯ

## ВВЭР



## Супер ВВЭР (НТС, апрель 2010)

