

Актуальные вопросы развития технологии ВВЭР

Десятая международная научно-
техническая конференция
«Безопасность, эффективность и
экономика атомной энергетики»

АО «Концерн Росэнергоатом»

25-27 мая
г. Москва

Беркович Вадим Яковлевич

Семченков Юрий Михайлович



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
"КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ"

 ОКБ «ГИДРОПРЕСС»



атомэнергомаш
ГРУППА КОМПАНИЙ РОСАТОМА

Стратегические цели Росатома

- ✓ Увеличение доли атомной генерации в энергообеспечении страны
- ✓ Увеличение энерговыработки блоков АЭС (КИУМ)
- ✓ Глобальная экспансия

База для дальнейшего развития

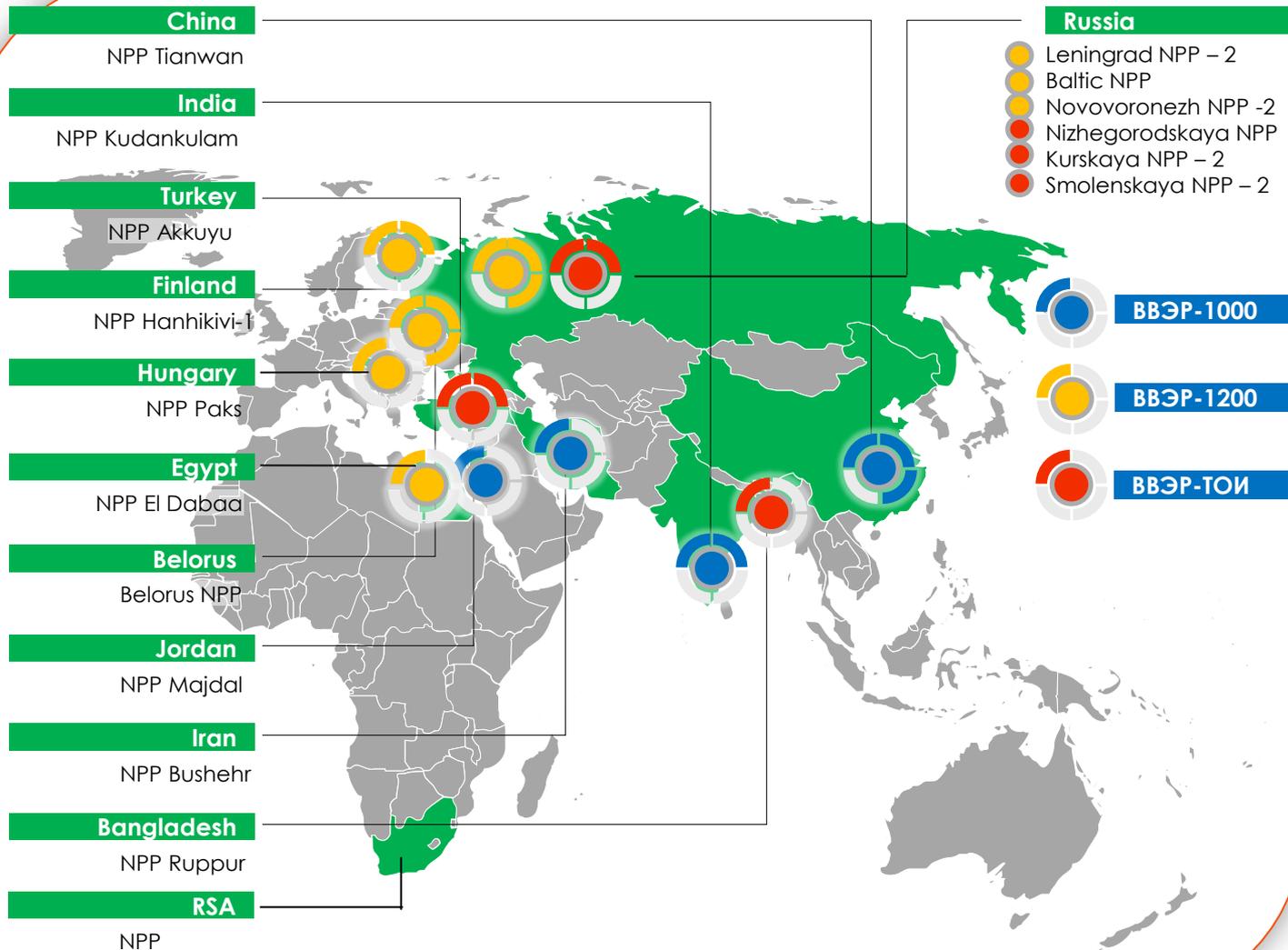
- ✓ 71 сооруженный блок с ВВЭР
- ✓ 8 разработанных базовых проектов (см. слайд 3)
- ✓ Востребованность АЭС с ВВЭР (см. слайд 4)

Линейка проектов РУ с ВВЭР, разработанных в ОКБ ГП

Мощность тепл/электр	Проект	Реализация*
4950/1800	Концепция	-
4250/1500	В-448	-
3300/1300	В-510	ВВЭР-ТОИ
3200/1200	В-392М, В-491	АЭС-2006
3000/1000	В-412, В-428, В-446, В-320, В-392	ВВЭР-1000
1800/640	В-407	-
1600/600	В-498	-
1375/440	В-213, В-230, В-179, В-270	В-440

* - построены или строятся

География РУ с ВВЭР



Проект ВВЭР-ТОИ. Поколение 3+

- мощность 3300 МВт (тепловая);
- количество ОР СУЗ – 94 шт.;
- высота активной зоны – 3730 мм;
- срок службы оборудования РУ – 60 лет;
- наличие УЛР;
- воздушная СПОТ;
- GE-2,3 (автономность до 72 часов);
- отсутствие сварных швов в районе активной зоны корпуса реактора;
- парогенератор без коллектора пара;
- 2 канала активных систем безопасности;
- возможность использования МОХ-топлива.

Продление сроков эксплуатации блоков с ВВЭР

Получены лицензии Ростехнадзора:

- Нововоронежская АЭС блок №5 до 25.09.2025;
- Калининская АЭС блок №1 до 28.12.2025;
- Балаковская АЭС блок №1 до 18.12.2045

Ведутся работы по продлению:

- Нововоронежская АЭС блок №4 на 15 лет (итого $30+15+15=60$ лет);
- Кольская АЭС блоки №№1, 2 на 15 лет (итого $30+15+15=60$ лет);
- Армянская АЭС блок №2 на 10 лет (итого $30+10=40$ лет)

База для продления сроков эксплуатации:

- Результаты эксплуатации;
- Обследование фактического состояния;
- Нормативная база

Повышение мощности энергоблоков

Опытно – промышленная эксплуатация

- Балаковская АЭС блок №3 на 104%;
- Калининская АЭС блоки №1-4 на 104%;
- Ростовская АЭС блок №2 на 104%

Промышленная эксплуатация

- Балаковская АЭС блоки №№1, 2, 4 на 104%;
- Ростовская АЭС блок №1 на 104 %

Ведутся работы по повышению мощности

- Балаковская АЭС блок №4 до 107%;
- Ростовская АЭС блок №3 до 104%

База для повышения мощности

- Результаты эксплуатации;
- Резервные возможности оборудования;
- Снятие первоначального консерватизма;
- Совершенствование проектирования (ТВС, активная зона);
- Нормативная база

Снижение стоимости генерации электроэнергии

Вызовы, стоящие перед ВВЭР

- Конкуренция с другими технологиями (органика, солнечная, ветровая и др.);
- Конкуренция с другими мировыми производителями атомной энергии;
- Движение к ЗЯТЦ (совместная работа с “быстрыми” реакторами);
- Снижение количества ОЯТ

Общие требования к современным проектам АЭС

- Снижение удельных капитальных вложений;
- Сокращение продолжительности сооружения;
- Увеличение КИУМ;
- Увеличение срока службы;
- Снижение затрат на топливо

Энергоблок с РУ двухпетлевой мощностью 600 МВт эл. и трехпетлевой 900 МВт эл.

Планируется создание проекта энергоблока с возможностью выбора двух- или трехпетлевой конфигурации РУ (унифицированная петля), обеспечивающего:

- ✓ максимально высокие для ВВЭР КПД, КИУМ, коэффициент готовности;
- ✓ оптимизацию топливоиспользования, металлоемкости, объемов и сроков строительных и монтажных работ в здании реактора, эксплуатационных затрат;
- ✓ использование спектрального регулирования с отказом от борного регулирования;
- ✓ уровень безопасности не ниже требований к АЭС поколения «3+»;
- ✓ проектный срок службы 60 лет;
- ✓ удержание расплава активной зоны в корпусе реактора в ходе тяжелой запроектной аварии;
- ✓ изготовление оборудования по отработанной технологии для АЭС-2006 и ВВЭР ТОИ

РУ ВВЭР-600

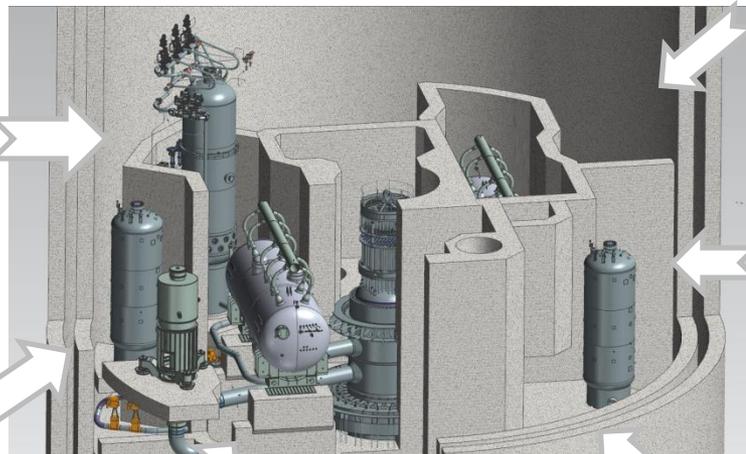
Максимальное заимствование оборудования из проектов ВВЭР-1200/ ВВЭР-ТОИ

Готовность промышленности к изготовлению оборудования

Удержание расплава активной зоны в корпусе реактора в ходе тяжелой ЗПА

Срок службы оборудования – 60 лет

Автономность -72 часа



Двухпетлевая РУ

Максимальное расчетное землетрясение по системе MSK-64 – до 9 баллов;

Оптимизация конструкции

Энергоблок с РУ двухпетлевой мощностью 1200 МВт эл. и трехпетлевой 1800 МВт эл.

Задачей является создание унифицированного проекта энергоблока с возможностью выбора двух- или трехпетлевой конфигурации РУ, что позволит достичь:

- конкурентоспособности с предложениями зарубежных ведущих фирм Areva, Westinghouse (AP-1000, EPR-1600, CAP-1400);
- уменьшения затрат на сооружение и эксплуатацию за счет:
 - ✓ реального сокращения сроков сооружения;
 - ✓ экономии природного урана в ОТЦ (не более 130 т природного урана на 1 ГВт год электроэнергии);
 - ✓ укрупнения оборудования РУ;
 - ✓ модернизации конструкции внутрикорпусных устройств (ВКУ)
 - ✓ сокращения однотипных единиц оборудования РУ и обеспечивающих их работоспособность систем;
 - ✓ использования проверенных решений по основному оборудованию;
 - ✓ разработки нового парогенератора с использованием отработанной технологии горизонтальных парогенераторов;

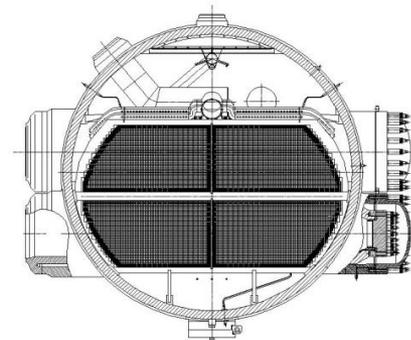
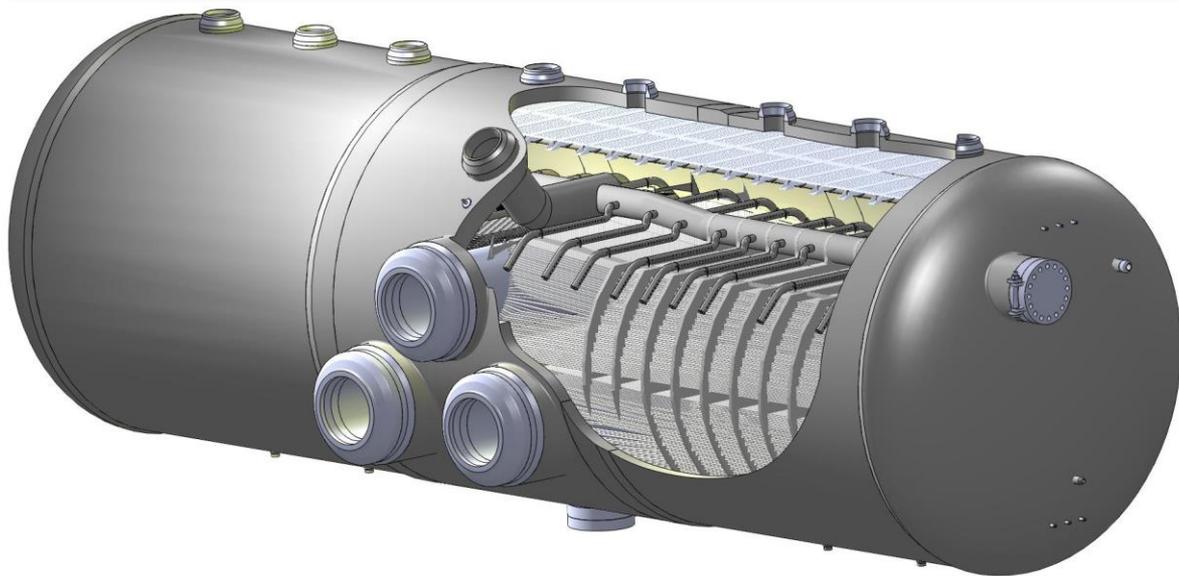
- концентрации НИОКР только на внедрении новых технологий (стальная гермооболочка, отказ от крупного полярного крана, совмещение «ловушки расплава» с корпусом реактора и т.п.);
- исключения паро-циркониевой реакции за счет модернизации сплава ХНМ;
- вовлечения в топливный цикл урана-238 и, при необходимости, тория;
- применения загрузок с различными видами топлива (УОКС - из природного и регенерированного урана, РЕМИКС, МОКС и с их комбинациями) при многократном рециклировании в замкнутом топливном цикле;
- повышения безопасности и эффективности за счет использования «толерантного» топлива

Возможность применения спектрального регулирования предлагается использовать как опцию с окончанием разработки проекта в 2028 году. Без спектрального регулирования предполагается разработать проект за 4-5 лет

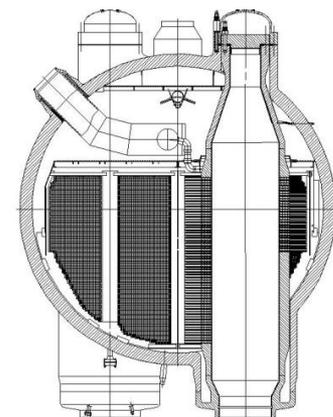
Парогенератор ПГВ-1200А (АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ)*

Преимущества горизонтального размещения коллекторов 1-го контура

- равномерная нагрузка на зеркало испарения;
- лучшая наполняемость парогенератора трубами;
- возможность организации экономайзерного участка



ПГ с горизонтальным размещением коллекторов 1 контура



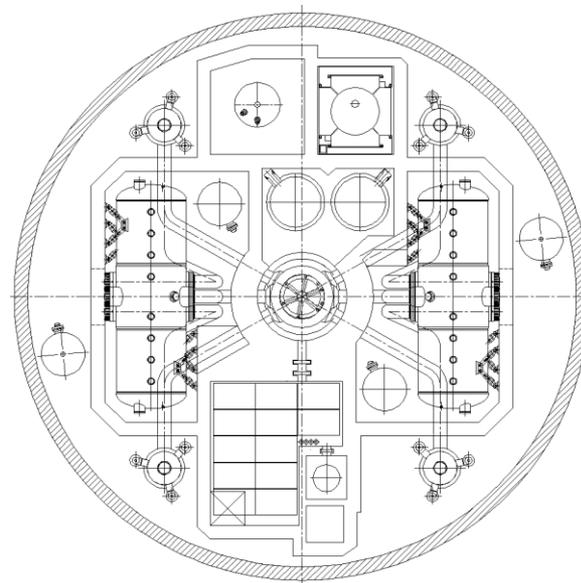
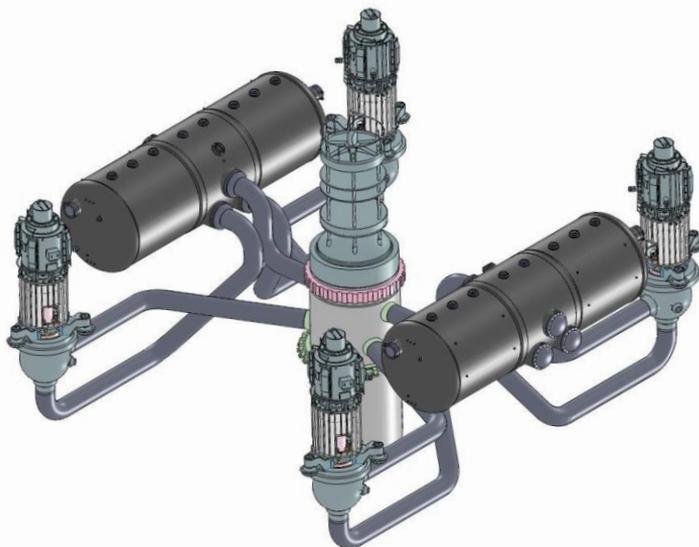
ПГ с вертикальным размещением коллекторов 1 контура

* Возможно увеличение мощности двух ПГ с 1200 до 1300 МВт.

ДВУХПЕТЛЕВАЯ РУ ВВЭР-1200А С НОВЫМ ПГ

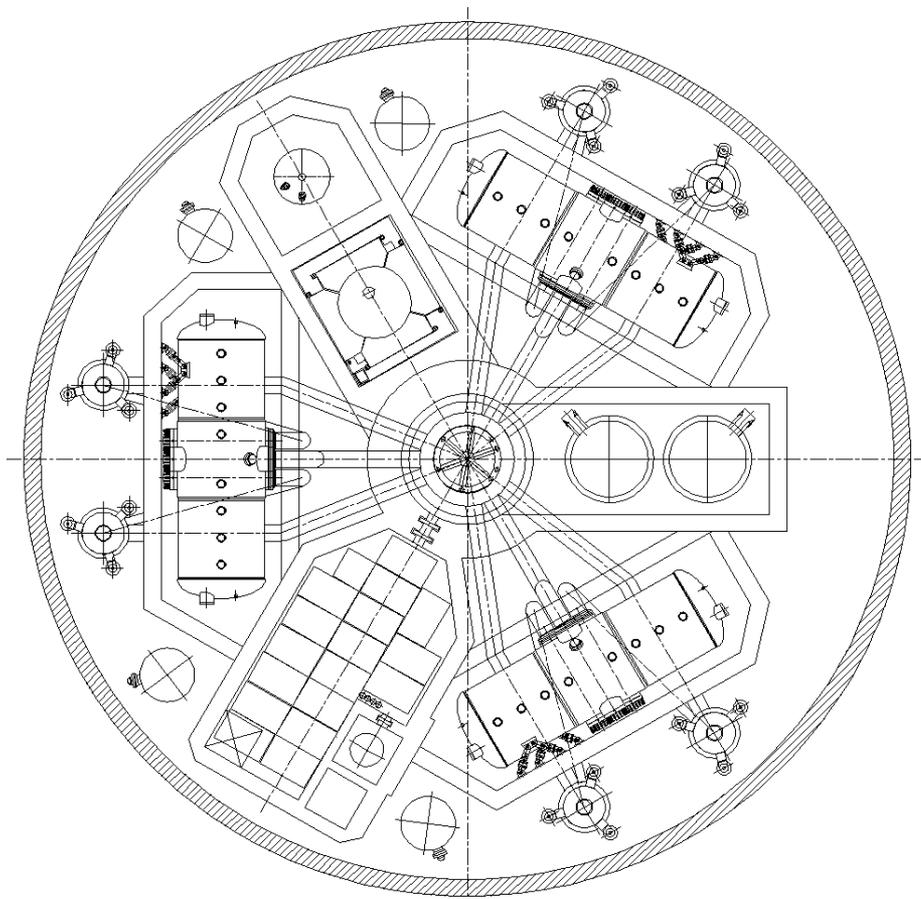
Преимущества по сравнению с 4-х петлевой компоновкой:

- Сокращение числа ПГ;
- Сокращение удельной металлоемкости и сроков сооружения;
- Уменьшение диаметра ГО;
- Уменьшение затрат времени и дозозатрат на контроль, обслуживание и ремонт оборудования



ТРЕХПЕТЛЕВАЯ РУ ВВЭР-1800 С НОВЫМ ПГ

Проектные основы

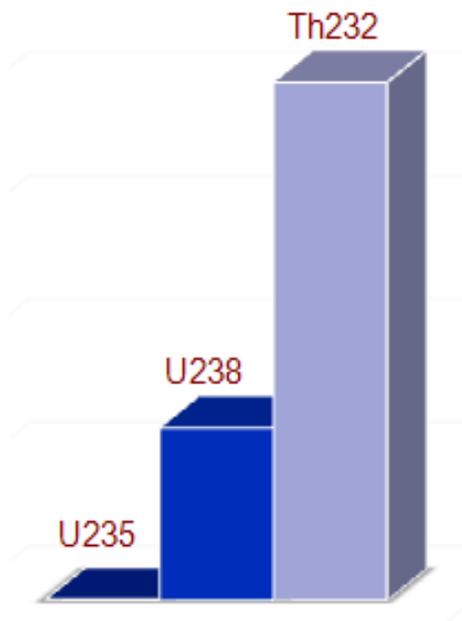


- Использование оборудования петли циркуляции (ПГ и ГЦНА) от ВВЭР-1200А;
- Использование результатов разработок корпуса и ВКУ реактора ВВЭР-1500

Супер-ВВЭР

Мотивация для разработки

Относительные
энергетические
запасы ядерного
топлива



Использование в современной АЭ только ~0,4% природного урана, в основном изотопа урана-235, запасы которого ограничены.

Наличие большого запаса урана-238 и тория-232.

Необходимость создания надежной и устойчивой АЭ России на основе **многокомпонентной** структуры АЭ.

Цели проекта Супер-ВВЭР

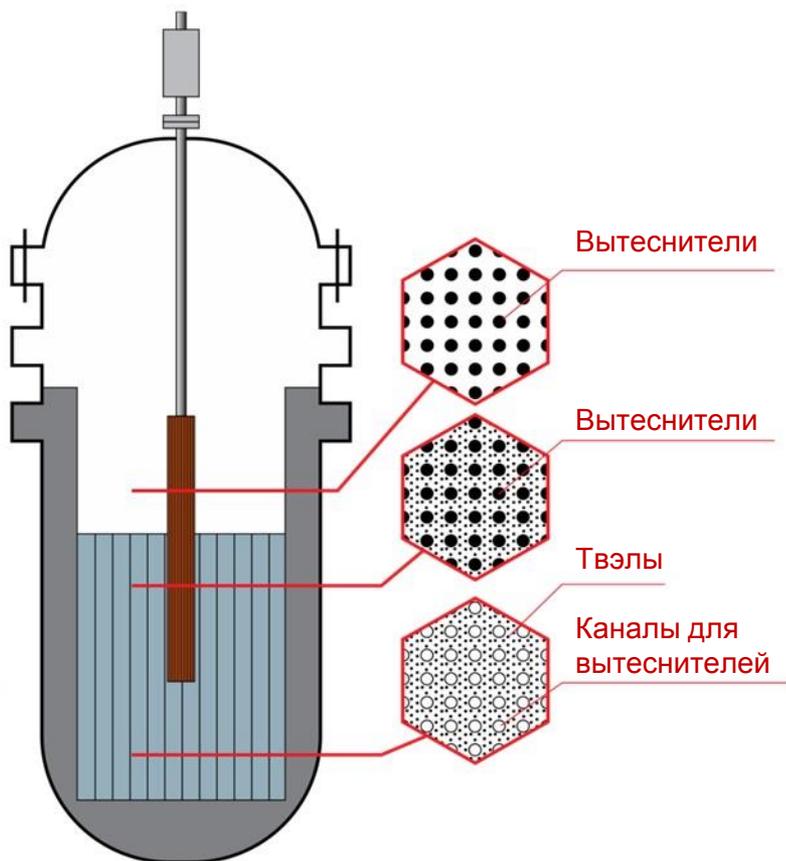
- Повышение экономической эффективности и конкурентоспособности освоенной технологии ВВЭР на различных «рыночных пространствах»
- Ориентация на индустриальное (серийное) производство на основе использования мирового опыта и передовых технологий
- Максимальное использование **освоенных технологий** на основе легководного теплоносителя в ЗЯТЦ
- Снижение расхода природного урана до уровня (130 – 135) т/ГВт(э) в год
- Создание реактора, адаптируемого к требованиям ИЯЭС с ЗЯТЦ в рамках концепции устойчивого развития

Эволюционный Супер-ВВЭР со спектральным регулированием (ВВЭР-С) – переходный вариант

Ожидаемые характеристики топливного цикла:

- КВ около 0,7 - 0,8 (0,4 в АЭС-2006);
- Расход природного урана около 137 т/ГВтэ при содержании урана-235 в отвальном уране ~0,1%
(197 т/ГВтэ в АЭС-2006 при содержании урана-235 в отвальном уране ~0,2%);
- Отсутствие жидкого и выгорающего поглотителя.

Эволюционный Супер-ВВЭР



Эволюционный Супер-ВВЭР с двухцелевыми ТВС со спектральным регулированием

Параметр	ВВЭР-С
<u>Организации-разработчики</u>	ОКБ ГП, НИЦ КИ, АЭП
Мощность тепл. /Эл, МВт	3500/1300
КПД АЭС, %	33-34
Компоновка, кол-во контуров	Петлевая 2-контур
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	3,4/4,57
Размеры корпуса высота/диаметр, м	4. 5/22
Стадия разработки проекта РУ	ТЭИ
Срок, требуемый для завершения НИОКР и выпуска технического проекта РУ, лет *	10
Необходимость сооружения опытно-промышленной установки	-

Инновационный Супер-ВВЭР (ВВЭР-СКД)

Инновационный Супер-ВВЭР – это реактор, охлаждаемый водой СКД (ВВЭР-СКД).

Создание подобных водо-водяных энергетических реакторов со сверхкритическими параметрами пара и регулируемым спектром нейтронов предусмотрено в Энергетической стратегии России, которая была утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г.

В июле 2011 г. Россия подписала системное соглашение Международного форума «Поколение-4» (GIF) по направлению реакторов с водой сверхкритического давления SCWR.

Участники GIF по направлению SCWR:

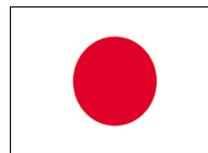
Евросоюз



Канада



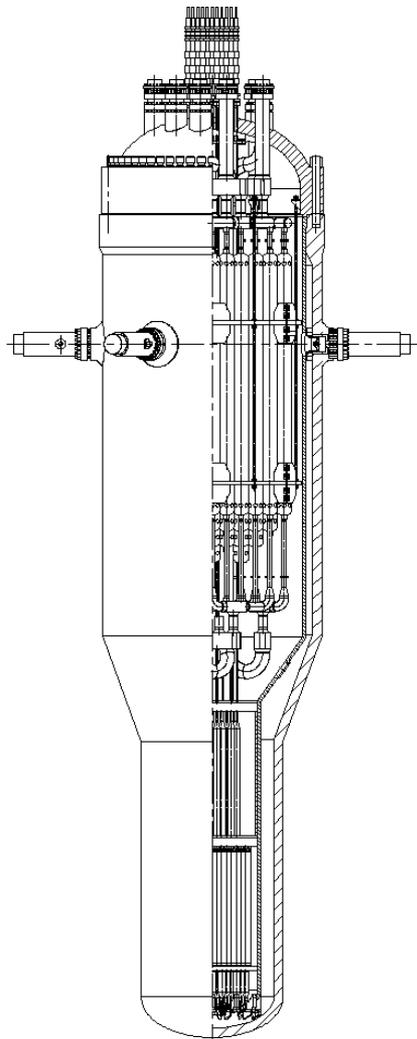
Япония



Россия



РУ интегрального типа ВВЭР-И-200



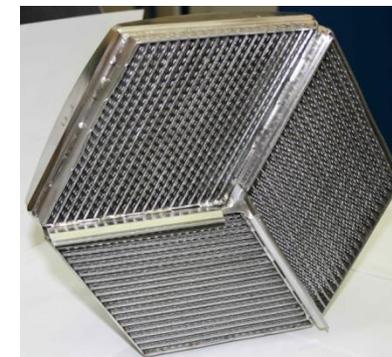
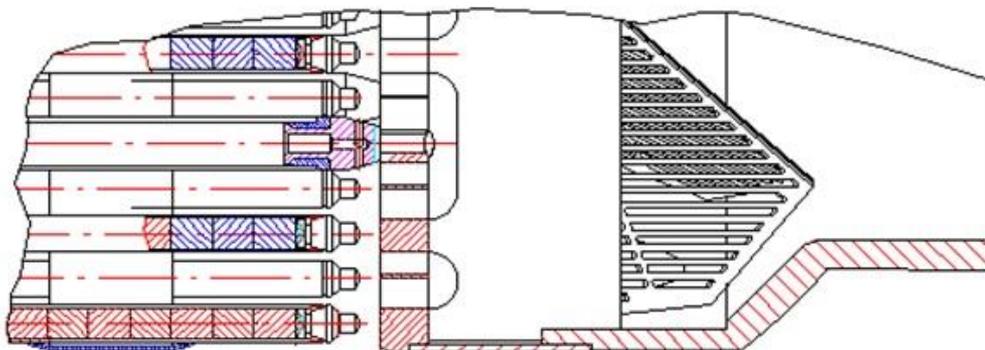
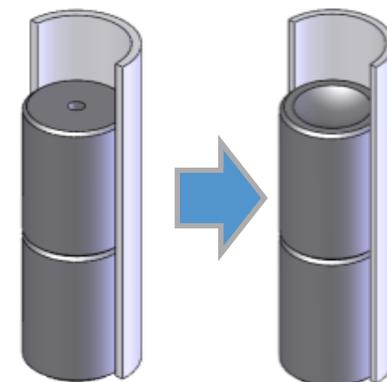
- Назначение – региональная энергетика;
- Концептуальные положения:
 - диапазон мощностей 100-200-300 МВт;
 - могут быть использованы отработанные решения ВВЭР по активной зоне, приводу СУЗ, конструкционным материалам;
 - минимальный состав систем безопасности.
- Возможные параметры ВВЭР-И-200
 - $N=200$ МВт.эл.;
 - $t_{\text{ВЫХ.ИЗ.А.З}}=329.7$ °С;
 - $t_{\text{ВЫХ.ИЗ.ПГ}}=298$ °С;
 - $P=17,64$ Мпа;
 - $n_{\text{ТВС}}=85$ шт.;
 - $h_{\text{а.з.}}=2500$ мм.

Мотивы совершенствования

- Наиболее острая конкуренция на рынке топлива
- Снижение удельного расхода урана
- Обеспечение высоких КИУМ
- Замыкание топливного цикла

Задачи эволюционного совершенствования

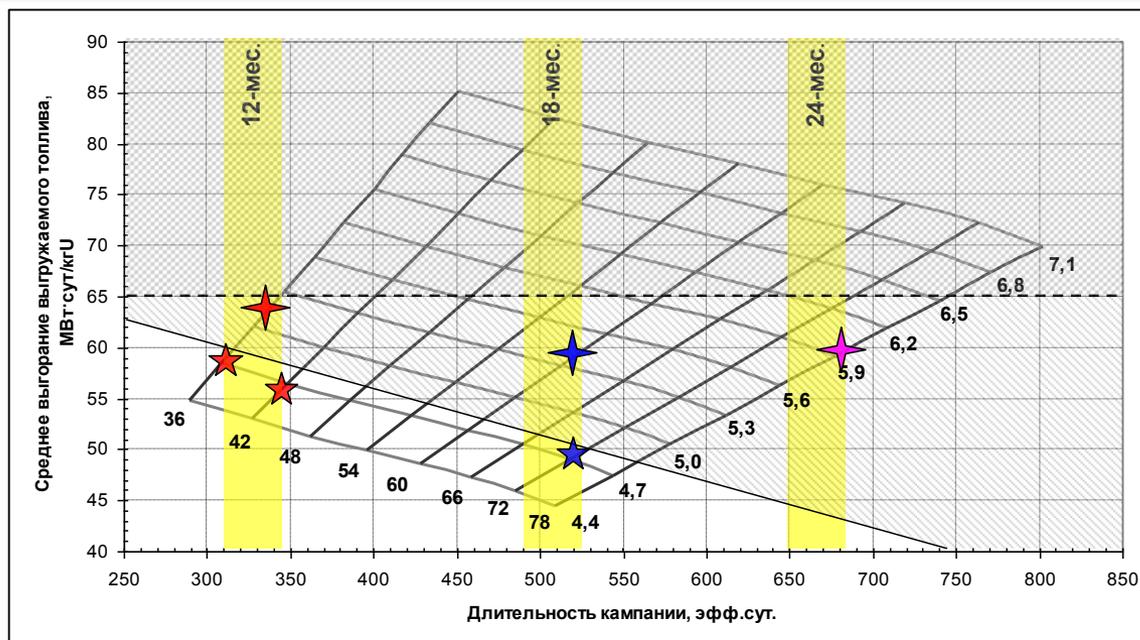
- Внедрение перемешивающих и интенсифицирующих решеток;
- разработка ТВС с улучшенной разборностью;
- Увеличение ураноемкости (ТВС-4) *;
- Внедрение АДФ второго поколения;
- Обоснование маневренного топлива;
- Совершенствование управления активной зоной с целью снижения активности теплоносителя при наличии первичного дефекта в ТВэле



* - Примечание. Требуется реализация решающей роли АО «Концерн Росэнергоатом» в получении референтного опыта

Задачи инновационного развития

- Внедрение топлива с начальным обогащением > 5% по U^{235} ;
- Разработка активных зон с REMIX и MOX-топливом;
- Разработка толерантного топлива



- Технология ВВЭР – надежная основа для успешного существования и развития «мирного» атома в ближайшей и среднесрочной перспективах
- Технология ВВЭР обладает значительным потенциалом развития при существующих требованиях к энергогенерирующим предприятиям
- Имеющиеся наработки позволяют реализовать эволюционное и инновационное направления развития атомной генерации на базе технологии ВВЭР
- В современных условиях для развития технологии ВВЭР определяющую роль играет успешная кооперация с инжиниринговой компанией – Генеральным проектантом и Заказчиком



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!