



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Научное руководство в развитии легководного направления атомной энергетики по проектам ВВЭР

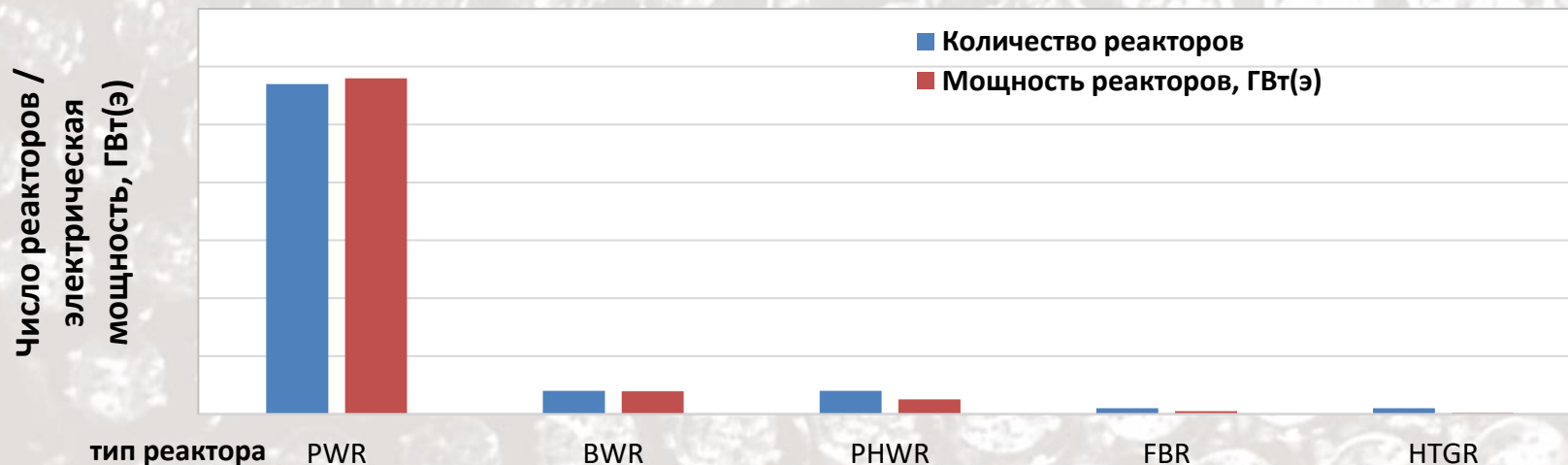
Ядерные реакторы в мире и России

Корпусные водоохлаждаемые реакторы в мире

Наибольшего успеха человечество добилось, сконцентрировавшись на одной реакторной технологии, сделав ее наиболее продвинутой и накопив наибольший объем знаний и опыта. Это корпусные водоохлаждаемые реакторы, которые сегодня (с учетом морской энергетики, эксклюзивно использующей реакторы PWR) составляют 95% реакторного парка мира.

Тип реактора	Число реакторов	Суммарная мощность, ГВт(э)	Доля в мировом реакторном парке, %	Число стран, где эксплуатируются
PWR	227	222,6	58	17
BWR	78	75,2	20	10
ВВЭР	55	41,1	11	10
Другие (PHWR, GCR, РБМК, FBR)	81	68,3	11	10

Количество и мощность строящихся в мире реакторов различного типа (на 31 декабря 2015 г. "Ядерные энергетические реакторы в мире", МАГАТЭ, IAEA-RDS2, 2016 Edition)



Возможности открытого топливного цикла

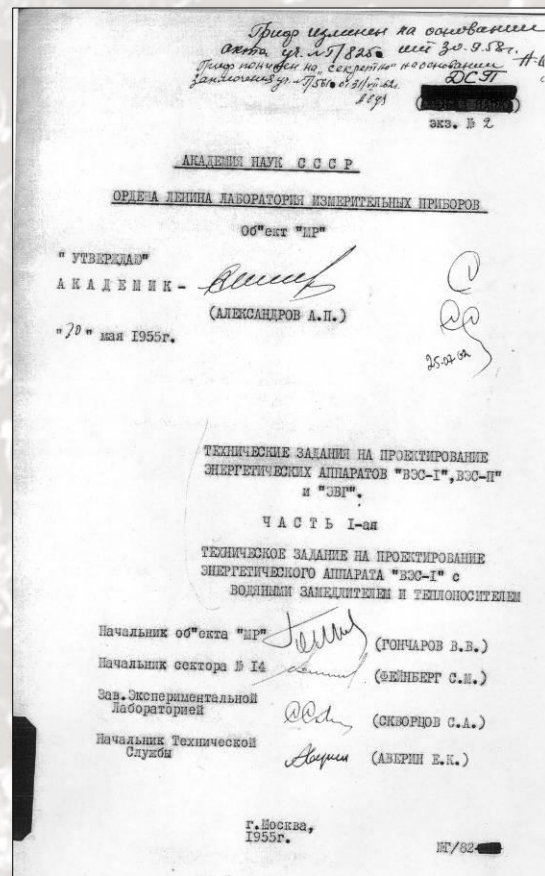
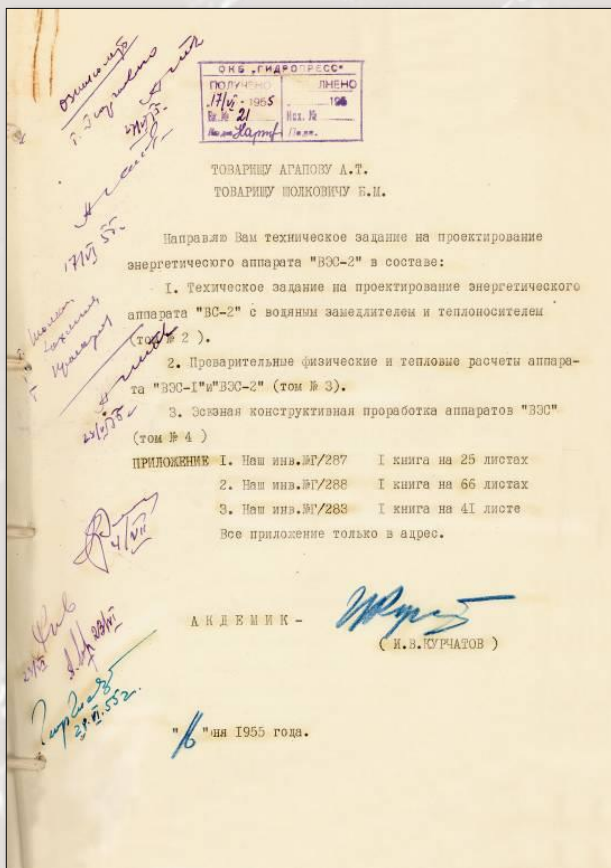
Российская сырьевая урановая база (с учетом прогнозных и предполагаемых ресурсов) составляет около 1–1,2 млн. тонн урана

Интегральное потребление природного урана при развитии ядерной энергетики России до 2050 г

Потребление природного урана, тыс. тонн	Сценарий		
	«Низкий» 100 ГВт	«Умеренный» 200 ГВт	«Высокий» 300 ГВт
Россия	400	530	660
Зарубежные АЭС	490	630	790

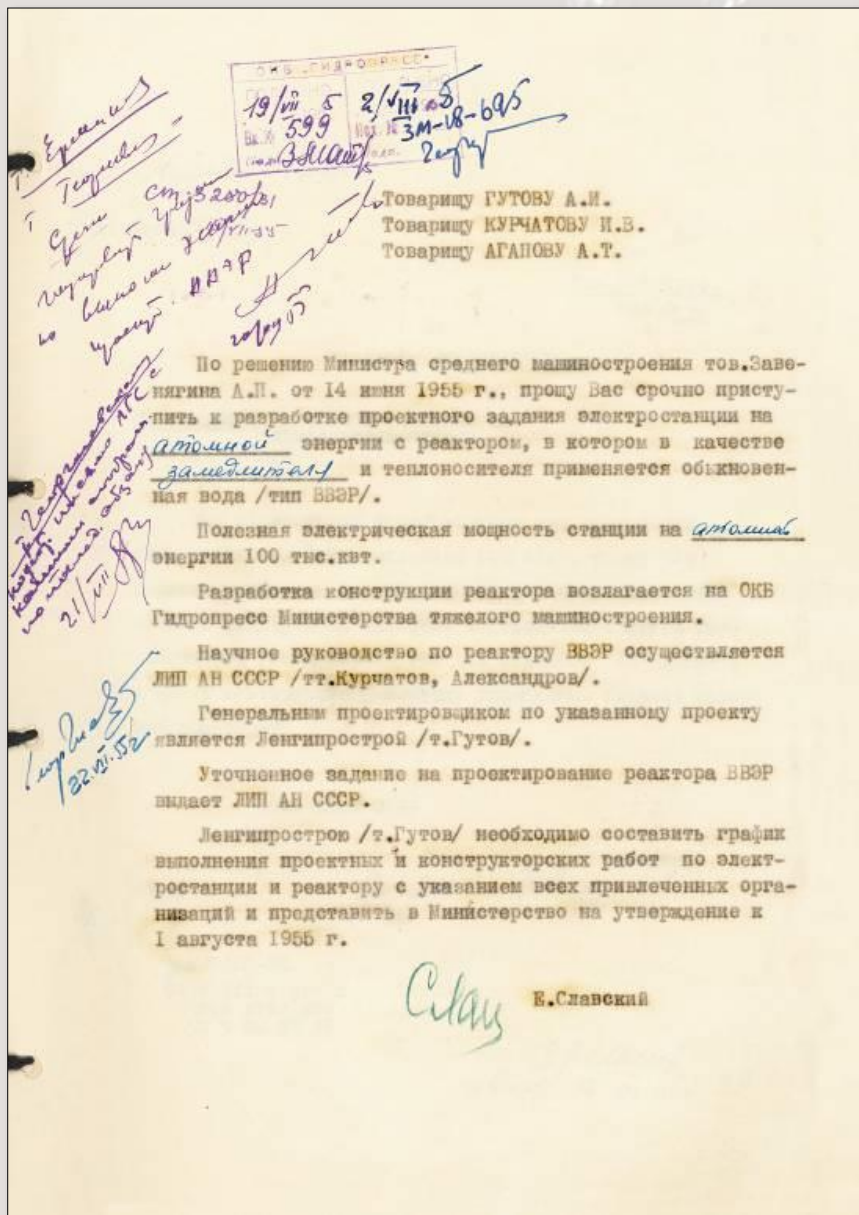
Область уверенного применения (с учетом зарубежных поставок) ограничивается суммарной мощностью АЭС 150–200 ГВт.

В 1954 г. в Лаборатории измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН) начата разработка ВВЭР-1



30 мая 1955г. А.П. Александровым утверждено **ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ** на проектирование энергетического аппарата ВВЭР (ВЭС-1).

16 июня 1955г. **ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ** направлено Генеральному проектировщику (Ленгипрострой) и Главному конструктору (ОКБ «Гидропресс»).



В 1954 г. в Лаборатории измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН) начата разработка ВВЭР-1

19 июля 1955г. дано поручение приступить к разработке ВВЭР-1.

Научным руководителем – ЛИП АН СССР (т. Курчатов, Александров), Генеральным проектировщиком – Ленгипрострой (т. Гутов).

Разработка конструкции реактора возложена на ОКБ «Гидропресс».

УЧ. КН-191

экз. № 1

ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
им. И. В. КУРЧАТОВА

Сектор №9

УТВЕРЖДАЮ
АКАДЕМИК *Александров*
(А. П. АЛЕКСАНДРОВ)
" 25 " февр 1967 г.

ИНВ. №: И-2265
" 3 Марта 67

НАЧАЛЬНИК СЕКТОРА №9 ОЯР
С. А. Скворцов (С. А. СКВОРЦОВ)
" 25 " февраль 1967 г.

СОГЛАСОВАНО
" " _____ 1967 г.
(В. В. ГОНЧАРОВ)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВВЭР-1000

С. А. СКВОРЦОВ
В. А. СИДОРЕНКО
В. Ф. ОСТАПЕНКО
А. Н. НОВИКОВ
А. С. ДУХОВЕНСКИЙ

г. Москва-1967 г.

В 1954 г. в Лаборатории измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН) начата разработка ВВЭР-1

25 февраля 1967 г. в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова А. П. Александровым утверждено предварительное техническое задание на проектирование ВВЭР-1000.

Институт «научного руководства» проблемой явился специфической особенностью организации исследований и разработок в «атомном проекте» Советского Союза, отличающий его от других крупных направлений техники, как например, кораблестроение, авиастроение, ракетостроение и другие.

В задачи научного руководства входило, особенно на первых этапах развития, решать все проблемы, по которым не было достаточных знаний, и отвечать на все вопросы, которые возникали в процессе разработки.

*Из книги В.А. Сидоренко
«История атомной энергетики Советского Союза и России», выпуск 2*

Основные направления работ Курчатовского института в области атомной энергетики

- научно-техническое сопровождение эксплуатации действующих АЭС;
- обоснование радиационной безопасности АЭС;
- разработка систем диагностики оборудования АЭС;
- разработка и обоснование методов и расчётных кодов анализа состояния РУ и энергоблока в целом;
- разработка концепций построения АЭС с ВВЭР нового поколения;
- обоснование продления срока службы АЭС;
- исследования по физике активных зон, теплофизике, теплогидравлике, прочности и надёжности элементов активных зон, топливному циклу и конструкции ТВС, химии теплоносителя;
- научное руководство при проектировании РУ и АЭС с ВВЭР.

На начальном этапе развития легководных реакторов решающее значение имело создание экспериментальной базы

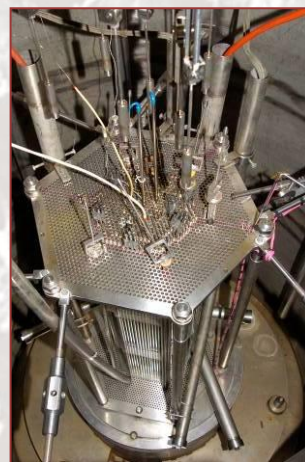
ВВЭРовская экспериментальная база НИЦ «Курчатовский институт»



ВВЭР-1000



Стенд П



СКфиз



КС



Гидра



Расплав

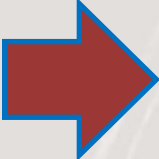


Цепочка горячих камер

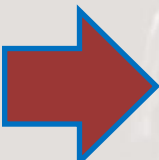
Компьютерные коды, разработанные и используемые в НИЦ КИ для обоснования безопасности

1. Нейтроника
Ядерная безопасность
Прецизионные и инженерные вычисления
2. Теплофизика
Термодинамика
Аварийные процессы
3. Радиационная безопасность
4. Механика и термомеханика
5. Радиохимические процессы
6. Анализ безопасности
7. Экономика и развитие
8. Процессинг
9. Коды для суперкомпьютера


Переход к ЗЯТЦ в ядерной энергетике России



Центральная стратегическая задача ядерной энергетики России – создание замкнутого топливного цикла для решения проблемы накопления ОЯТ и максимального использования сырьевого потенциала урана-238 и тория-232 на базе системы тепловых реакторов и быстрых бридеров.



Быстрые реакторы в одиночку не решают проблемы долгосрочного устойчивого развития ЯЭ России. Необходимо построение сбалансированной системы с тепловыми и быстрыми реакторами. Система ВВЭР и БН позволит обеспечить поддержку экспортного потенциала и расширение предложений ГК Росатом на внешнем рынке.



Многокомпонентность (двухкомпонентность – ВВЭР и БН) наряду с возможностями реализации различных топливных схем в реакторах создает широкие возможности маневра в структуре ядерного топливного цикла, которые могут в приемлемые временные периоды компенсировать возможные неудачи технологии или отклонение реального развития от намеченного сценария (т.е. компенсировать возможные риски).

Развитие направления ВВЭР

- **Расширение мощностного ряда;**
- **Повышение потребительской привлекательности (надежность, безопасность, маневренность, сейсмоустойчивость);**
- **Присутствие российской реакторной технологии на мировом рынке;**
- **Реализация топливно-ресурсного обеспечения с созданием оптимальной структуры ядерного топливного цикла (улучшение топливоиспользования, повышение коэффициента воспроизводства, вовлечение ресурсов тория, работа в ЗЯТЦ с БН);**
- **Увеличение ресурса и повышение эффективности преобразования энергии.**

Вывод:

Корпусные водоохлаждаемые реакторы – практическая основа промышленной ядерной энергетики в текущем столетии



Ядерные технологии для создания АЭС нового поколения

1

Методические системные исследования развития атомной энергетики, основ развития ядерных технологий и топливообеспечения.

2

Исследования в области совершенствования материалов для ядерной энергетики.

3

Исследования для поддержки эксплуатации действующих АЭС и повышения их характеристик.

4

Исследования в области развития инновационных реакторных установок.

5

Развитие технологий высокоскоростных расчетов.

Стратегические цели развития технологии ВВЭР

Дальнейшее
развитие технологии
ВВЭР



- актуализация проекта ВВЭР-ТОИ для повышения потребительской привлекательности и конкурентоспособности (надежность, безопасность, маневренность и т.д.)
- создание ВВЭР средней мощности
- созданию ВВЭР со спектральным регулированием для эффективной работы в открытом и замкнутом топливном цикле (до 2030 года)
- созданию ВВЭР-СКД с закритическими параметрами теплоносителя (совместно с GIV 2040 год)
- разработке новых конструкционных материалов для ВКУ и оболочек ТВЭЛОВ
- разработка толерантного топлива
- реализации топливно-ресурсного обеспечения с созданием оптимальной структуры ЯТЦ (улучшение топливоиспользования, повышение коэффициента воспроизводства) для встраивания в двухкомпонентную АЭ

Расширение сырьевой базы ВВЭР

- С начала эксплуатации до **2020** года из российских ВВЭР-1000/1200 выгружено **более 10000 ТВС**, в топливе которых содержится:
 - уран-235 в количестве 0.7 – 1.2 %,
 - плутоний в количестве 0.6 – 1.3% с содержанием делящихся изотопов в плутонии от 75% до 60%
- Выделенного из **ОЯТ ВВЭР-1000/1200** регенерированного урана будет достаточно для изготовления порядка **1800 РУТ ТВС**
- Выделенного из ОЯТ ВВЭР-1000/1200 плутония достаточно для изготовления порядка **1200 МОКС ТВС**
- Из-за необходимости компенсации U-236 обогащение по U-235 РУТ ТВС может превысить 5%
- Существует возможность многократного рецикла регенерированных материалов U и Pu в ЯТЦ ВВЭР-1000/1200 и **ВВЭР со спектральным регулированием (ВВЭР-С)**
- Замыкание ЯТЦ в реакторах ВВЭР/**ВВЭР-С** позволяет экономить до 30% сырьевой базы соответственно

Повышение обогащения топлива выше 5%

Повышение обогащения свыше 5% обеспечит:

- в 18-месячном цикле
 - снижение количества ТВС подпитки на 15–20 %,
 - увеличение выгорания топлива примерно на 20% до уровня порядка 60 МВт·сут/кг,
 - снижение топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии на 6–9 %,
- реализацию полноценного 24-месячного топливного цикла с длительностью кампании порядка 670 эфф. сут.
- возможность использования регенерированного урана без увеличения количества ТВС подпитки
- открывает возможность для использования толерантных оболочек ТВЭЛ без циркония

В качестве выгорающего поглотителя предлагается использовать эрбий, что позволит:

- обеспечить ядерную безопасность при изготовлении ТВС и обращении с ними на АЭС без изменения существующей технологии,
- выполнить с запасом проектные требования к показателям энергораспределения в активной зоне.



Заключительные положения

- Развитие ядерной энергетики России до середины века обеспечено доступными ресурсами делящихся материалов;
- Технологический потенциал обеспечивает требуемые масштабы развития ядерной энергетики на длительную перспективу;
- Коммерческий заказ для ядерно-энергетического сектора экономики в ближайшие 20 лет будет сосредоточен на технологии ВВЭР;
- Уже сегодня должен быть начат переход к двухкомпонентной ядерно-энергетической системы ядерной энергетики страны с внедрением в существующую структуру быстрых реакторов и отработкой базовых компонентов ее ядерного топливного цикла;
- Освоение новых технологических направлений должно опираться на развитие научных исследований, совершенствование экспериментальной базы и сохранение возможностей международной кооперации

**Спасибо
за внимание!**