



НИКИЭТ
РОСАТОМ

Полувековая история эксплуатации реакторов РБМК. Создание. Модернизации. Современность.

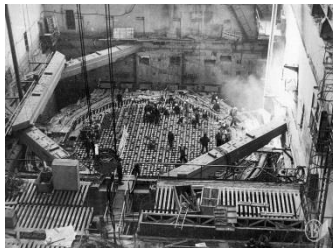
МНТК АО «НИКИЭТ»
14-17.11.2023

Слободчиков Алексей Владимирович
Заместитель генерального директора по
проектированию, главный конструктор ЭКРУ и
оборудования крупномасштабной энергетики

История создания РБМК



НИКИЭТ
РОСАТОМ



1954 г. – в Обнинске начал функционировать демонстрационный уран-графитовый водоохлаждаемый реактор

1948 г. - Первый советский промышленный уран-графитовый реактор

29 сентября 1966 г. – Постановление СМ СССР №800-252 «О разработке проекта и сооружении первых очередей Ленинградской и Курской АЭС»



1964 г. - Работы над проектом нового реактора РБМК были развернуты в ИАЭ (сейчас – РНЦ КИ) и в НИИ-8 (сейчас – НИКИЭТ)



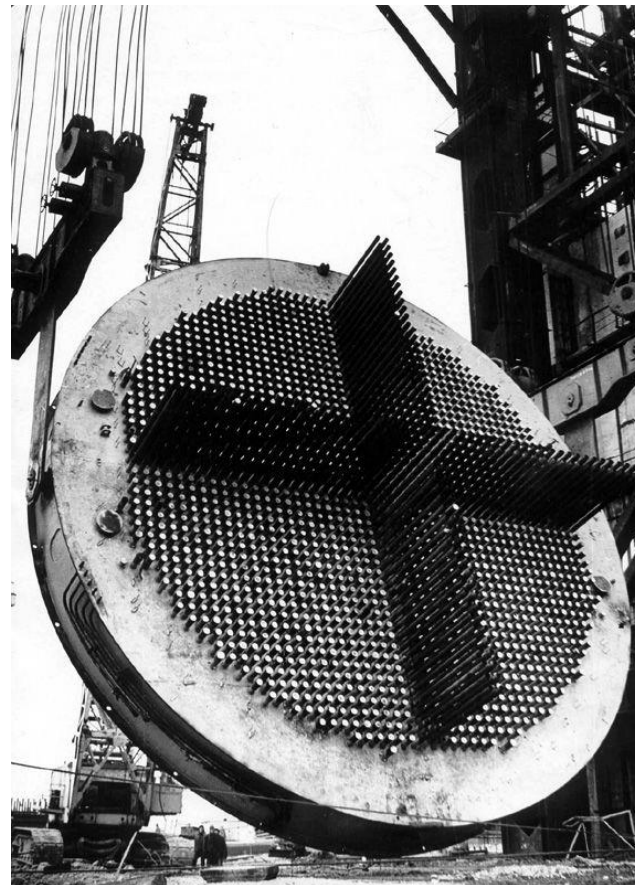
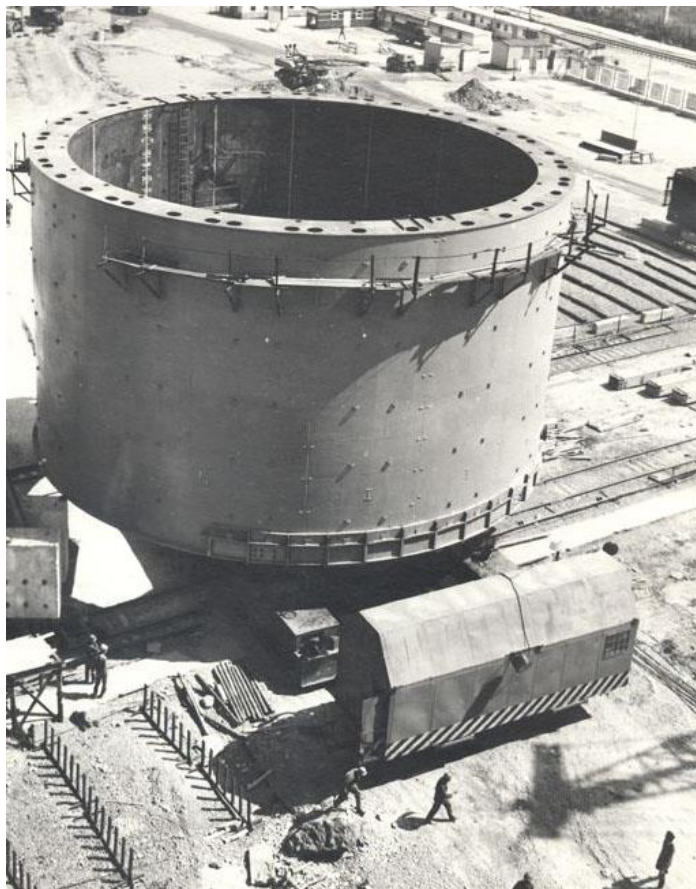
1973 г. - физический и энергетический пуск 1-го реактора **РБМК** (ЛАЭС-1)



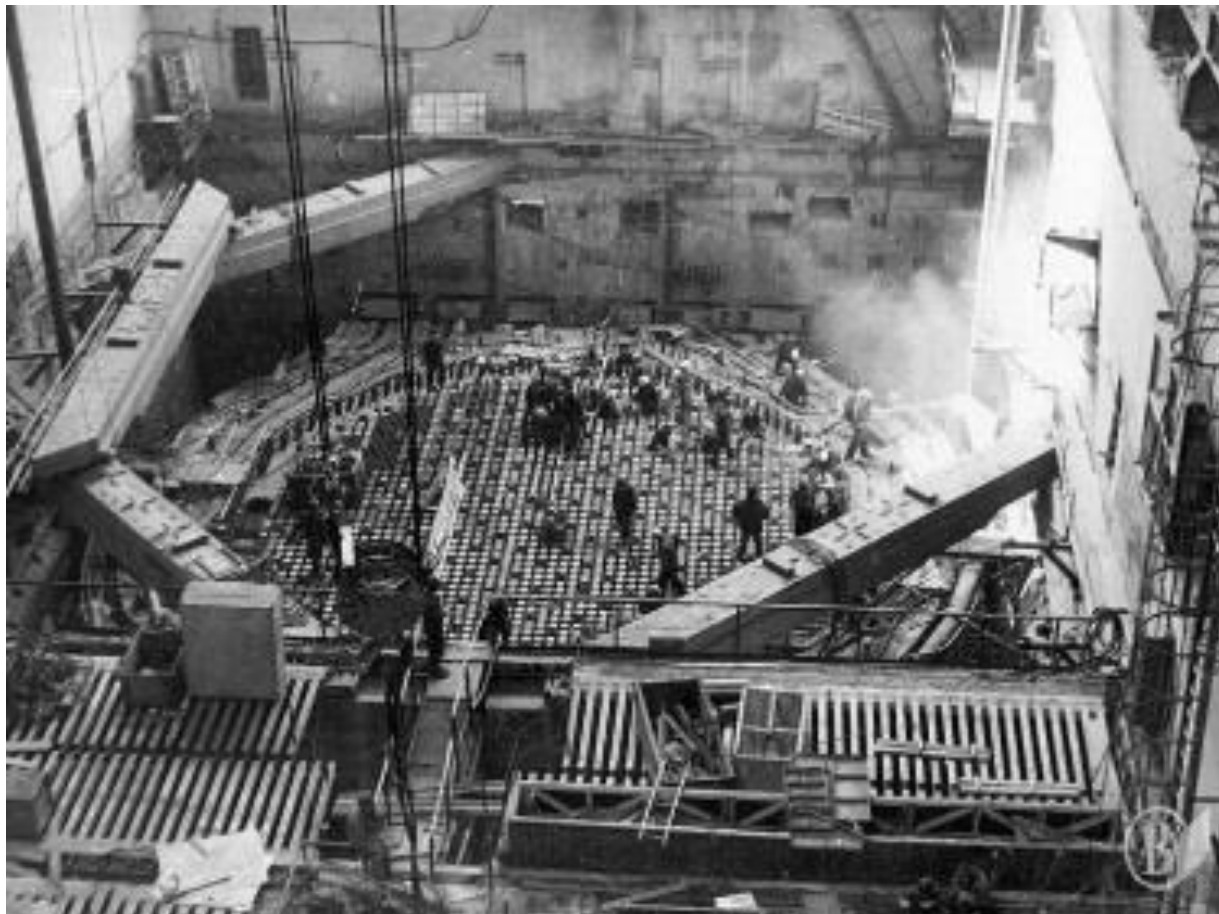
Металлоконструкции реактора



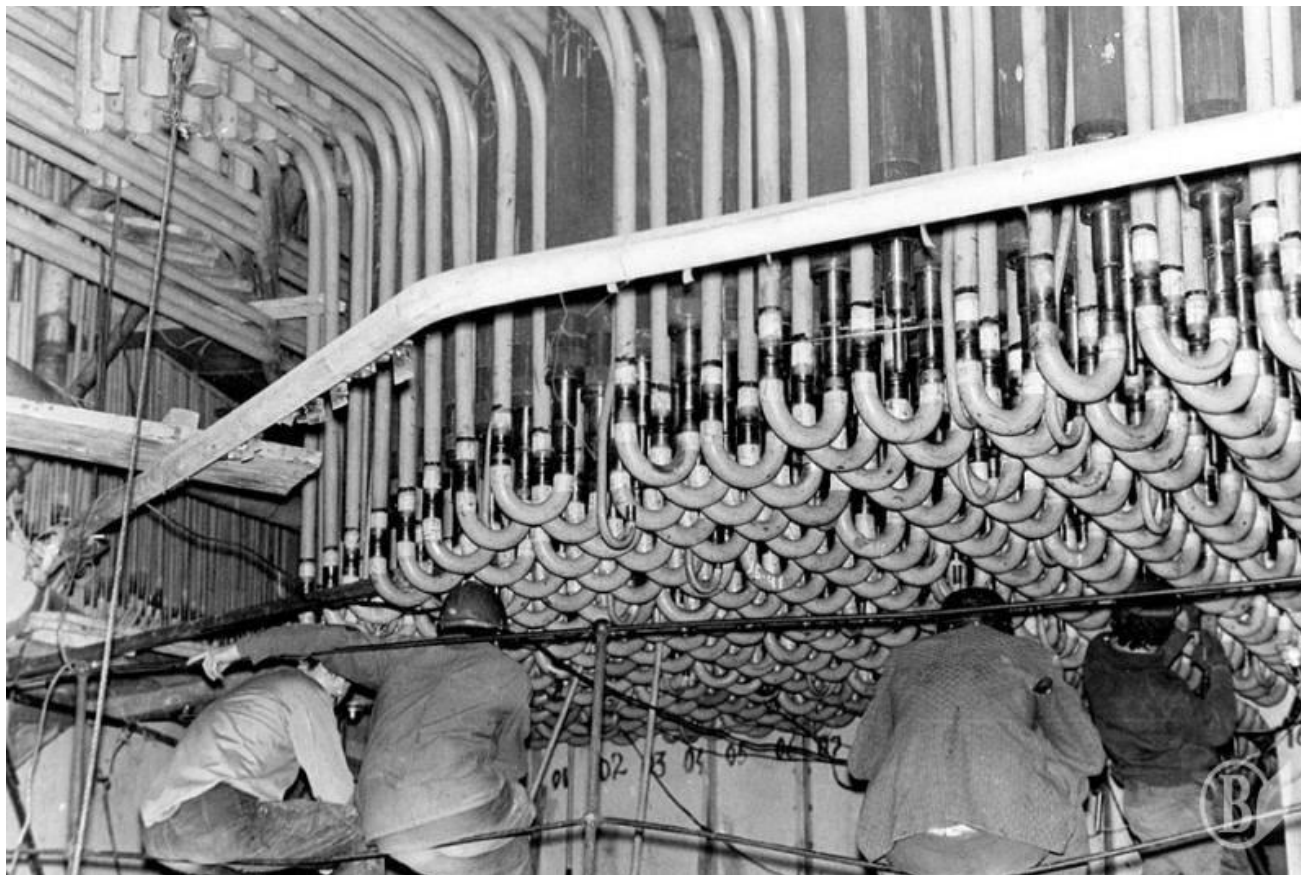
НИКИЭТ
РОСАТОМ



Металлоконструкции реактора



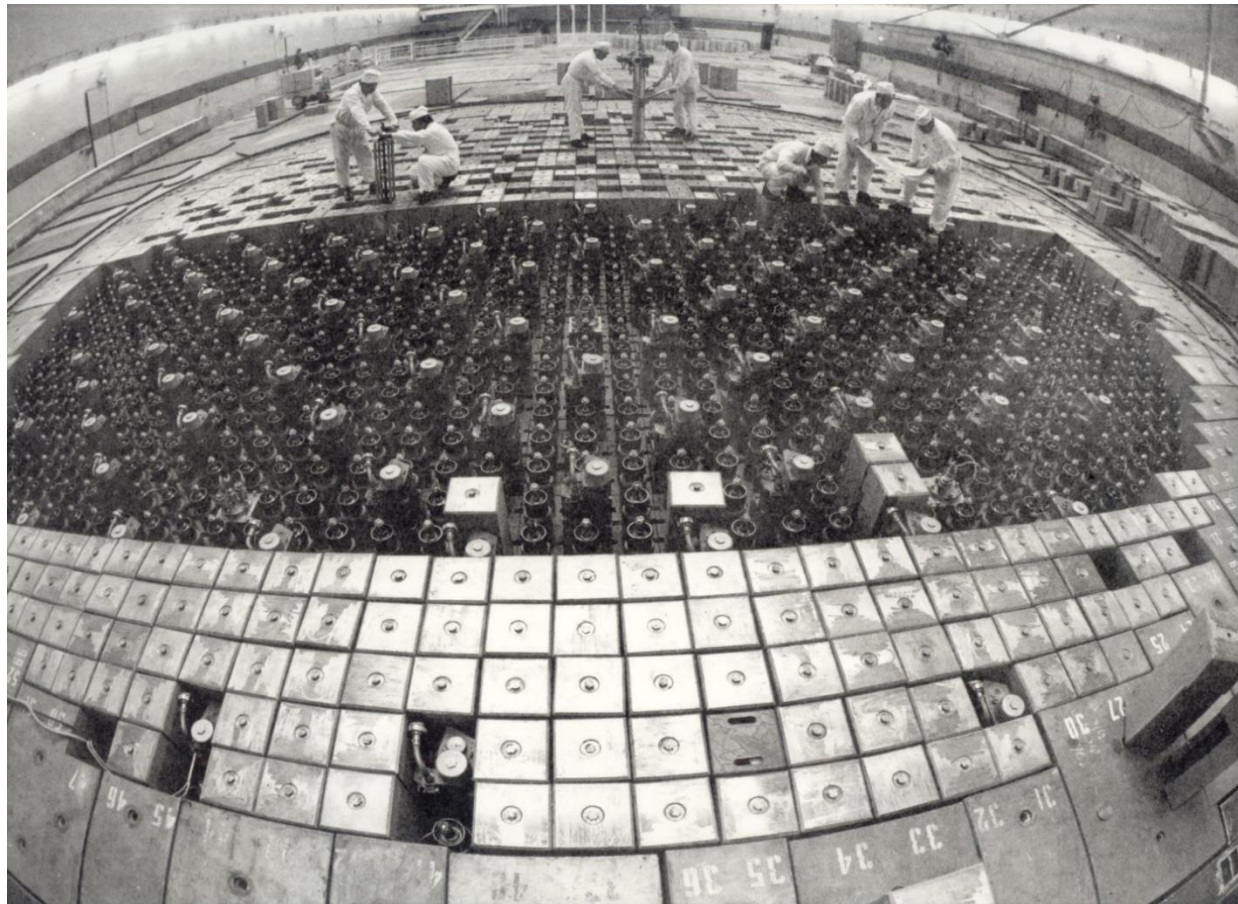
Нижние водяные коммуникации



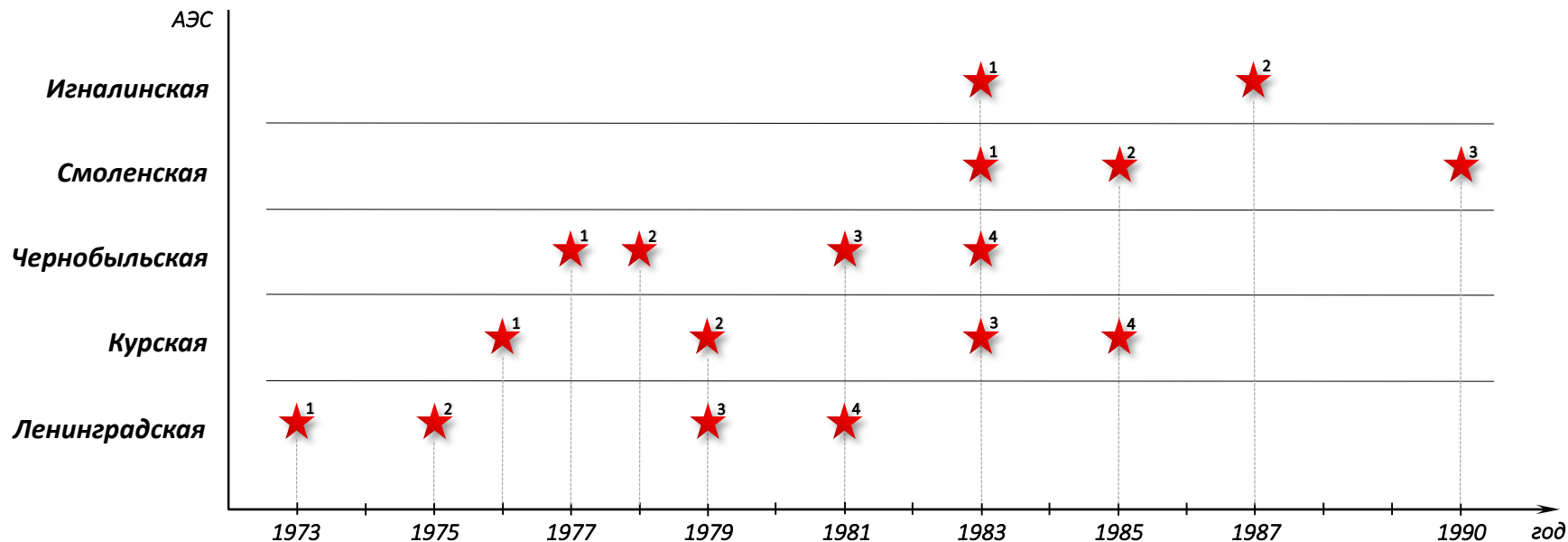
В реакторном пространстве



Плато реактора

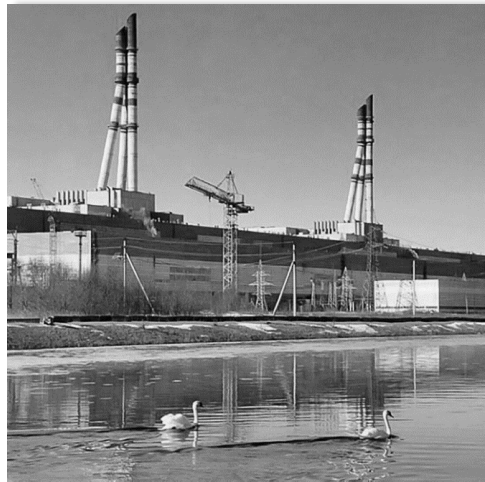


Ввод в эксплуатацию канальных ядерных энергетических реакторов



С 1973 по 1990 год в эксплуатацию введено 17 энергоблоков с реакторами РБМК суммарной мощностью 18000 МВт, в том числе два реактора РБМК-1500 на Игналинской АЭС.

Игналинская АЭС – самые мощные энергоблоки в мире

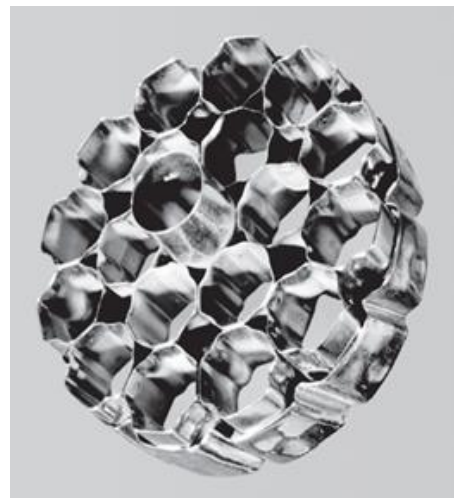


Тип реактора: РБМК-1500

Ввод в эксплуатацию: 31 декабря 1983 г.

Остановлена: 31 декабря 2009 года

*За время эксплуатации оба энергоблока выработали
307,9 млрд кВт*ч электроэнергии*



Авария на Чернобыльской АЭС – 26 апреля 1986 г.



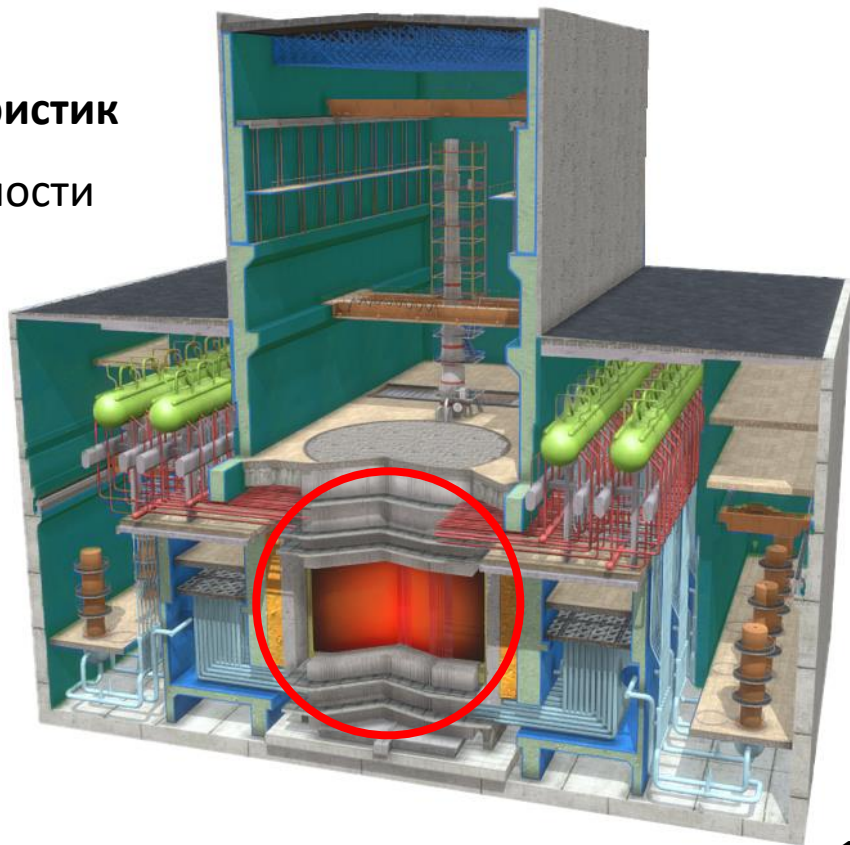
Модернизации реакторов РБМК

Улучшение нейтронно-физических характеристик

1. Увеличение оперативного запаса реактивности до 45 стержней РР

2. Установка в активную зону стержней дополнительных поглотителей ~ 80 шт.

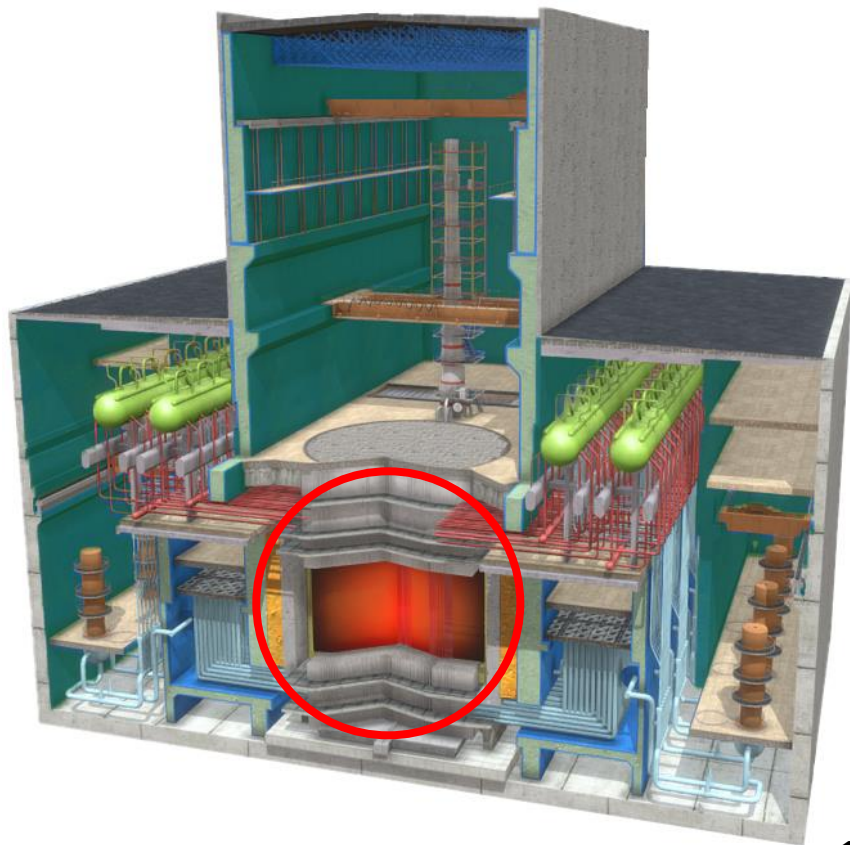
3. Поэтапный перевод реакторов на топливо с повышенным обогащением с использованием выгорающего поглотителя (^{235}U 1,8%) $\rightarrow$ (^{235}U 2,8%) + (Er 0,6%)



Модернизации реакторов РБМК

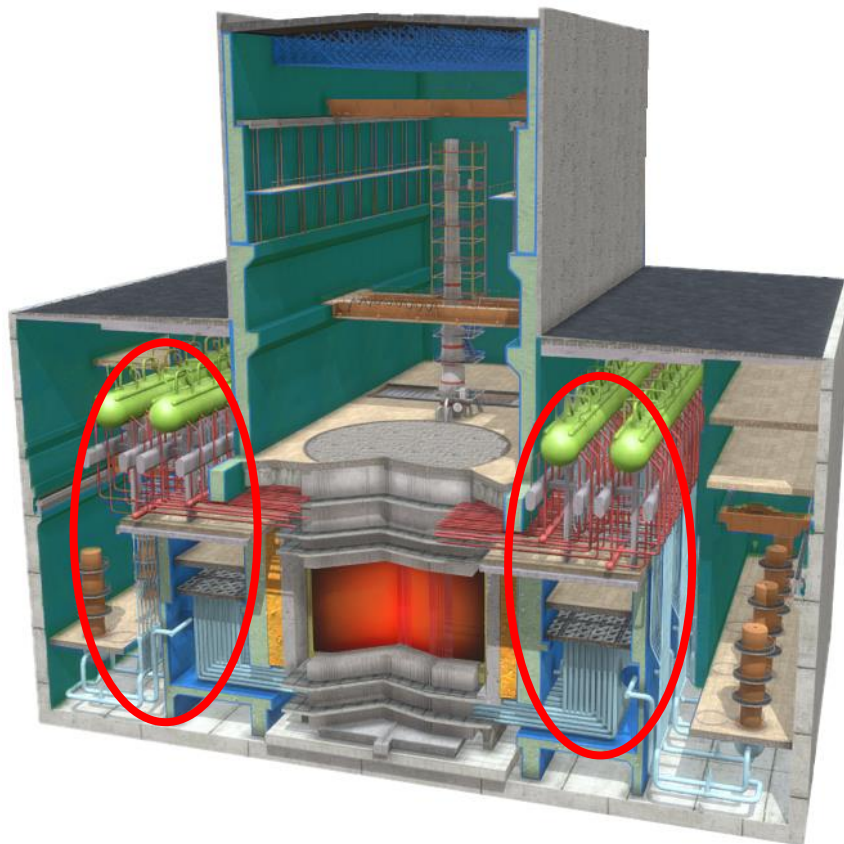
Повышение эффективности систем аварийного останова реактора

1. Оснащение всех реакторов быстрой аварийной защитой (введение отрицательной реактивности $2\beta_{эф}$ за 2,5 с)
2. Внедрение кластерных регулирующих органов и стержней АЗ повышенной проходимости (снижение эффекта обезвоживания контура СУЗ с 4 до $\sim 1\beta_{эф}$)



Модернизации реакторов РБМК

1. Увеличение пропускной способности системы аварийного сброса пара из реакторного пространства
2. Модернизация системы аварийного охлаждения реактора
3. Внедрение автоматизированных систем диагностики металла основного оборудования и трубопроводов контура циркуляции (АСОТТ)



Модернизации реакторов РБМК



1. Модернизация систем контроля, управления и защиты и управляющих систем безопасности (КСКУЗ, УСБ-Т, СКАЛА)
2. Введение дополнительных автоматических аварийных защит и исключение возможности их несанкционированного отключения
3. Корректировка проектно-эксплуатационной документации (технологический регламент, РУЗА, СОАИ)
4. Модернизации блочных щитов управления

Дополнительная оценка и повышение безопасности после аварии на АЭС «Фукусима-1»

Повышение «живучести» энергоблоков с РБМК за счет оборудования, работающего при нормальной эксплуатации

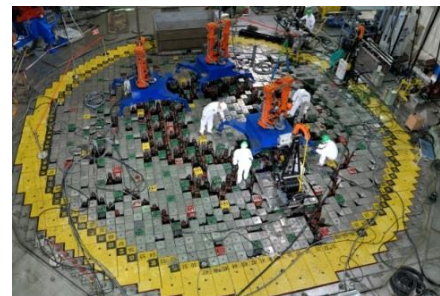
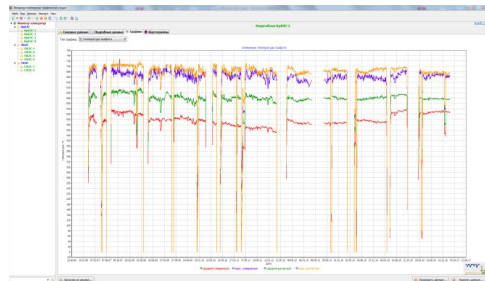
Своевременный сброс давления в контуре циркуляции

Использование для охлаждения реактора воды в деаэраторах

Отвод части тепла за счет «воздушного охлаждения» трубопроводов ПВК

Наиболее эффективное средство исключения тяжелого повреждения активной зоны реактора, в случае аварии с длительной потерей всех источников энергоснабжения - **включение в процесс аварийного охлаждения реактора мобильной техники** (передвижных дизель-генераторных и насосных установок). Мобильными средствами укомплектованы все АЭС с РБМК.





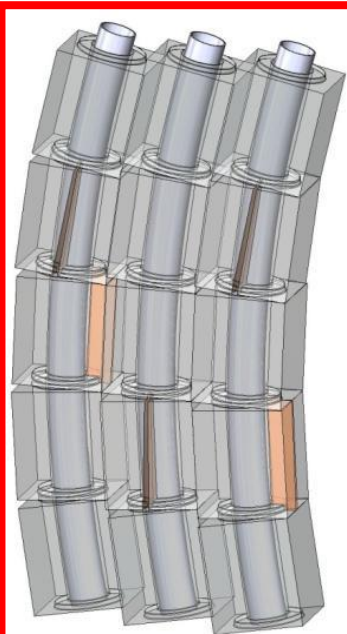
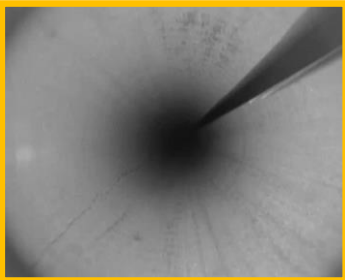
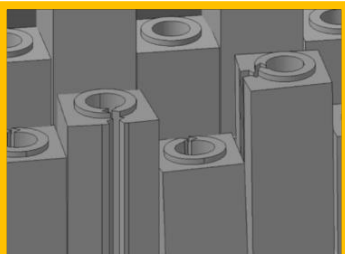
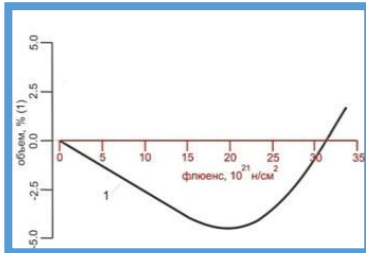
Процесс формоизменения графитовой кладки

Переход графита
в стадию распухания

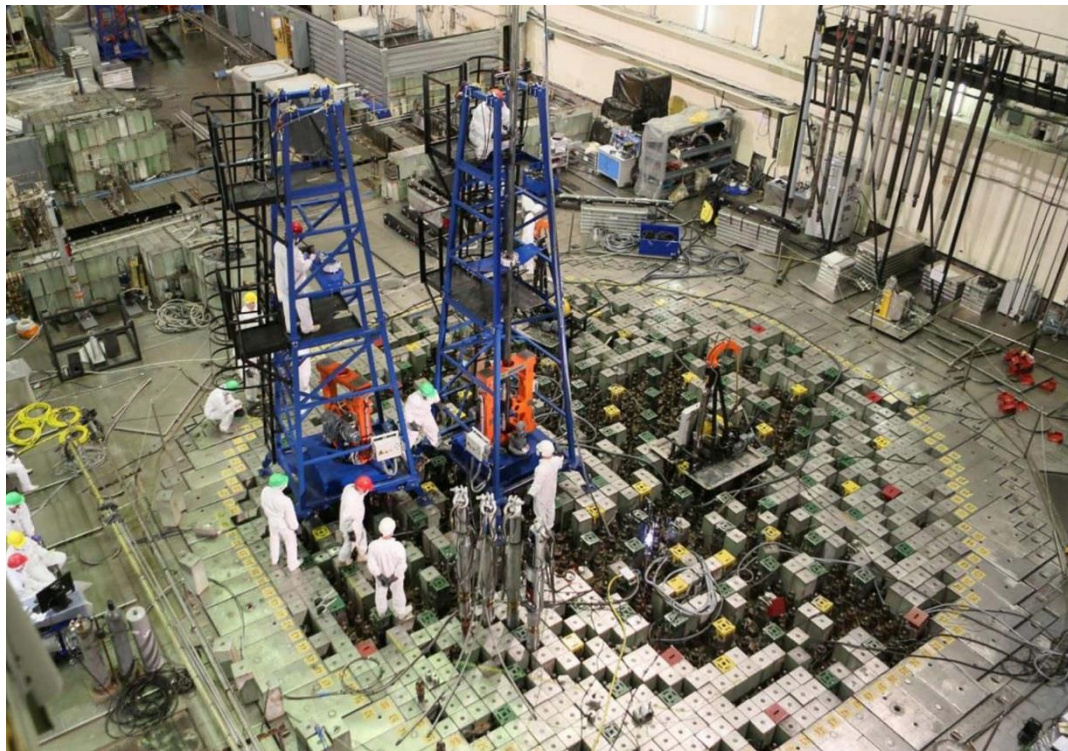
Растрескивание
графитовых блоков

Искривление
графитовых
колонн

Выполнение ремонтных операций.
Резка графитовых блоков и
уменьшение стрелы прогиба



Управление ресурсными характеристиками графитовых кладок РБМК



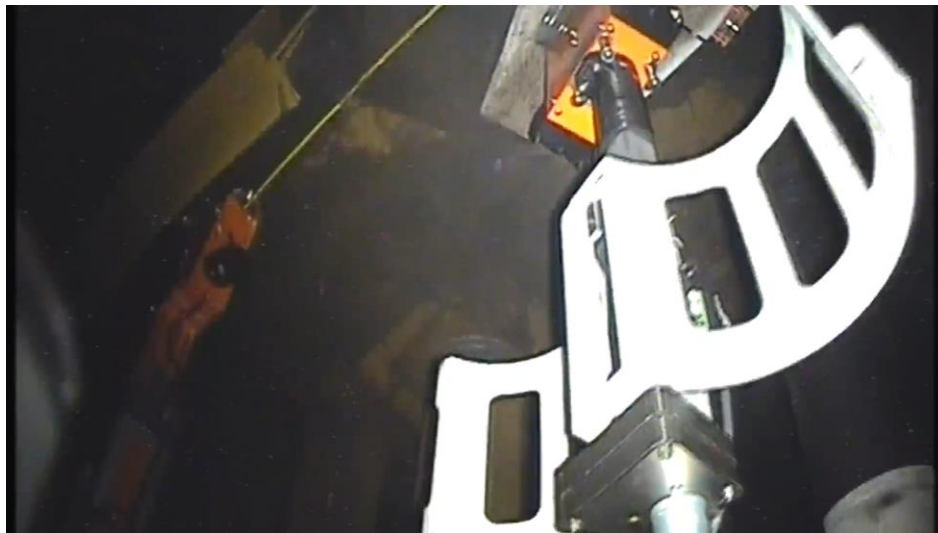
С 2013 года на энергоблоках РБМК-1000 реализовано 38 этапов ремонтных кампаний по управлению ресурсными характеристиками графитовых кладок, в ходе которых суммарно разрезано порядка 4800 графитовых колонн.

Применение робототехнических комплексов

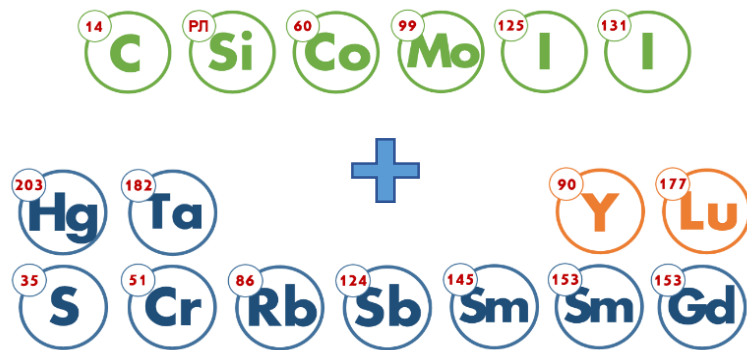
- ✓ *Измерение величины зацепления ТСТ*
- ✓ *Восстановление величины зацепления ТСТ*
- ✓ *Измерение зазора «ГК-КЖ»*
- ✓ *Восстановление зазора «ГК-КЖ»*
- ✓ *Резка графитовых колонн*



Системы контроля и робототехнические комплексы



Расширение перечня изотопной продукции



○ имеется опыт наработки ○ наработка обоснована ○ наработка возможна

Организация производства Co-60

ЛАЭС	46 ДП	}	Всего 215 стержней ДП
КуАЭС	62 ДП		
САЭС	107 ДП		

Росатом обеспечивает

>20%

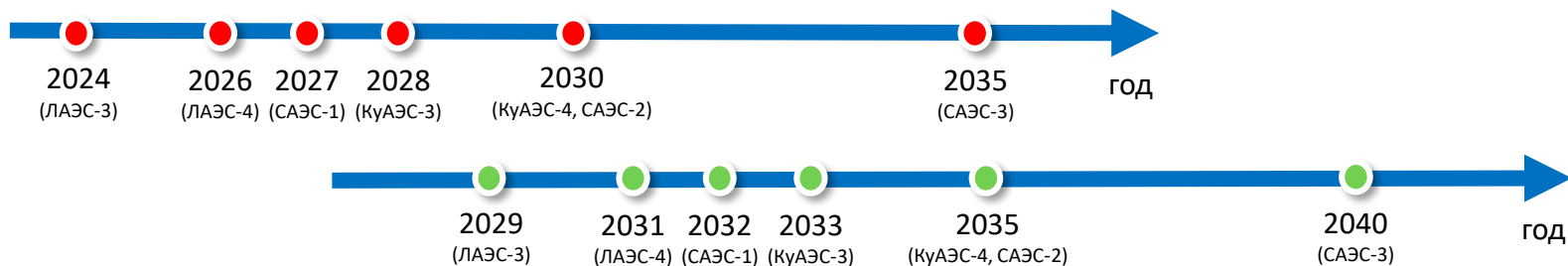
мирового потребления ^{60}Co

Повторное продление срока эксплуатации РБМК до 50 лет



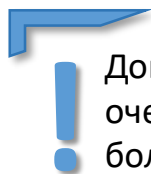
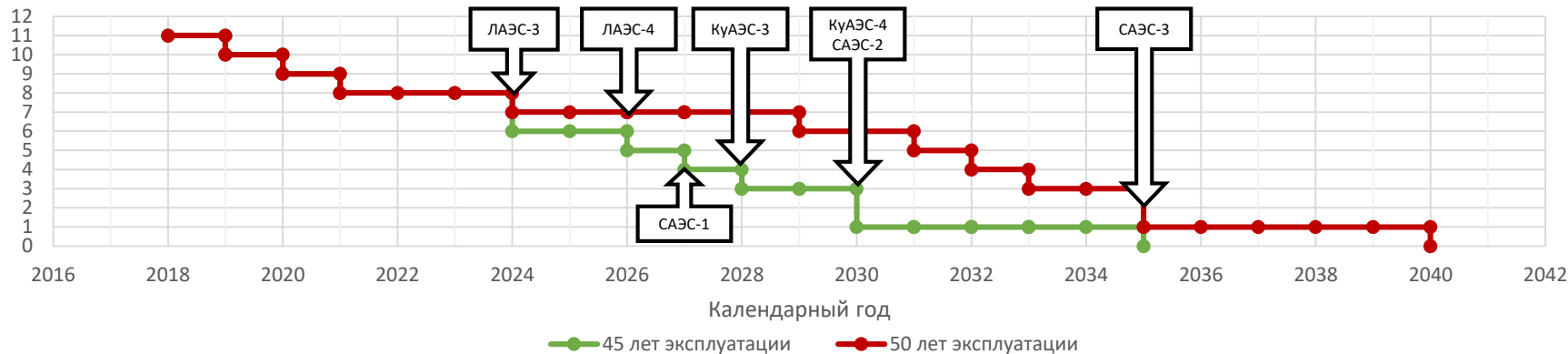
1. **Повторное (дополнительное) продление срока эксплуатации энергоблоков с реакторами РБМК не противоречит** требованиям действующих ФНП
2. **Отсутствуют принципиальные ограничения для продления срока эксплуатации** энергоблоков с реакторами РБМК-1000 до 50 лет с точки зрения работоспособности элементов РУ (ГК, ТК, КСУЗ, МК, трубопроводы, спецсистемы и др.).
3. **Технические мероприятия** для поддержания эксплуатации энергоблоков с реакторами РБМК-1000 **до 45 лет** (ВРХ, восстановление ТСТ, управление ПКР) **аналогичны** требуемым мероприятиям для продления **до 50 лет**.
4. **Ограничения к продлению срока службы в части обоснования безопасности РУ отсутствуют.**

Вывод из эксплуатации (45 лет)



Вывод из эксплуатации (50 лет)

Продление энергоблоков с РУ РБМК-1000 – экономический эффект



Дополнительная выручка от продления вторых очередей РБМК на пять лет составит более 350 млрд. руб.



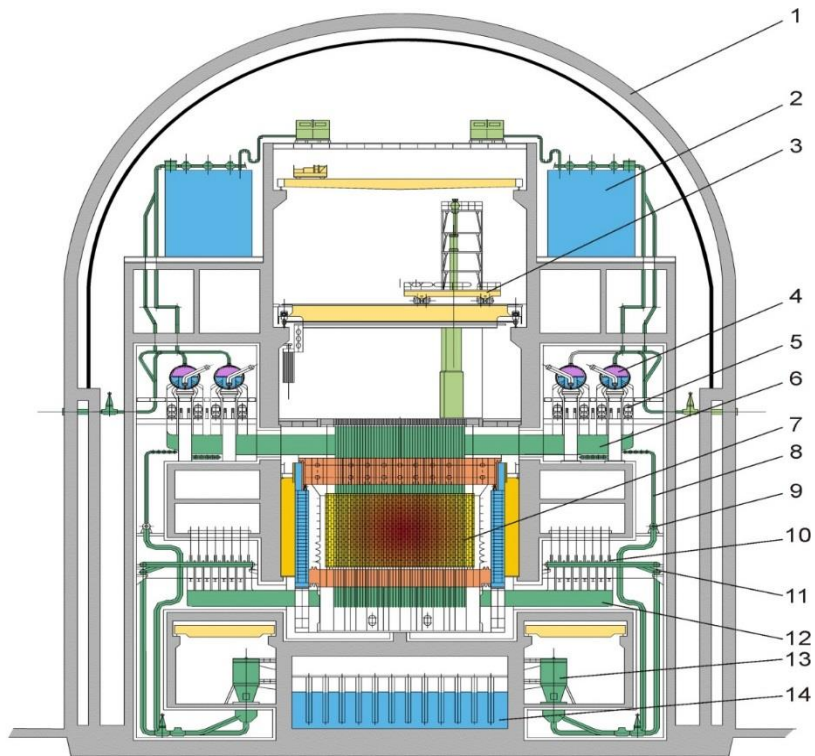
Доля РБМК в энергоснабжении страны и атомной отрасли



1. В настоящее время **доля АЭС с реакторами РБМК-1000 в атомной генерации России составляет более 25 %**.
2. По результатам 2022 г. энергоснабжение на энергоблоке № 3 Ленинградской АЭС составила **275,87 млрд. кВт*ч – 1 место в России**.
3. В 2017 г. суммарная энергоснабжение всех блоков **ЛАЭС – 1 трлн. кВт*ч**.



Канальный уран-графитовый реактор типа МКЭР как один из примеров эволюционного развития РБМК



- 1 - контеймент, 2 - бак СПР, 3 - РЗМ, 4 - барабан-сепаратор, 5 - короб КГО,
6 - коммуникация пароводяная, 7 - реактор, 8 - трубопровод опускной,
9 - коллектор всасывающий, 10 - РГК, 11 - коллектор напорный,
12 - коммуникация водяная, 13 - ГЦН, 14 - бассейн-барботер

Характеристика	МКЭР-800	МКЭР-1000	КР-300
Электрическая мощность, МВт	800	1068	300
Тепло на теплофикацию, МВт	105	130	-
КПД (нетто)	33,5	34,0	33,0
Топливо	UO ₂	UO ₂	UO ₂ *

* Производство изотопов медицинского назначения

Заключение

- 1. С 1973 по 1990 год в эксплуатацию введено 17 энергоблоков с реакторами РБМК суммарной мощностью 18000 МВт, в том числе два реактора РБМК-1500 на Игналинской АЭС.**
- 2. Суммарная энерговыработка на АЭС с РБМК в России (РСФСР) составляет более 3346 млрд кВт*ч.**
- 3. В течение всего жизненного цикла выполнялась глубокая модернизация реакторов.**
- 4. Разработаны и внедрены уникальные технологии по мониторингу эксплуатационных параметров и ремонтов с применением обширного парка робототехнических комплексов и высокоточных систем.**
- 5. В различные годы вклад АЭС с РБМК в атомную генерацию России составлял от 25,35% до 43,4 %.**
- 6. Уникальные конструктивные особенности канальных реакторов позволяют реализовывать широкий спектр сопутствующих задач без ограничения установленной мощности.**

Спасибо за внимание

Слободчиков Алексей Владимирович
Заместитель генерального директора по
проектированию, главный конструктор ЭКРУ и
оборудования крупномасштабной энергетики

