



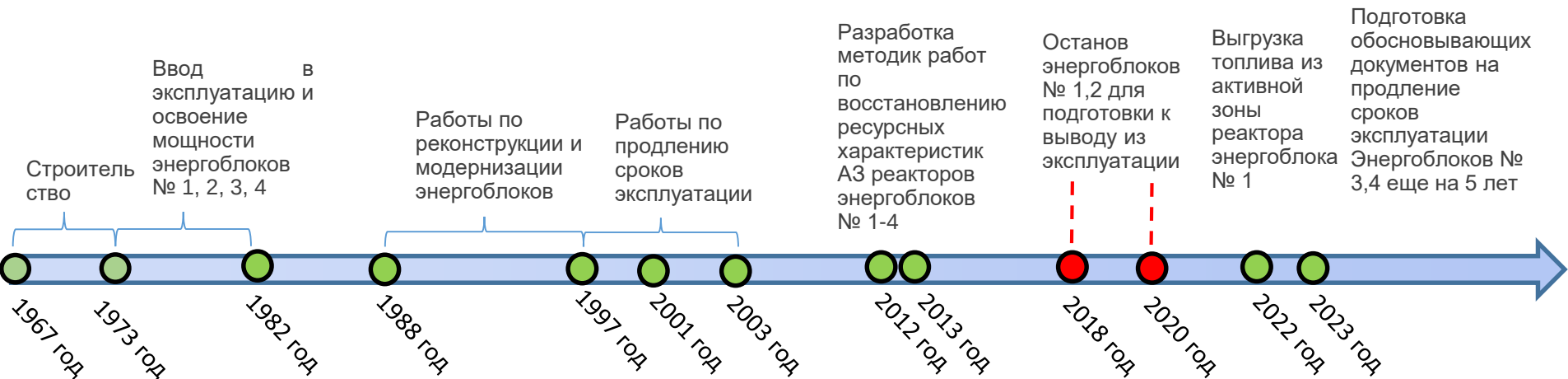
РОСЭНЕРГОАТОМ
ROSATOM

Ленинградская АЭС: 50-летний опыт эксплуатации энергоблоков с реакторами РБМК-1000

Жемчугов Валерий Геннадьевич

Главный инженер
филиал АО «Концерн Росэнергоатом»
«Ленинградская атомная станция»

Основные этапы жизненного цикла Ленинградской АЭС.



Безопасная эксплуатация энергоблоков РБМК

Принятие решения о строительстве Ленинградской АЭС

29 ноября 1966 года Советом Министров СССР принято постановление № 800-252 о строительстве первой очереди ЛАЭС, определена организационная структура, сроки и кооперация предприятий для разработки проекта и сооружения АЭС:

Научный руководитель – А.П. Александров (ИАЭ им. И. В. Курчатова);

Генеральный проектировщик – А.И. Готов (ВНИПИЭТ);

Главный конструктор реакторной установки – Н.А. Доллежал (НИИ-8);

Главный конструктор турбоустановки – Ю.Ф. Косяк (ХТГЗ).

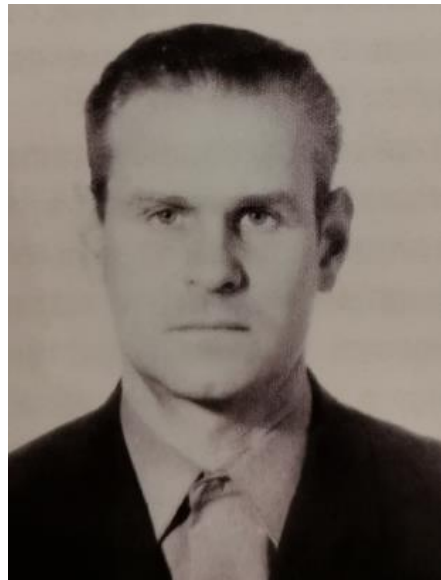
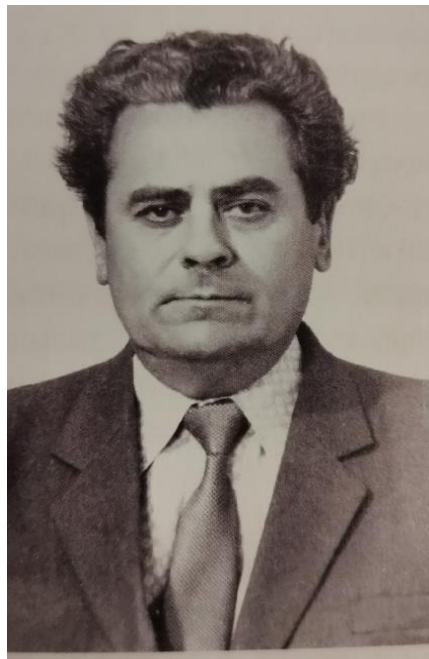


Проект Б-190 (РБМК)

Первоначальное название проекта реактора было Б-190. Основная тяжесть разработки и координации работ легла на объектовый отдел № 4 НИИ-8 и его начальника **Полушкина К.К.**

Видными организаторами при выполнении столь амбициозной задачи также были:

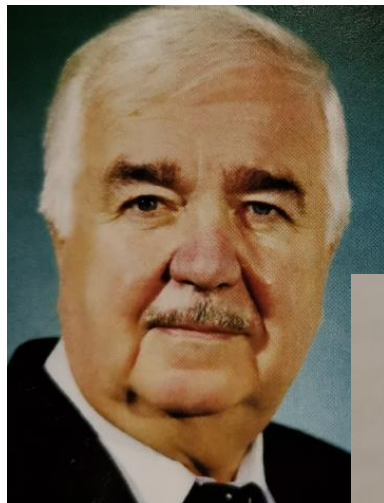
Местергази М.М. Заместитель начальника отдела № 4. На плечи Мая Михайловича легла неблагодарная и скрупулезная договорная работа в условиях огромного количества отчетных материалов, большого числа смежных отделов и предприятий.



Проект Б-190 (РБМК)

Черкашов Ю.М. В составе группы конструкторов работал на заводе «Большевик» над частью технического проекта первого варианта РБМК (Б-190). Участвовал в петлевых испытаниях каналов и ТВС РБМК, а затем и в монтаже первых ТК в активную зону энергоблока № 1.

Клементьев Ю.Н. руководитель группы авторского надзора за монтажом реакторов РБМК. Скомплектованная им группа обеспечивала постоянное сопровождение монтажа реакторной установки 1-го энергоблока Ленинградской АЭС от начала укрупнения опорных металлоконструкций до пуска энергоблока в декабре 1973г.



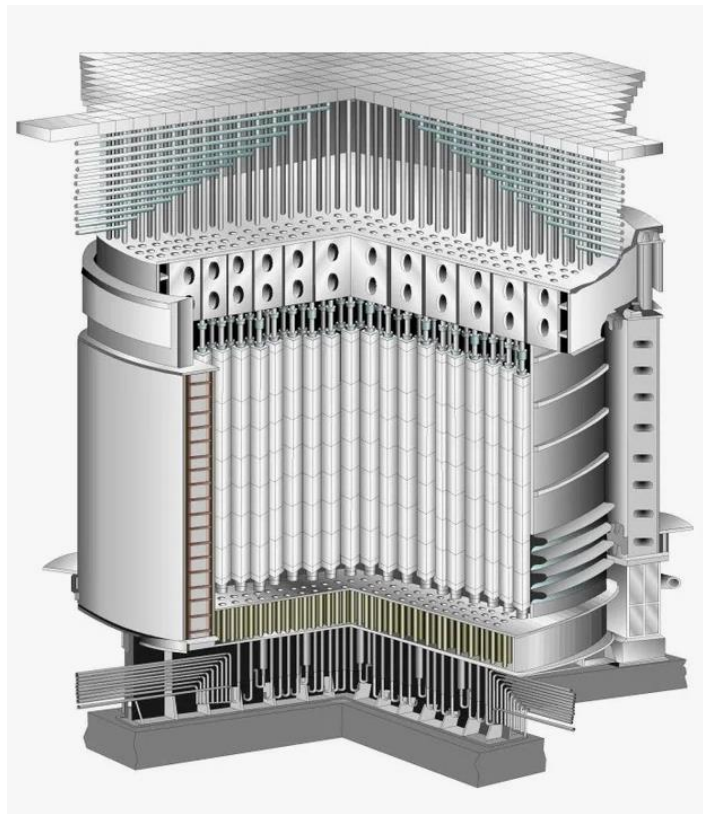
Проект Б-190 (РБМК)

Учитывая поставленные сроки разработки проекта, а также многоплановость и новаторство поставленной задачи, разработка проекта РБМК без преувеличения является трудовым подвигом коллектива НИИ-8 и отдела № 4.



Строительство Ленинградской АЭС

29 июня 1967 года Научно-технический совет Министерства среднего машиностроения одобрил технический проект реактора РБМК-1000, представленный НИКИЭТ. Это был новый тип реактора, не имеющий аналогов в мире. В его основу были положены идеи и опыт эксплуатации Первой в мире АЭС в Обнинске, реакторов АМБ Белоярской АЭС.



Строительство Ленинградской АЭС

В мае 1967 года на промышленной площадке Соснового Бора были определены контуры под главное здание первой очереди будущей атомной электростанции и бетонной дороги вокруг него.

Первый ковш земли из котлована под фундамент главного здания будущей Ленинградской АЭС экскаватор поднял **6 июля 1967 года**. Часть вынутого грунта размещали на берегу между заливом и котлованом. Получилась своеобразная дамба, которая отгораживала станцию от взглядов с другой стороны Финского залива.



Строительство Ленинградской АЭС

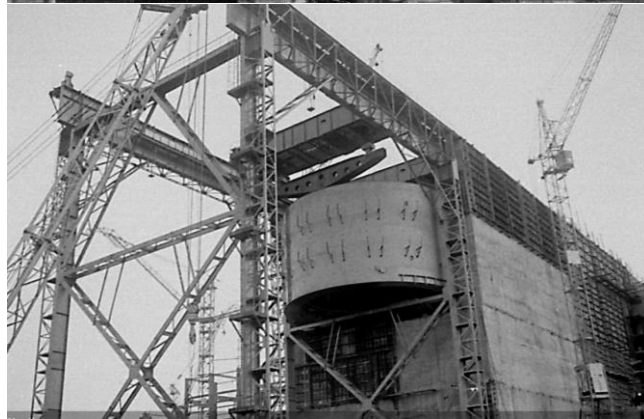
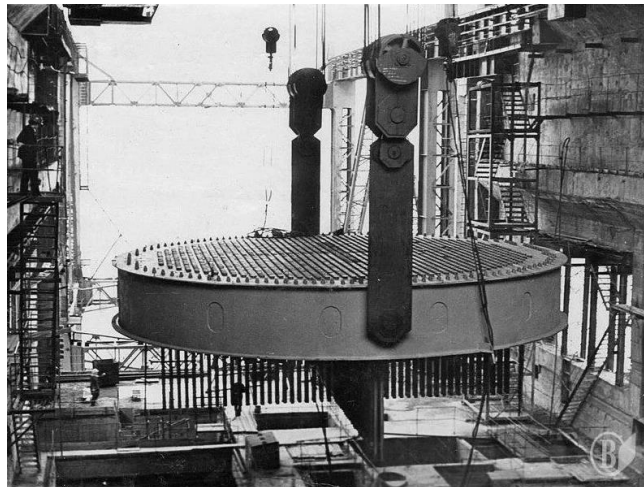


12 сентября 1967 года в основание реакторного блока был уложен первый кубометр бетона.

В начале декабря 1967 года все было готово для бетонирования плиты реактора, и **12 декабря 1967 года** в несущую плиту блока уложили первые четыре сотни кубов конструктивного бетона.

В марте 1971 года на энергоблоке № 1 начался монтаж оборудования.

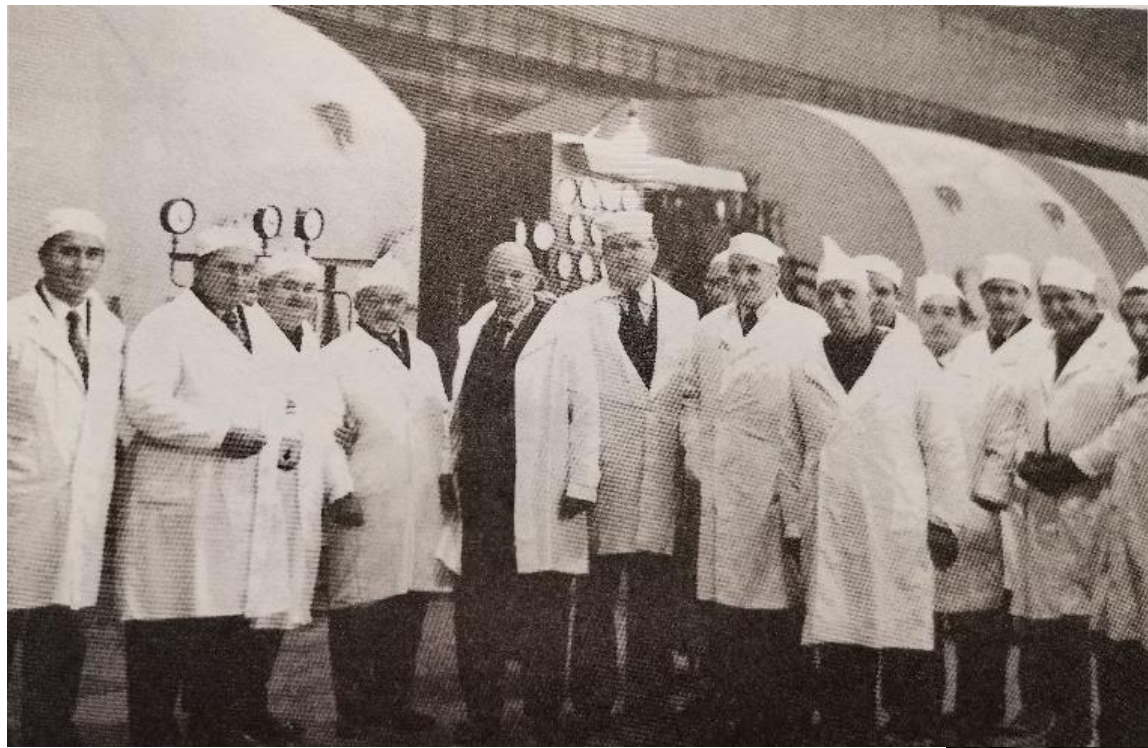
10 сентября 1973 года в реактор РБМК-1000 была загружена первая тепловыделяющая сборка, начался физический пуск реактора.



Ввод в эксплуатацию и освоение проектной мощности



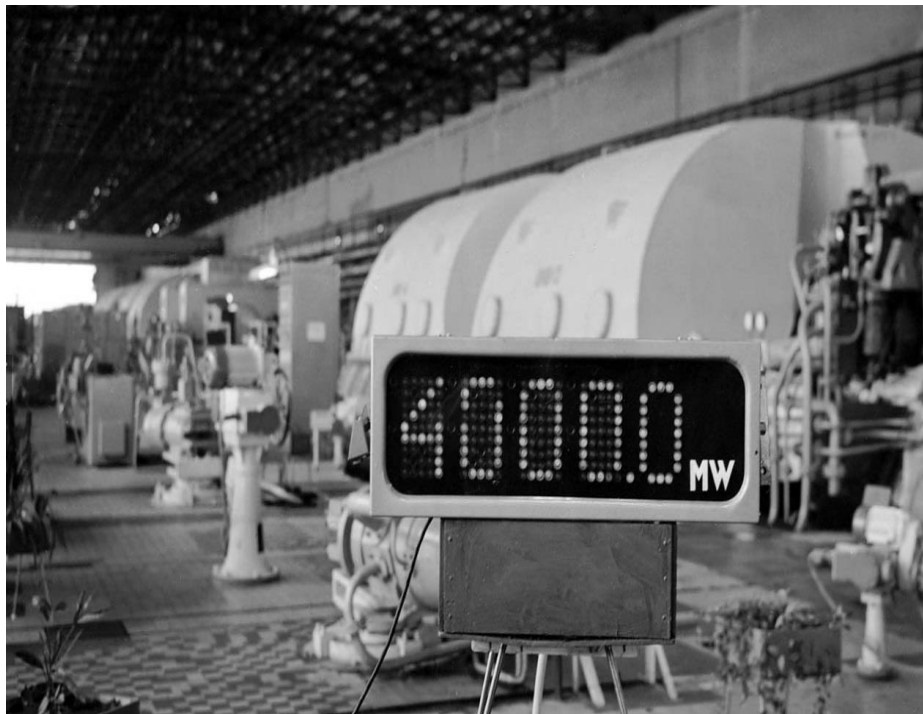
Первый пуск ТГ, энергоблок № 1



Ввод в эксплуатацию и освоение проектной мощности

Производилось внедрение более совершенных процедур, устранение проектных упущений и замечаний в работе оборудования;

К 1988 году станция достигла высокого КИУМ (более 80 %), а годовая выработка электроэнергии составляла более 28 млрд кВтч, количество внеплановых остановов снизилось до одного-двух на четыре энергоблока в год.



Реализованные за время эксплуатации РБМК проекты



Ленинградская АЭС была и остается флагманом атомной энергетики страны.

Блоки РБМК Ленинградской АЭС, будучи головными в серии, всегда стояли в авангарде внедрения передовых технологий. Коллективу АЭС вместе с проектными организациями за 50 летний период эксплуатации приходилось решать сложные и интересные задачи.

К наиболее важным с точки зрения безопасной эксплуатации проектам можно отнести:

- Реконструкция и модернизация оборудования (1988-2003 года);
- Продление сроков эксплуатации энергоблоков до 45 лет;
- Технология наработки изотопов в реакторе;
- Разработка и внедрение технологии восстановления ресурсных характеристик активной зоны реактора;
- Технология «дожигания» ОТВС с остановленных энергоблоков;
- Подготовка к выводу из эксплуатации и вывод из эксплуатации;
- Строительство замещающих мощностей.

Работы по реконструкции, модернизации и продлению срока эксплуатации энергоблоков (1989-2003 г.)

Для дальнейшего повышения уровня безопасности и соответствия современным международным требованиям безопасности на Ленинградской АЭС было принято решение о проведении реконструкции действующего оборудования и систем энергоблоков с заменой технологических каналов в реакторной установке РБМК.

Реконструкция включала в себя:

1. Реконструкция РГК;
2. Монтаж САОР (для энергоблоков № 1,2);
3. Замена ТК;
4. Монтаж систем ВСО, КСКУЗ.
5. Модернизация ИМ СУЗ;
6. Изменение обогащения топлива;
7. Монтаж ВКУ в БС (для энергоблоков № 1,2);
8. Внедрение организационных мероприятий.



Работы по реконструкции, модернизации и продлению срока эксплуатации энергоблоков (1989-2003 г.)



Реконструкция энергоблоков базировалась на научно обоснованной концепции, в основе которой была заложена идея предотвращения разгерметизации оболочек твэлов во всех режимах работы энергоблока. Границы КМПЦ являются третьим барьером безопасности, а посредством подачи охлаждающей воды из САОР в РГК, и далее в ТК, осуществляется защита второго барьера безопасности – оболочки твэл.

По результатам исследований и обобщений опыта эксплуатации реализован комплекс конструктивных изменений КМПЦ, улучшивший надежность и эффективность систем теплосъема и охлаждения реактора в различных режимах работы.

Проведен ряд организационных и технических мероприятий по улучшению физических характеристик активной зоны реактора и СУЗ.

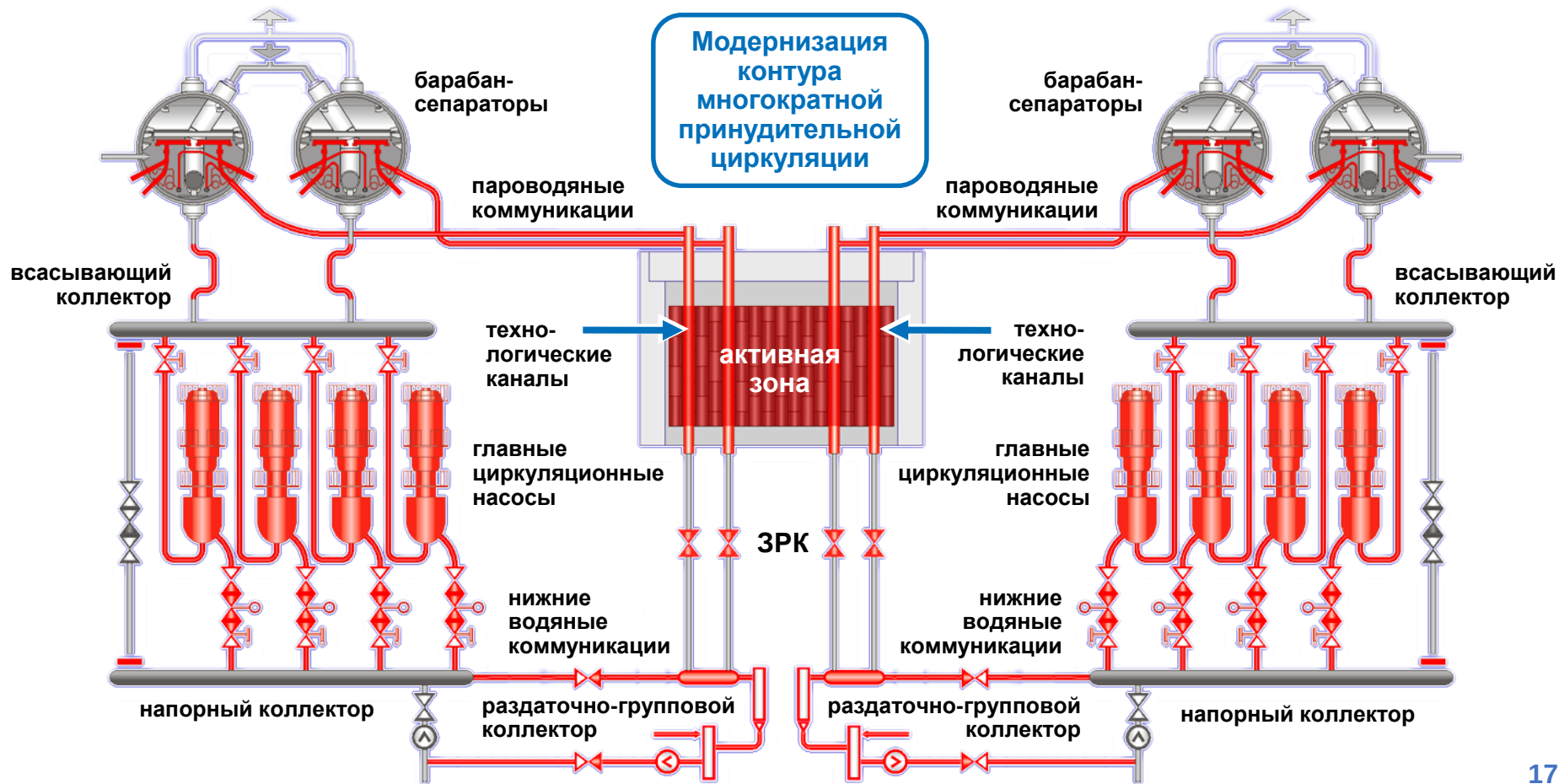
Работы по реконструкции, модернизации и продлению срока эксплуатации энергоблоков (1989-2003 г.)

На основе проведенных измерений физических характеристик активной зоны и сопоставления расчетных и экспериментальных данных, сделан вывод, что паровой эффект реактивности реактора РБМК-1000 доведен до безопасного значения.

По адаптированным иностранным методикам проведен научный анализ результатов реконструкции. В результате анализа показана эффективность мероприятий по реконструкции, снизивших вероятность повреждения активной зоны на два порядка.



Повышение безопасности и продление срока эксплуатации



Повышение безопасности и продление срока эксплуатации

Уровень безопасности э/блоков РБМК был повышен на порядок, до требований к новым блокам, а срок их эксплуатации был продлен с 30 до 45 лет:

■ блок 1 (1973-2003) – до 2018 г.
остановлен 21.12.2018 г.

■ блок 2 (1975-2005) – до 2020 г.
остановлен 10.11.2020 г.

■ блок 3 (1979-2009) – до 2025 г.

■ блок 4 (1981-2011) – до 2025 г.



Ввод в эксплуатацию

э/блок №5 (1185 МВт)

э/блок №6 (1185 МВт)

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

Вывод из эксплуатации

э/блок №1 (1000 МВт)

э/блок №2 (1000 МВт)

ПСЭ энергоблоков 3,4 РБМК

В ГК «Росатом» принято принципиальное решение о дополнительном продлении срока эксплуатации энергоблоков №№ 3 и 4 РБМК еще на 5 лет.

Это позволит:

- гарантировать на это время рабочие места для персонала второй очереди
- сохранить мощность ЛАЭС на период сооружения энергоблоков №№ 3 и 4 ЛАЭС-2



Уникальные конструктивные особенности, реакторов канального типа, позволяют осуществлять загрузку и извлечение мишеней для наработки изотопов в любой момент времени. В реакторах данного типа возможно производство короткоживущих и долгоживущих изотопов. Наличие на Ленинградской АЭС защитных камер позволяет осуществлять разделку облученных мишеней и подготовку изотопов к их отправке потребителям.



Конструкция дополнительных поглотителей с кобальтом, размещаемых в активной зоне реактора, обеспечивая функции безопасности, позволяет осуществлять накопление кобальта-60 с удельной активностью до 70 Ки/г.

Молибден-99

Используются для уточнения диагноза и лечения при целом ряде заболеваний в онкологии, кардиологии и неврологии. Мо-99 является основным радиоизотопом, используемым в этих целях. Мо-99 распадается до короткоживущего изомера изотопа технеций-99 ($Tc-99m$), с помощью которого, в мире проводится до 70 % диагностических процедур в области онкологии и кардиологии.

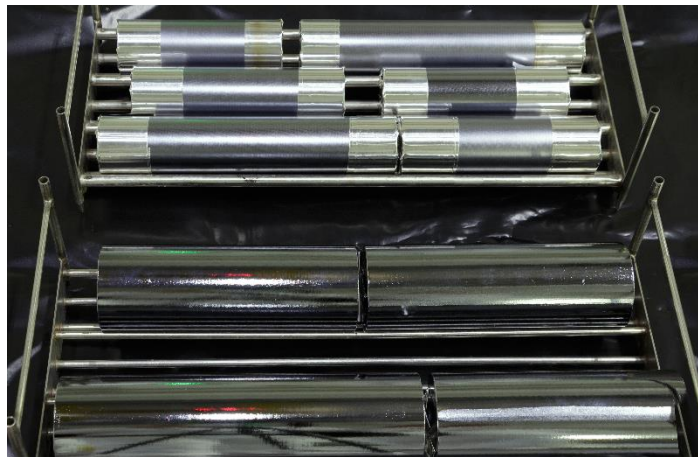


Йод-131

Бета- и гамма-излучение распада $I-131$ используется в медицине для диагностики и лечения заболеваний связанных с гиперфункцией щитовидной железы, некоторых видов рака щитовидной железы. Изотоп применяется для диагностики распространения и лучевой терапии нейроblastомы.

Легирование кремния нейтронно-трансмутационное, НТЛК – способ создания электронной проводимости в монокристалле полупроводника, путем превращения части ядер кремния в химическую примесь – фосфор.

Получаемый кремний имеет экстремально однородное объемное распределение фосфора, что особо важно при производстве силовых полупроводниковых приборов. НТЛК, по достигаемым параметрам в производимом кремнии, остается безальтернативным методом получения полупроводниковых материалов для изготовления мощных тиристоров и диодов, биполярных транзисторов, запираемых тиристоров и других видов СПП для электроники и преобразовательной техники.



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

В 2011 году обследование реактора энергоблока № 1 выявило преждевременное искривление графитовой кладки, вызванное радиационным распуханием графита и его последующим растрескиванием.



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

В 2012-2013 гг. были проведены работы, позволившие уменьшить деформацию кладки путём пропилов в графите, компенсирующих распухание и формоизменение.

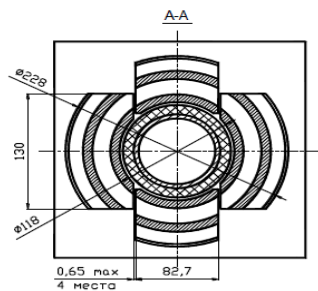
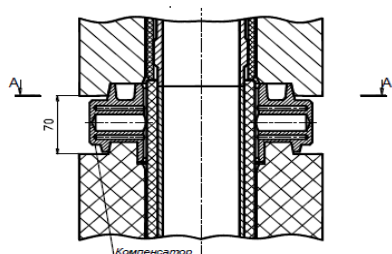
Работы включали в себя:

1. Восстановление ТСТ;
2. Восстановление ресурсных характеристик графитовой кладки;
3. Восстановление зазора КЖ-ГК.



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

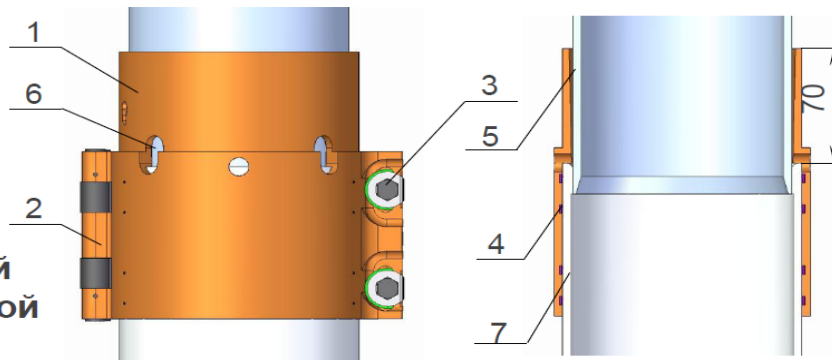
Технология восстановления ТСТ ТК:



Установка вкладышей
между верхней защитной
плитой и верхним
графитовым блоком

Хомут-удлиннитель

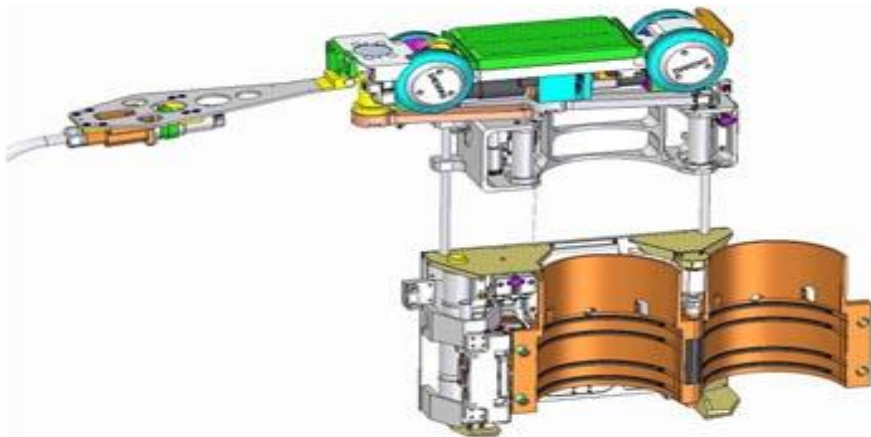
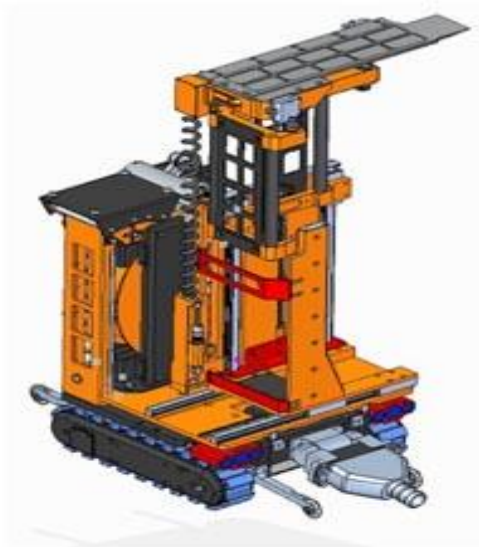
- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 – хомут-удлиннитель | 4 – фиксирующий элемент |
| 2 – осевой шарнир
контрольными | 5 – труба тракта |
| 3 – винтовое соединение | 6 – окна с рисками |
| | 7 – труба фланца |



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

Технология восстановления ТСТ ТК:

РОБОТ - ДОСТАВЩИК



РОБОТ-УСТАНОВЩИК

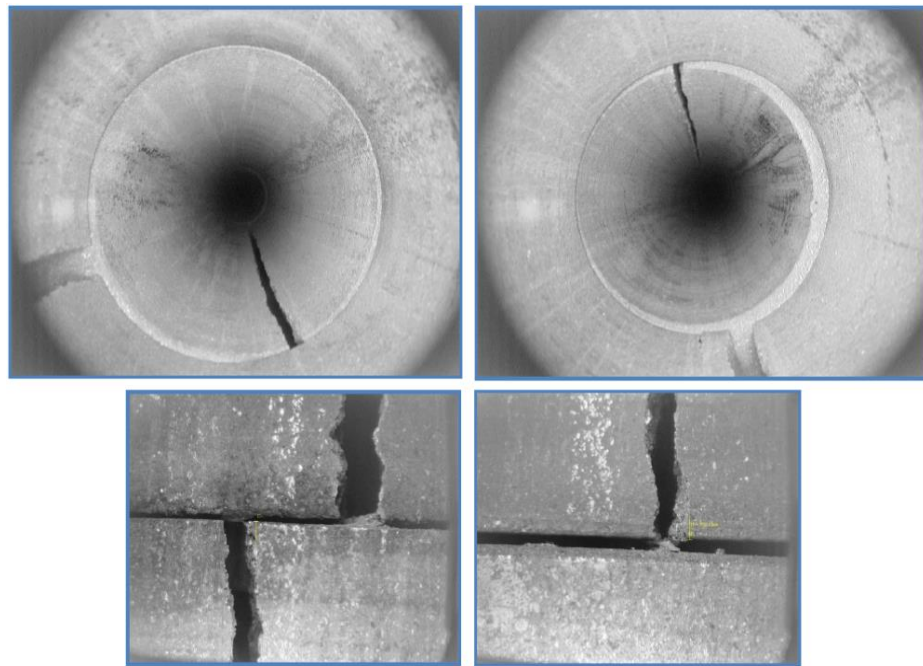
Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

Технология восстановления ресурсных характеристик ГК:

Эксплуатации ресурс энергоблока ограничивается искривлением графитовых колонн.

Процесс искривления - следствие развития процесса вторичного распухания графитовых блоков.

Появление и раскрытие сквозных продольных трещин в блоках графитовой кладки под действием температуры и радиоактивного облучения.



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

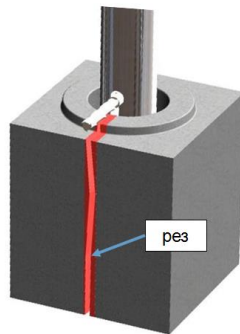
Технология восстановления ресурсных характеристик ГК:

Разработан комплекс уникального оборудования и оснастки.

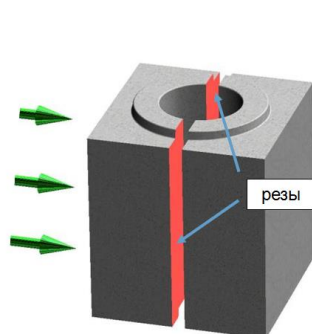
Технология впервые внедрена на э/б № 1 Ленинградской АЭС.

Суть технологии - создание вертикальных продольных резов в графитовых колоннах, в результате которых образуются «свободные объёмы», необходимые для компенсации (выправления) искривления графитовых колонн кладки посредством силового воздействия на них при помощи специальных устройств – натяжителей.

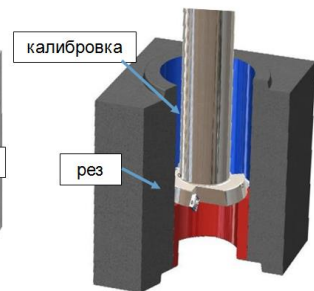
Продольная резка графитовых колонн



Силовое воздействие на графитовую кладку



Восстановление отверстий в графитовых колоннах



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

Технология восстановления зазора КЖ-ГК:

Создан робототехнический комплекс, для выполнения работ по восстановлению зазора КЖ-ГК.



Робот-доставщик с модулем резки с фрезой



Робот-доставщик с модулем реза с пилой



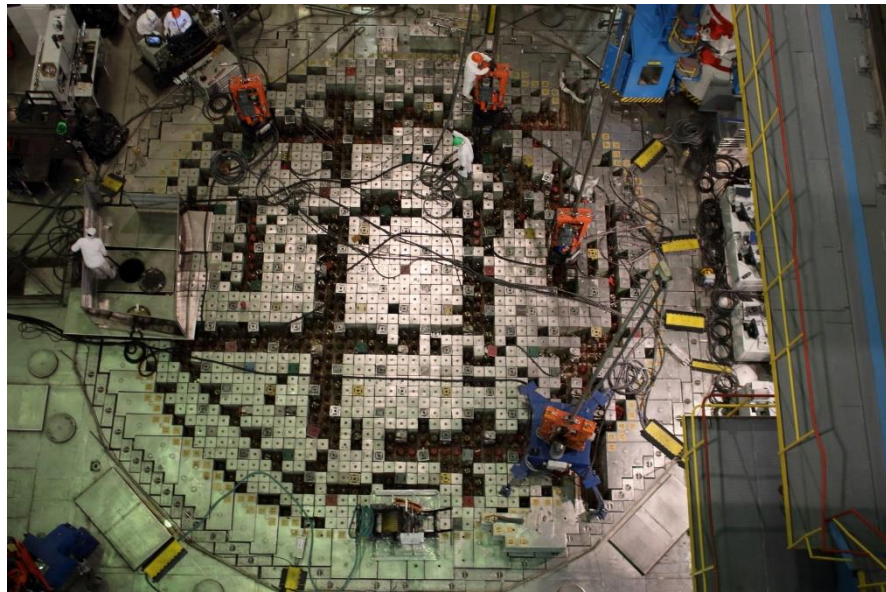
Робот-доставщик с модулем захвата



Робот доставщик с контейнером накопителем

Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

В 2013 году реактор энергоблока № 1 вновь был запущен, однако увеличивающиеся темпы накопления дефектов потребовали проведения практически ежегодных коррекций кладки. Тем не менее, удалось сохранить работоспособность реактора вплоть до окончания планового срока службы в 2018 году. 21 декабря 2018 года энергоблок № 1 был остановлен и переведен в режим эксплуатации без генерации.



Восстановление ресурсных характеристик активных зон реакторов РБМК-1000

В 2014 году проблема графитовой кладки была выявлена и на энергоблоке № 2 ЛАЭС. Проведение ремонтных работ также позволило завершить эксплуатацию энергоблока в плановый срок – 10 ноября 2020 года он был переведен в режим эксплуатации без генерации.

Аналогичные работы в рамках управления ресурсными характеристиками активных зон реактора проводятся на энергоблоках № 3, 4, что позволяет вести их безопасную эксплуатацию на завершающем этапе работы.



Технология дожигания ОТВС

Цель дожигания ОТВС:

- повышение эффективности топливоиспользования (достижение проектной глубины выгорания)
- экономия ~ 1000 свежих ТВС (~ 4,7 млрд.руб)
- снижение количества ОТВС для хранения, разделки, отправки в сторонние организации (~ 1,2 млрд.руб)

Требования к ОТВС для дожигания:

- «штатная» конструкция ТВС 2,8% обогащения (изд.№ 865.00.000)
- энерговыработка не более 2200 МВт·сут/ТВС
- минимальный срок выдержки перед отправкой – 1 год
- герметичность, целостность конструкции

План по дожиганию ОТВС:

- ~ 1700 ОТВС (по 850 ОТВС с каждого энергоблока №№ 1,2)
- период отправки ОТВС на дожигание с энергоблока № 1 – 06.2020÷12.2022
- период отправки ОТВС на дожигание с энергоблока № 2 - 01.2022÷12.2024



Технология дожигания ОТВС



Игналинская АЭС:

- реализованная технология связана с разработкой, изготовлением нового дорогостоящего оборудования



Ленинградская АЭС:

- технология дожигания максимально использует имеющееся штатное оборудование

Опыт дожигания ОТВС на других российских АЭС отсутствует



Подвижная
биологическая
защита



ВТУК
(контейнер + чехол)



Направляющая
защитная шахта



Железнодорожный
транспортёр

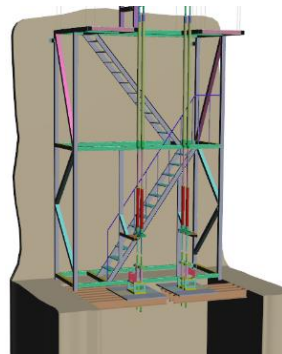
Технология дожигания ОТВС

Документация:

- разработана транспортно-технологическая схема (ТТС) обращения с ОТВС для дожигания
- разработаны ТОБы обращения с ОТВС по всей ТТС (обращение в БВК, перевозка между э/блоками)
- разработан ТОБ эксплуатации АЗ э/блоков №№ 3,4 при загрузке ОТВС для дожигания
- доработана автоматизированная система УиК ЯМ
- получены необходимые изменения УДЛ

Оборудование:

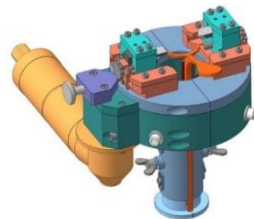
- разработаны ИТТ и РКД на новое оборудование
- оборудование введено в эксплуатацию. Проведены испытания



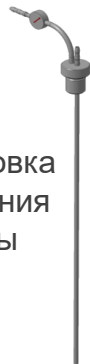
Стенд сборки ТМ



Пробка охрannая



Установка
отделения
подвески



Установка
удаления
воды

Подготовка в выводу из эксплуатации, удаление топлива с энергоблоков

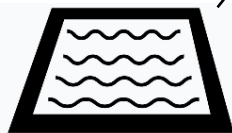
Исходные данные:

- на момент останова энергоблока № 1 в АЗ – **1675 ОТВС**

Состояние на 06.10.2021:

- в АЗ находится – **0 ОТВС**;
- выгружено из АЗ в БВК – **1675 ОТВС**
из них: **872 ОТВС** для дожигания;
803 ОТВС для вывоза в ХОЯТ

На 06.10.2021:



всего в БВК
1195 ОТВС



перевезено на дожигание
на энергоблоки №№ 3, 4 – **552 ОТВС**

- на дожигание – **320 ОТВС**

- для вывоза в ХОЯТ – **875 ОТВС**

09.08.2021
дата окончания
полной выгрузки
ОТВС из АЗ в БВК

31.12.2021
окончание полной выгрузки
ОТВС из АЗ в БВК согласно
Программе ВЭ

31.12.2023
полное
удаление ОТВС
с энергоблока № 1
согласно
Программе ВЭ

2020 г.

2021 г.

2022 г.

2023 г.

Выгрузка ОТВС из АЗ реактора в БВК

09.08.2021

Вывоз ОТВС с энергоблока № 1 на дожигание

12.2022

Вывоз ОТВС с энергоблока № 1 в ХОЯТ

12.2023

С 21.12.2021 можем перевозить в ХОЯТ ОТВС > 3 лет

Подготовка в выводу из эксплуатации, удаление топлива с энергоблоков

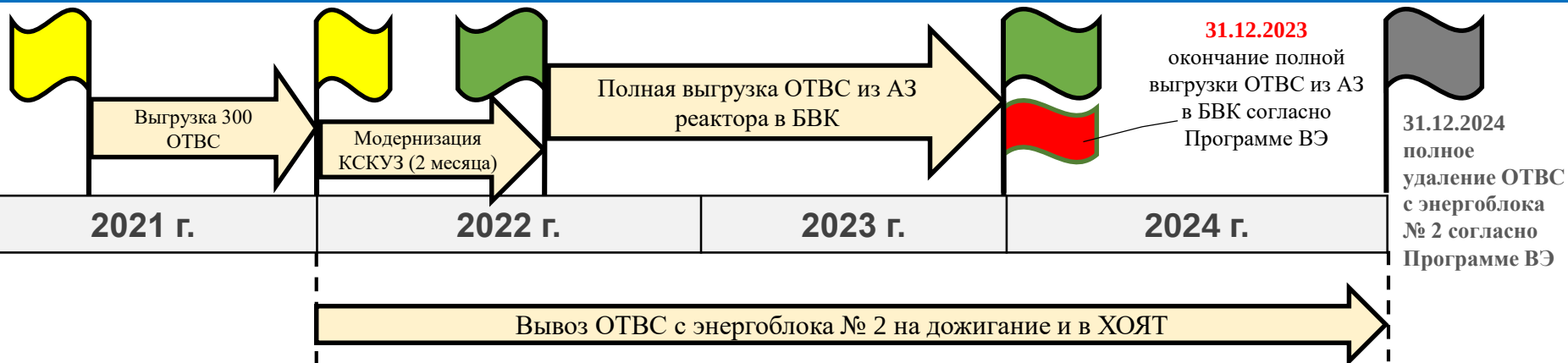


Исходные данные:

- на момент останова энергоблока № 2
в АЗ – **1685 ОТВС**

Состояние на 06.10.2021:

- в АЗ находится – **1630 ОТВС**;
- выгружено из АЗ в БВК – **55 ОТВС**
из них: **55 ОТВС** для дожигания;



Подготовка в выводу из эксплуатации, удаление топлива с энергоблоков

Для обеспечения удаления некондиционного ядерного топлива с Ленинградской АЭС осуществляется закупка комплекта оборудования для обращения с некондиционными ОТВС (НОТВС).

Комплект оборудования для обращения с НОТВС состоит из:

- Стенд для разделки и ампулирования некондиционных отработавших тепловыделяющих сборок (далее – стенд РиА).
- Система удаления продуктов разделки (далее – СУПР).
- Комплект ручного дистанционного инструмента (далее – РДИ).
- Комплект захватов для разделки и ампулирования некондиционных отработавших тепловыделяющих сборок.
- Опорный бандаж для развески и хранения нижней части пеналов.

Замещающие мощности. Энергоблоки ВВЭР-1200



2007	Утвержден проект АЭС
2008	Начало строительства э/блока № 5
2009	Начат монтаж устройства локализации расплава
2016	Монтаж корпуса реактора
2017	Физпуск блока № 5
2018	Ввод блока № 5 в промышленную эксплуатацию
2020	Физпуск блока № 6
2021	Ввод блока № 6 в промышленную эксплуатацию



Особенности проекта ВВЭР-1200

Количество энергоблоков
третьей очереди

2

Конструкционная схема

моноблок

Тепловая схема РУ

двухконтурная

Аттестованная мощность э/блока

1 185 МВт

Проектный срок эксплуатации
э/блока

60 лет

Плановый отпуск электроэнергии
от двух э/блоков

18,57 млрд.
кВт·ч в год

КПД: нетто / брутто

34,8% / 37,5%

Расход электроэнергии
на собственные нужды

7,48%

Численность персонала
третьей очереди

~ 1400 чел.





- ✓ На Ленинградской АЭС реализуется Экологическая политика, главный приоритет которой – обеспечение экологической безопасности и снижение воздействия на окружающую среду до минимально возможного уровня, защита здоровья персонала и населения.
- ✓ В санитарно-защитной зоне вокруг атомной станции ведется постоянный мониторинг радиационной обстановки с помощью автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО).

МАГАТЭ. Миссия OSART



Сроки: 13 – 30 ноября 2017

Состав команды:

Руководители от МАГАТЭ: Fuming Jiang, Vesselina Ranguelova

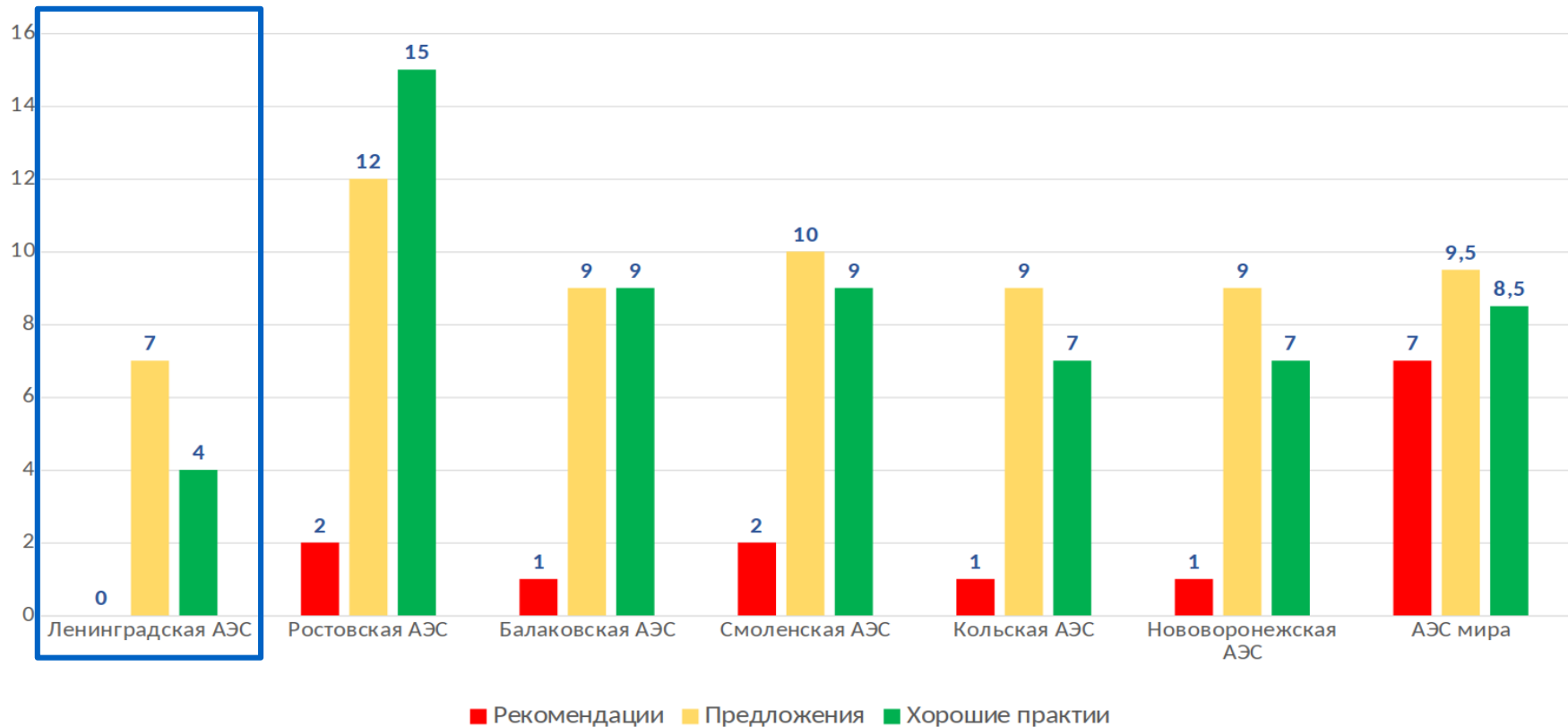
10 экспертов (Канада, Бельгия, ЮАР, Китай, Румыния, Словакия, Чехия, Франция, Швеция)

3 наблюдателя (Калининская АЭС, Белоруссия, Иран)

Общий опыт работы в отрасли: 302 года



МАГАТЭ. Миссия OSART. Сравнительный анализ



ВАО АЭС. Партнерские проверки.



1. Ленинградская АЭС – единственная в России станция, где действуют энергоблоки двух разных типов – канальные уран-графитовые и водо-водяные.

2. В 2022 году филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция» выполнила задание Федеральной антимонопольной службы по выработке электроэнергии и при безусловном приоритете обеспечения безопасности деятельности, выработала 30,6 млрд кВт•часов электроэнергии.

3. Отсутствуют нарушения в работе АЭС уровня 1 и выше по шкале INES и инциденты, сопровождавшиеся облучением персонала выше 50 мЗв в год. Радиоактивные газоаэрозольные выбросы и жидкие сбросы не превышали допустимых значений.

4. Уровень взаимодействия и поддержки Ленинградской АЭС, по итогам 2022 года, - «А» (предоставляет поддержку другим АЭС / ЭО Московского центра ВАО АЭС, принимая у себя бенчмаркинги, предоставляя экспертов по запросам Секретариата ВАО АЭС-МЦ для участия в программах ВАО АЭС-МЦ, а также предоставляет информацию по имеющимся на АЭС сильным сторонам и положительным практикам).

С 2023 года на Ленинградской АЭС открыт проект пилотного апробирования процесса «Улучшенный мониторинг» в рамках реализации Инициативы ВАО АЭС «Курс на совершенство».

Ленинградская АЭС сегодня



Генерация электроэнергии

(более 80% в стоимостном выражении в общей структуре производства)
в 2018 г. генерация электроэнергии на ЛАЭС за всё время эксплуатации превысила триллион кВт·ч

Выработка электроэнергии в 2022 г. превысила 31,4 млрд кВт·ч. — это рекорд годовой выработки ЛАЭС за всю историю



Водоподготовка и водоснабжение социальных и промышленных потребителей



Выработка теплоэнергии



Выпуск продукции высоких радиационных технологий

Пуски:

Блок 1 1973

Блок 2 1975

Блок 3 1979

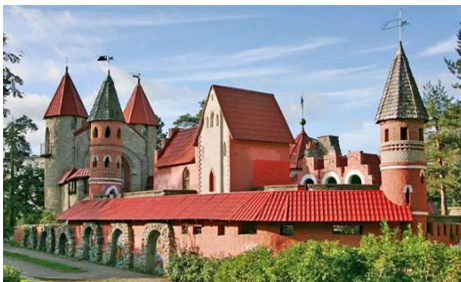
Блок 4 1981

Блок 5 2018

Блок 6 2020



Социальная ответственность



Безопасность – наш главный приоритет



В 2023 году исполняется 50 лет со дня пуска первого головного энергоблока РБМК-1000 Ленинградская АЭС.

Полувековой опыт безопасной эксплуатации энергоблоков Ленинградской АЭС показал, что комплексный подход к вопросам безопасности и тесное взаимодействие коллектива Ленинградской АЭС с Главным конструктором реакторной установки, Научным руководителем проекта, Генеральным проектировщиком АЭС и другими организациями отрасли, гарантируют безопасную эксплуатацию энергоблоков в проектных режимах на всех этапах жизненного цикла, а также позволяют ставить амбициозные цели и решать задачи любого уровня сложности.



Спасибо за внимание

Жемчугов Валерий Геннадьевич

Главный инженер
филиала АО «Концерн Росэнергоатом»
«Ленинградская атомная станция»

Тел.: 8 (813 69) 55-871

E-mail: zgieks@ln.rosenergoatom.ru

ноябрь 2023