



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС

РОСАТОМ

Быстрые реакторы Белоярской АЭС

(БН-600, БН-800,
перспективы БН-1200)



Шаманский Валерий Александрович

Заместитель главного инженера Белоярской АЭС
по безопасности и надежности

Обнинск 2021



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС

РОСАТОМ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ
РЕАКТОРЫ

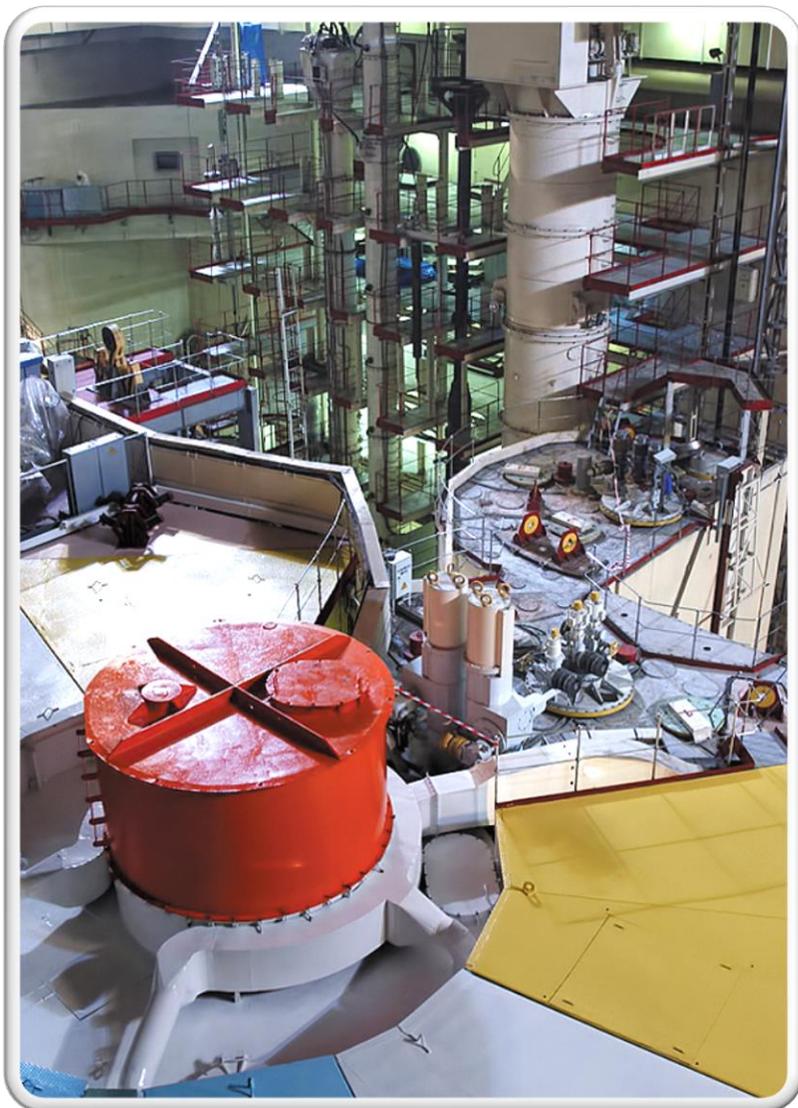
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ
РАЗРАБОТКИ АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ»

БН-1200



Основные технические характеристики реакторов БН

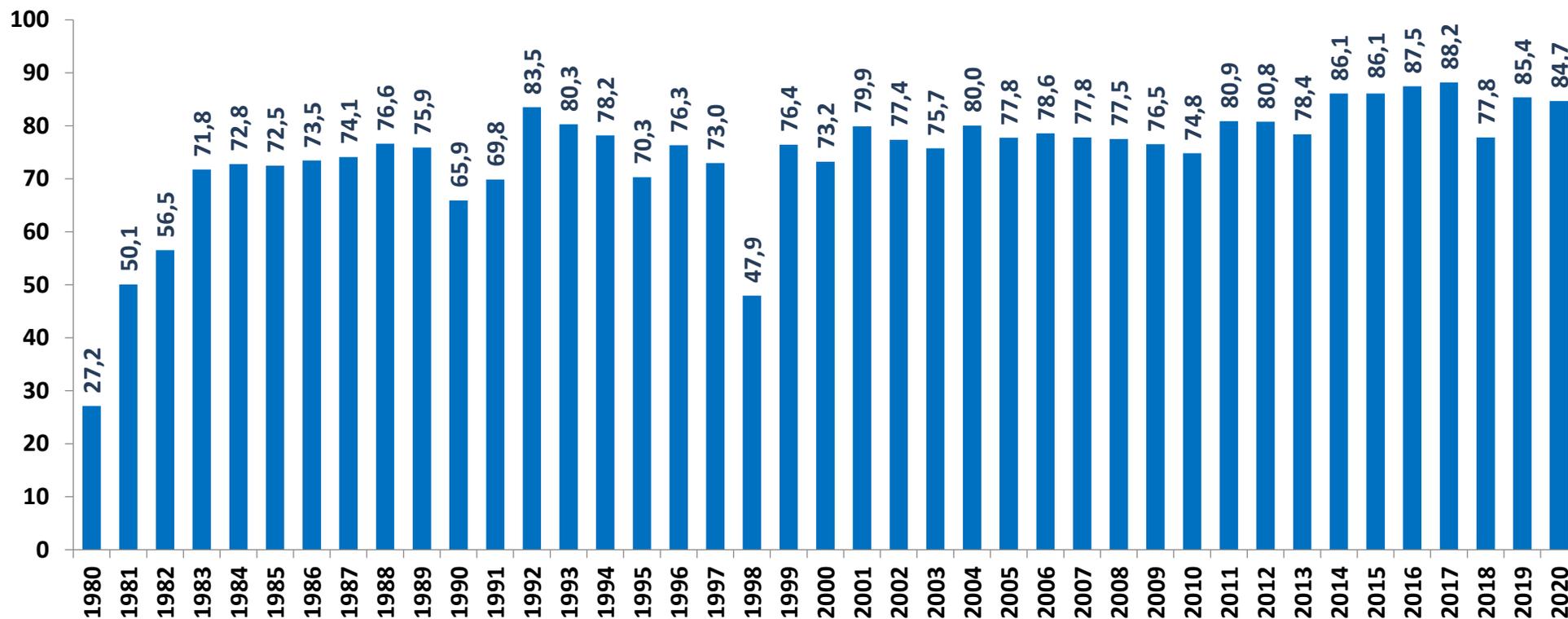
Реактор	БОР-60	БН-350	БН-600	БН-800	БН-1200
Компоновка	Петлевая	Петлевая	Интегральная	Интегральная	Интегральная
Вид топлива	Двуокись урана (UO ₂) Двуокись урана и плутония (UPuO ₂)	Двуокись урана (UO ₂)	Двуокись урана (UO ₂)	Двуокись урана и плутония (UPuO ₂)	Двуокись урана и плутония / Нитрид урана и плутония (UPuO ₂ / UPuN)
Коэффициент воспроизводства		0,93 (плутониевый коэффициент)	0,85 (плутониевый коэффициент)	1,0	1,2 – 1,4
Номинальная тепловая мощность, МВт	До 60	750	1470	2100	2800
Электрическая мощность, brutto, МВт	12	До 150	600	885	1220



- » Ввод в эксплуатацию - апрель 1980
- » По надежности работы БН-600 не уступает отечественным и зарубежным энергоблокам:
 - высокий КИУМ;
 - течи натрия отсутствуют с 1994 года (включая ПГ);
 - среднее число остановов 0,2 (АЭС мира 0,5 - 0,7).



Основные эксплуатационные показатели. КИУМ



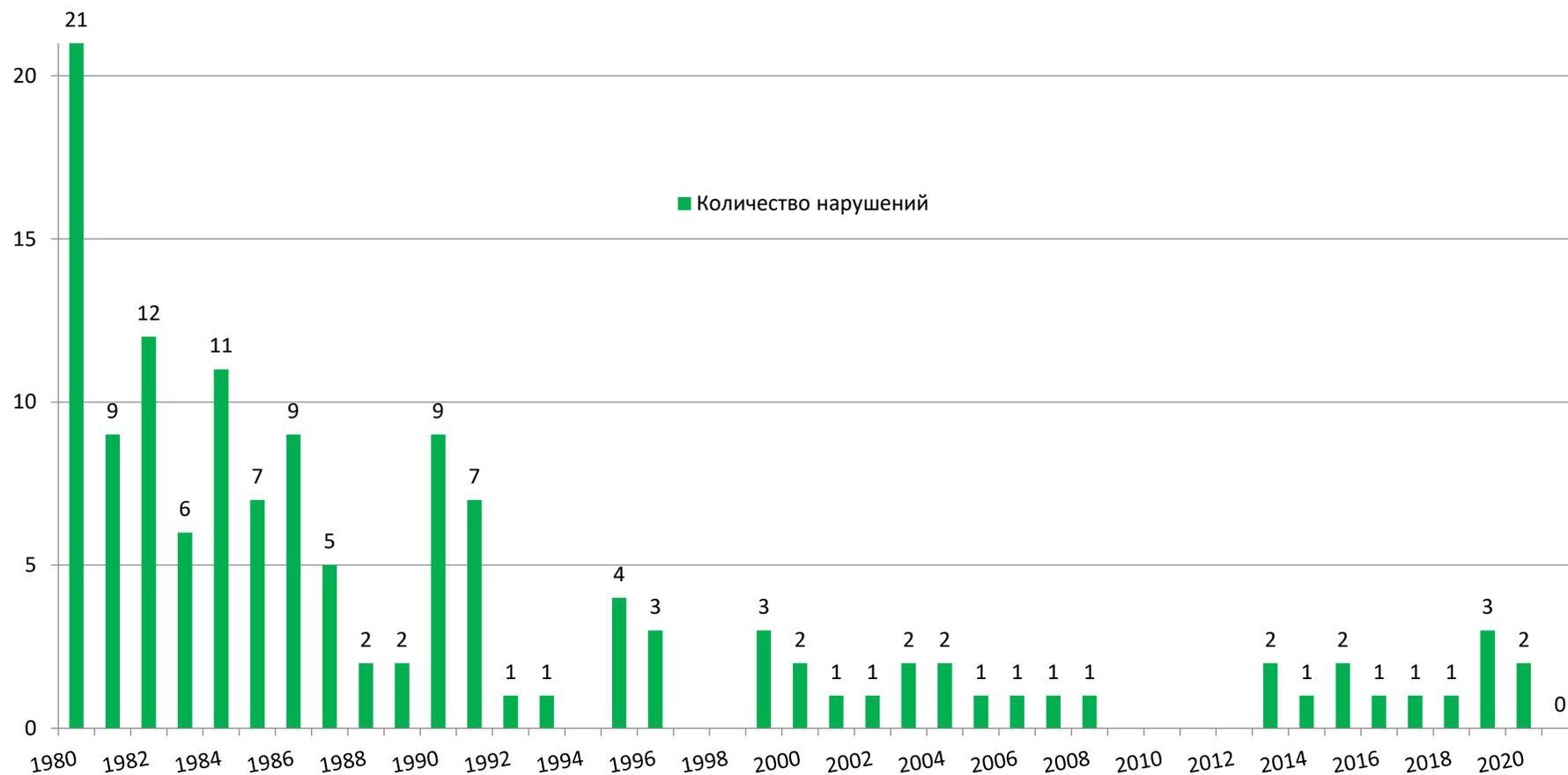
Максимальный КИУМ - 88,2 %

Средний за срок эксплуатации КИУМ - 74,9 %

Количество нарушений

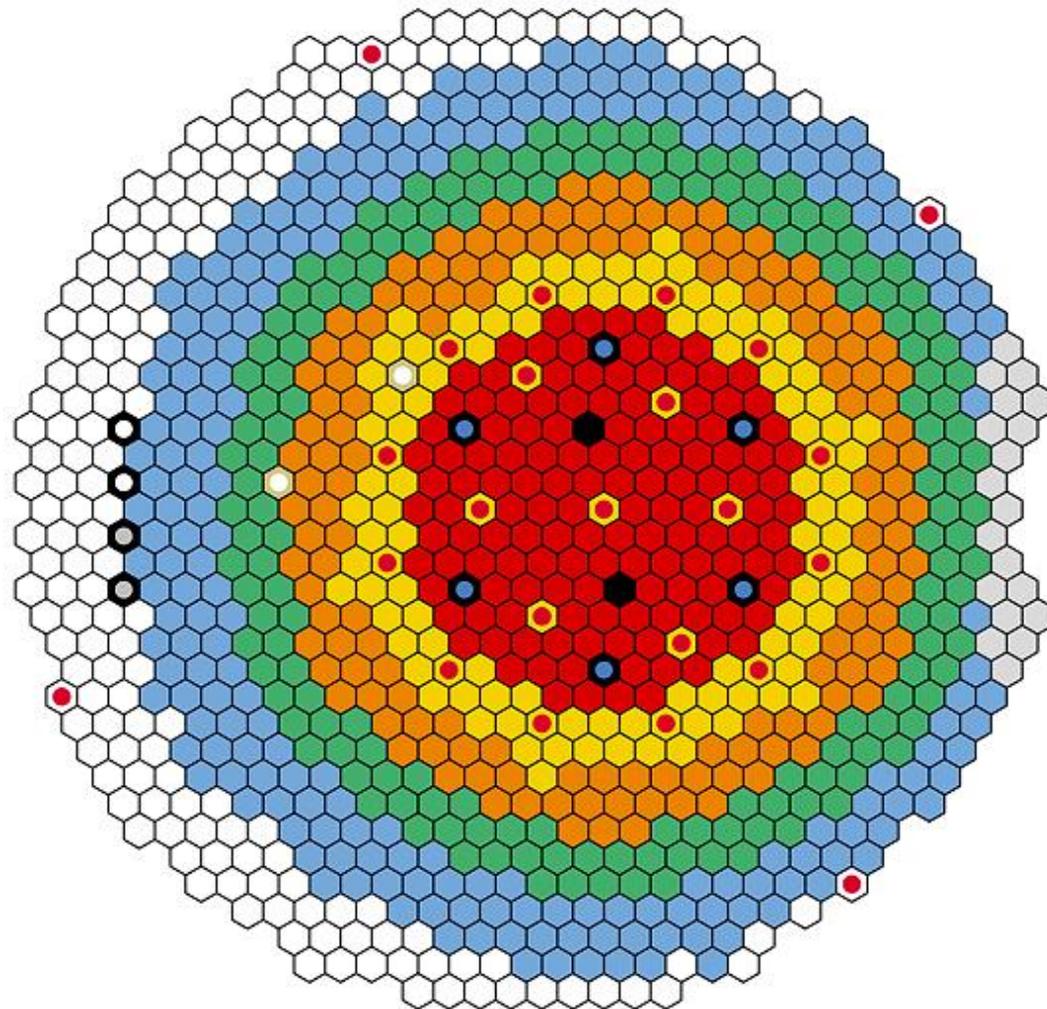


БЕЛОРЯСКАЯ АЭС
РОСАТОМ





- » Топливо - высокообогащенная двуокись урана, снаружи активная зона окружена зоной воспроизводства из обедненной двуокиси урана.
- » С 1990 года проводятся испытания экспериментальных ТВС со смешанным уран-плутониевым топливом (МОКС-топливом).
- » Проводятся испытания ТВС различных типов (БРЕСТ, БН-1200) с перспективным уран-плутониевым нитридным топливом повышенной плотности.





» С момента начала эксплуатации активная зона РУ БН-600 прошла три модернизации.

Активная зона				
Обозначение	01	01М	01М1	01М2
Период эксплуатации	1980 - 1987	1988 - 1991	1991 - 2004	2005 - н.в.
Максимальное выгорание, % т.а.	7,2	8,3	10,0	11,1 → 11,8
Длительность кампании, эфф.сутки	200 (ЗМО) 300 (ЗБО)	330	480	560 → 592



- » В процессе эксплуатации по результатам дополнительных исследований и обоснований значительно увеличен назначенный ресурс основного оборудования БН-600

Увеличение ресурса основного оборудования			
Наименование	Начальный назначенный ресурс	Текущий назначенный ресурс	Кратность увеличения
Испарительный модуль ПГ	50 тыс. часов	125 тыс. часов	2,5
ГЦН-1	20 тыс. часов	57 тыс. часов	2,9
ГЦН-2	50 тыс. часов	125 тыс. часов	2,5
ПТО	20 лет	45 лет	2,25

Продление срока эксплуатации



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС
РОСАТОМ

- » Надежная эксплуатация в течение 30-летнего проектного срока (2010 г.).
- » По результатам надежной эксплуатации Ростехнадзором выдана лицензия на продление срока эксплуатации энергоблока до 2020 года с перспективой его дальнейшего увеличения.
- » В 2020 году Ростехнадзором выдана новая лицензия на эксплуатацию энергоблока до 31.03.2025 года.
- » В настоящий момент ведется большая работа по организации продления срока эксплуатации еще на 15 лет – до 2040 года.





- » За период эксплуатации БН-600 выполнена главная задача - освоена эксплуатация мощного энергоблока с быстрым натриевым реактором и натриевыми парогенераторами.
- » Достигнутый уровень эксплуатационной надежности характеризуется средним годовым КИУМ, который за последние годы работы превысил уровень 80 %.
- » За годы эксплуатации успешно решены и другие важные задачи:
 - проведены испытания более 400 экспериментальных ТВС для исследований конструкционных материалов, конструкций различного типа и топливных композиций;
 - значительно увеличено выгорание топлива и назначенный ресурс основного оборудования;
 - исследованы особенности теплогидравлики натриевых контуров, натриевой технологии, совершенствования и оптимизации теплогидравлических процессов и режимов;
 - получен опыт наработки изотопов высоких удельных активностей.

**ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ
ЭНЕРГОБЛОКА №4
С РЕАКТОРОМ БН-800**

ИТОГИ ЭКСПЛУАТАЦИИ



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС
РОСАТОМ

- » Основной объем работ по сооружению энергоблока выполнялся на монтажной площадке.
- » Сборка крупногабаритных блоков реактора производилась в отдельном здании.
- » Работы по монтажу корпуса реактора и возведению главного корпуса были совмещены.

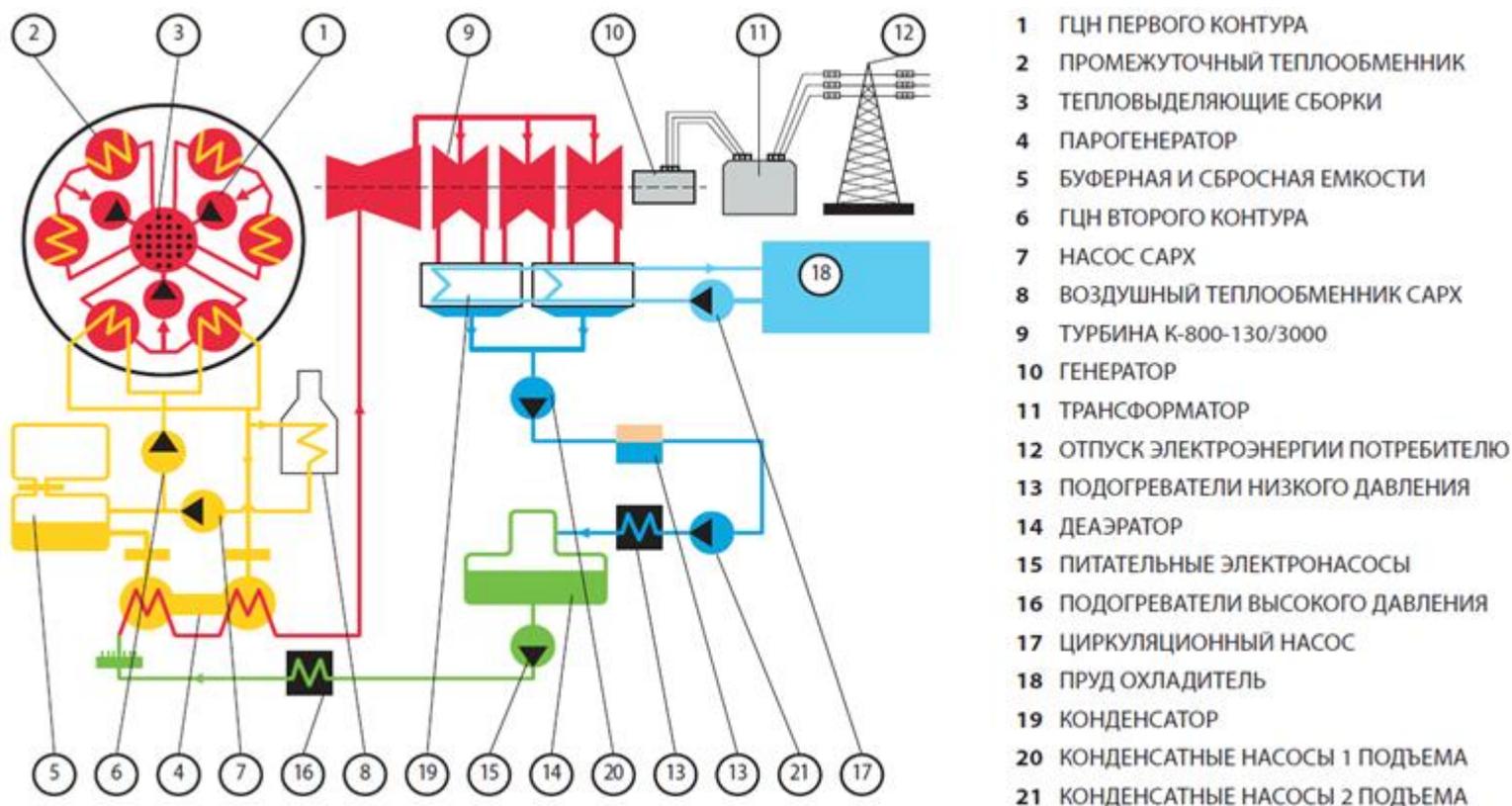




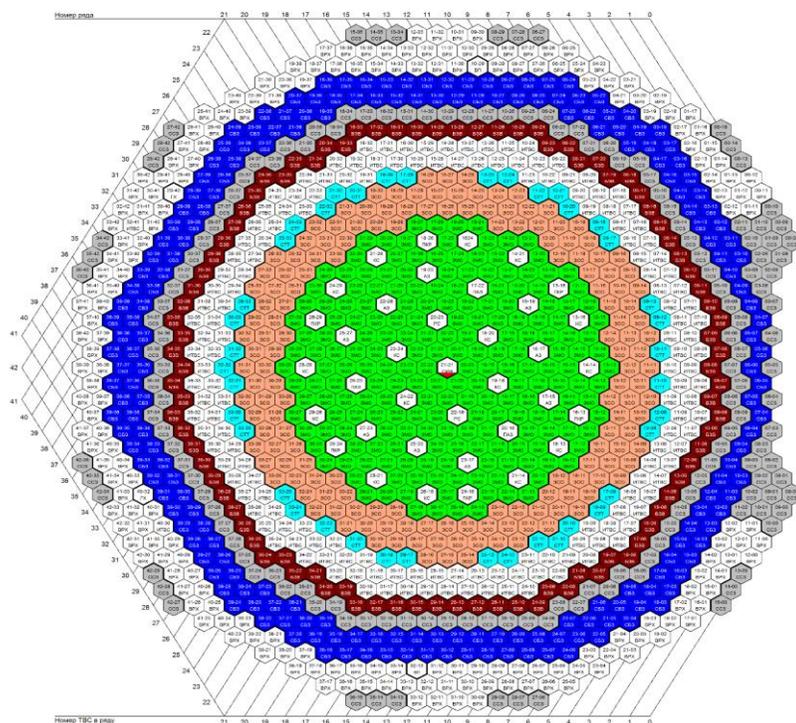
- » Приёмка и накопление натрия для заполнения реактора начинался задолго до окончания монтажных работ на основном оборудовании блока.
- » Наличие натрия в оборудовании энергоблока требовало ведения режима эксплуатации на уже действующем оборудовании.
- » При проектировании комплекса приемки натрия было предусмотрено:
 - возможность управления оборудованием с местных щитов;
 - автономные системы вентиляции;
 - автономные системы аварийной вытяжной вентиляции



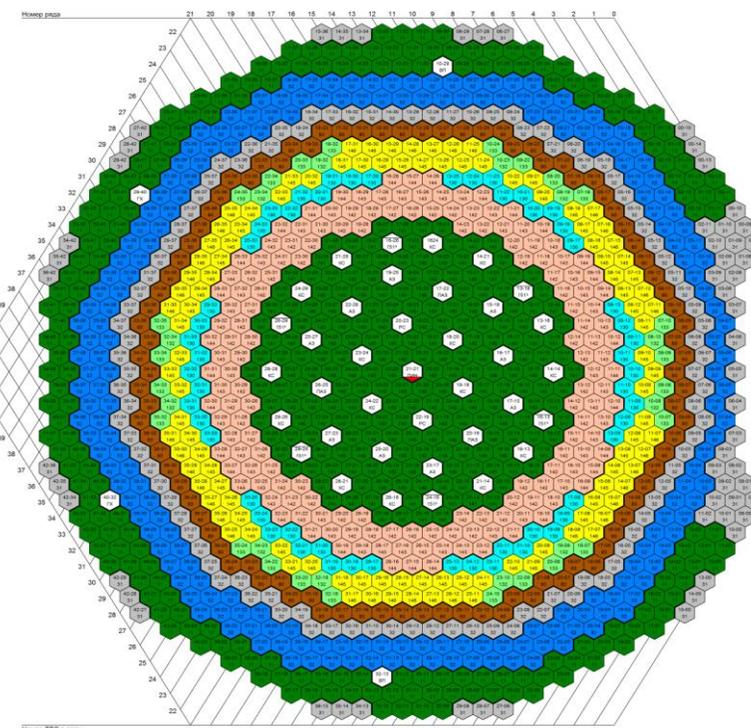
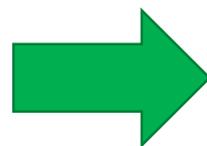
» Наличие промежуточного натриевого контура и САРХ ВТО позволяло осуществлять отвод остаточных тепловыделений в эксплуатационных режимах энергоблока.



- » Формирование стартовой активной зоны производилось путем последовательной замены имитаторов на ТВС и РО СУЗ от центра к периферии. После загрузки партии ТВС производились необходимые вычисления и измерения для оценки критичности реактора.



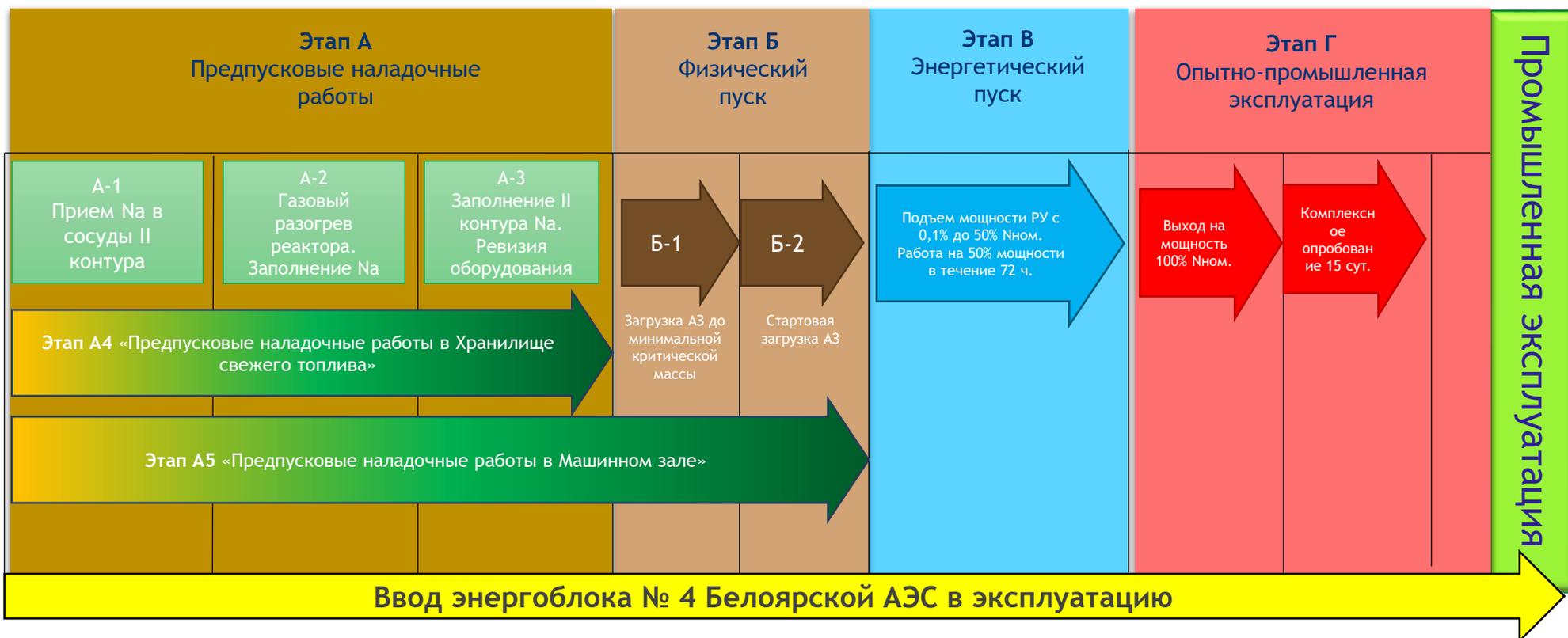
26.06.2014. Минимальная критическая загрузка активной зоны.



20.07.2014. Стартовая загрузка.



В связи с особенностями РУ БН (трехконтурная система теплоотвода, использование натрия в качестве теплоносителя первого и второго контуров) ввод в эксплуатацию был разбит на этапы и подэтапы





- » Подтверждены количественные и качественные критерии по каждому отдельному испытанию в соответствии с требованиями программ и методик испытаний.
- » По результатам проведенных работ на этапе физического пуска не потребовалось вносить изменения в проектную и эксплуатационную документацию.





Измерение нейтронно-физических характеристик и радиационной обстановки на каждом этапе энергетического пуска

Пробный пуск
турбины на уровне
мощности 15%Nном

Синхронизация
генератора и первое
включение в сеть на
«Этапе освоения
мощности 35%Nном»

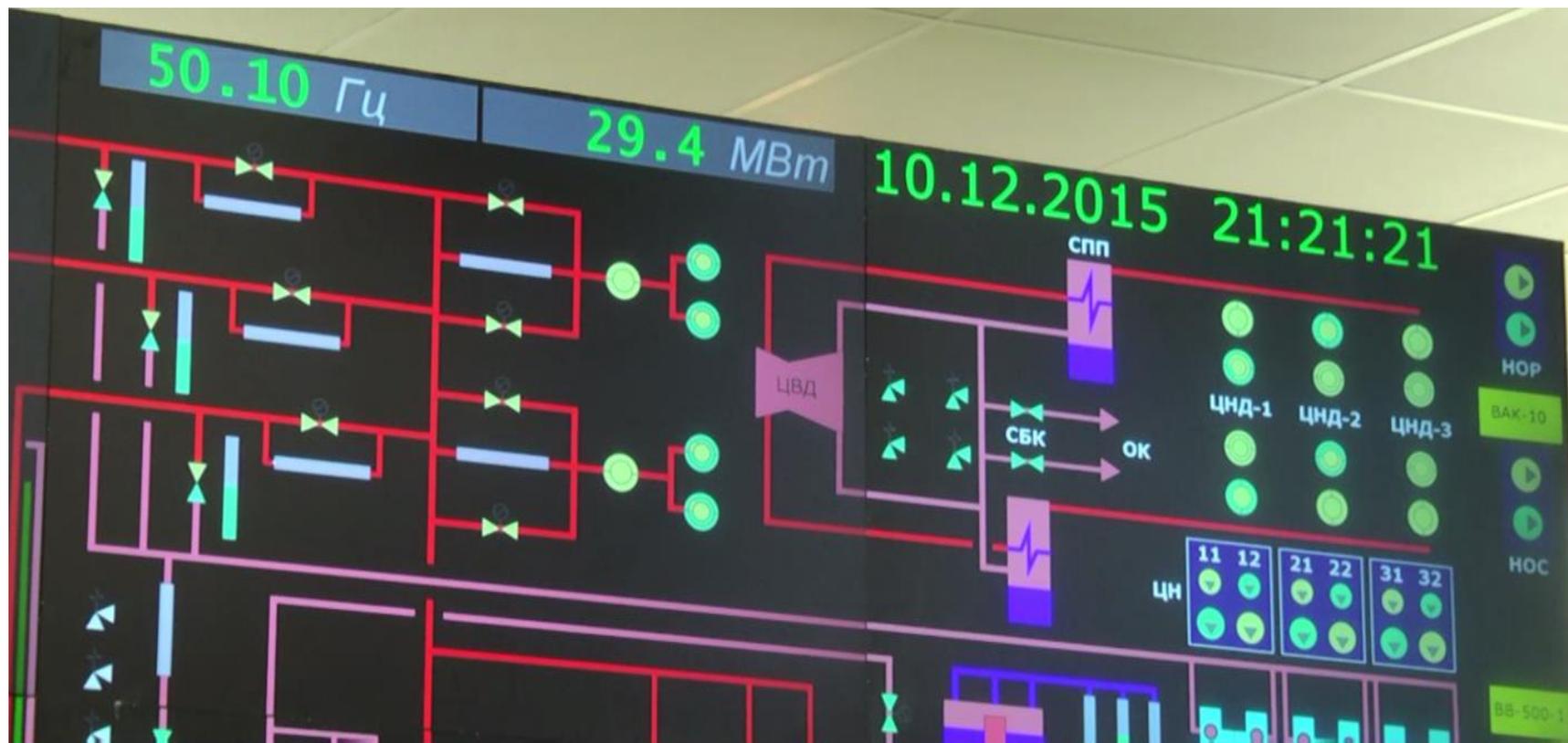
Проведение 72-х
часовых
комплексных
испытаний
энергоблока на
мощности 50%Nном

Синхронизация и первое включение генератора в сеть



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС
РОСАТОМ

- » 10.12.2015 в 21:21:21 была выполнена первая синхронизация и включение генератора в сеть.





» С 07.02.2016 г. по 09.02.2016 г. энергоблок отработал на уровне мощности 50 % ном в базовом режиме в течение 72 часов при работе всего вспомогательного оборудования по проектным схемам и поддержании проектных технико-экономических параметров.



» Подтверждено соответствие проекту фактических параметров и характеристик систем и оборудования в стационарных и переходных режимах работы энергоблока.



Цели проведения работ на этапе ОПЭ

Подтверждение надежной и безопасной работы систем, оборудования и энергоблока в целом на энергетических уровнях мощности

- Последовательное ступенчатое увеличение мощности реактора с уровня 50 %Nном до номинального уровня (100 %Nном)

Выполнение испытаний и физических измерений

- Проверка на соответствие проекту фактических параметров и характеристик систем и оборудования в стационарных и переходных режимах работы энергоблока

Проведение 15-ти суточного комплексного опробования энергоблока на номинальной мощности

- Приемка энергоблока в промышленную эксплуатацию



- » Подтверждены нейтронно-физические характеристики активной зоны.
- » Подтверждены проектные характеристики пассивных систем обеспечения безопасности.
- » Подтверждена надежная работа системы управления и защиты реактора.
- » Подтверждено проектное функционирование всех подсистем АСУ ТП.
- » Подтверждена устойчивая работа энергоблока при работе на трех и на двух петлях теплоотвода.
- » Подтверждена безопасная эксплуатация при переходных режимах при отключении основного оборудования РУ.



» На основании разрешения Госкорпорации «Росатом» приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 31 октября 2016 года энергоблок № 4 Белоярской АЭС с реактором БН-800 был введен в промышленную эксплуатацию.



Акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической
и тепловой энергии на атомных станциях»
(АО «Концерн Росэнергоатом»)

ПРИКАЗ

31.10.2016

№ 9/1390-17

Москва

О вводе в эксплуатацию
объекта капитального строительства

В соответствии с пунктом 10.19 СТО 1.1.1.03.003.0916-2013 «Правила ввода блоков атомных станций в эксплуатацию», утвержденного первым заместителем Генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом» и введенным в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 26.12.2013 № 9/1264-П «О введении в действие СТО 1.1.1.03.003.0916-2013», и на основании разрешения Госкорпорации «Росатом» от 31.10.2016 № 66-42-102-2016 на ввод объекта в эксплуатацию (далее – разрешение Госкорпорации «Росатом»)

ПРИКАЗЫВАЮ:

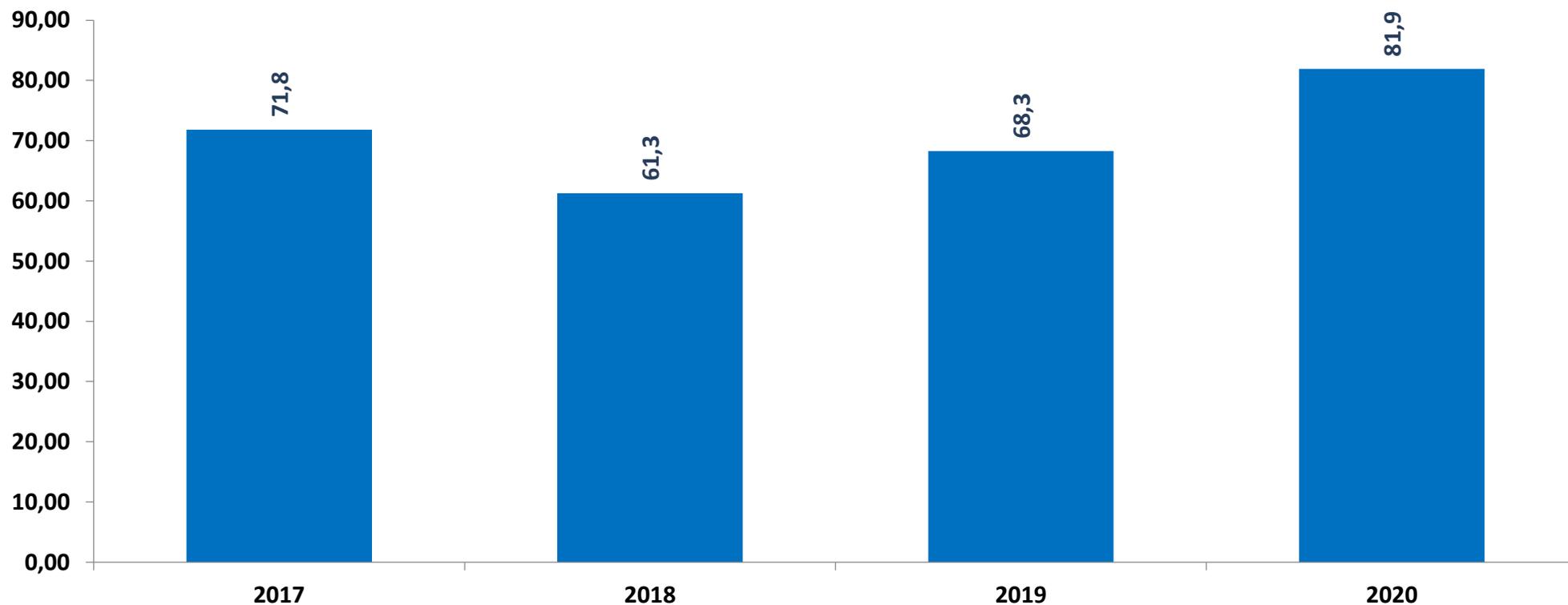
Ввести в эксплуатацию объект капитального строительства «Расширение Белоярской АЭС энергоблоком № 4 с реактором БН-800, III очередь строительства» I этап с параметрами, указанными в разрешении Госкорпорации «Росатом».

Генеральный директор

А.Ю. Петров



Основные эксплуатационные показатели. КИУМ



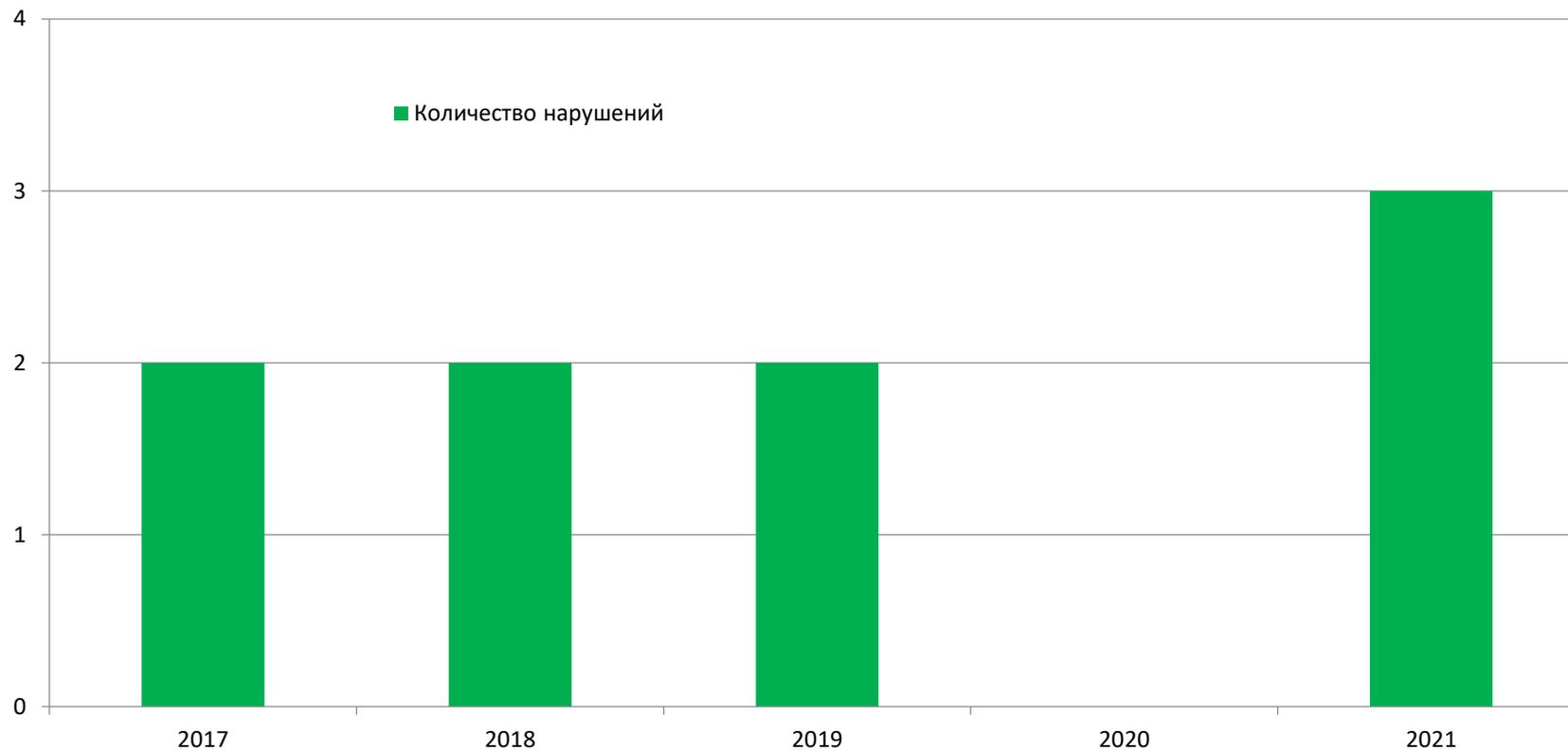
Максимальный КИУМ - 81,9 %

Средний за срок эксплуатации КИУМ - 70,8 %

Количество нарушений



БЕЛОРСКАЯ АЭС
РОСАТОМ





БН-800 – исходная позиция для БН-1200

- » БН-1200 - основа создания серийных быстрых натриевых реакторов. Разработан технический проект РУ серийного энергоблока по безопасности соответствующего требованиям Gen IV.
- » При сохранении базовых технических решений, апробированных в проектах БН-600 и БН-800, в этом проекте за счет ряда новых решений обеспечены требуемые технико-экономические характеристики и дополнительно повышена безопасность при обеспечении конкурентоспособности с различными видами энергогенерации.

Реактор БН-1200 планируется к серийному сооружению с размещением головного блока на площадке Белоярской АЭС



- Цель проекта БН-1200 - создание серийного коммерческого энергоблока с быстрым натриевым реактором, предназначенного для работы в ЗЯТЦ, сопоставимого по технико-экономическим показателям с лучшими традиционными и возобновляемыми источниками электрогенерации.
- Базовые требования:
 - создание базы для перехода атомной энергетики в двухкомпонентный режим с тепловыми и быстрыми реакторами в замкнутом топливном цикле;
 - исключение аварий на АЭС, требующих эвакуации и отселения населения;
 - обеспечение конкурентоспособности ядерной энергетики в сравнении с альтернативной генерацией при учёте всех затрат топливных циклов;
 - последовательное приближение к радиационно-эквивалентному (по отношению к природному сырью) захоронению РАО за счет внедрения технологий (выжигания) минорных актинидов и долгоживущих продуктов деления;
 - расширение экспортного потенциала;
 - снижение капитальных затрат на сооружение АЭС с быстрыми реакторами.

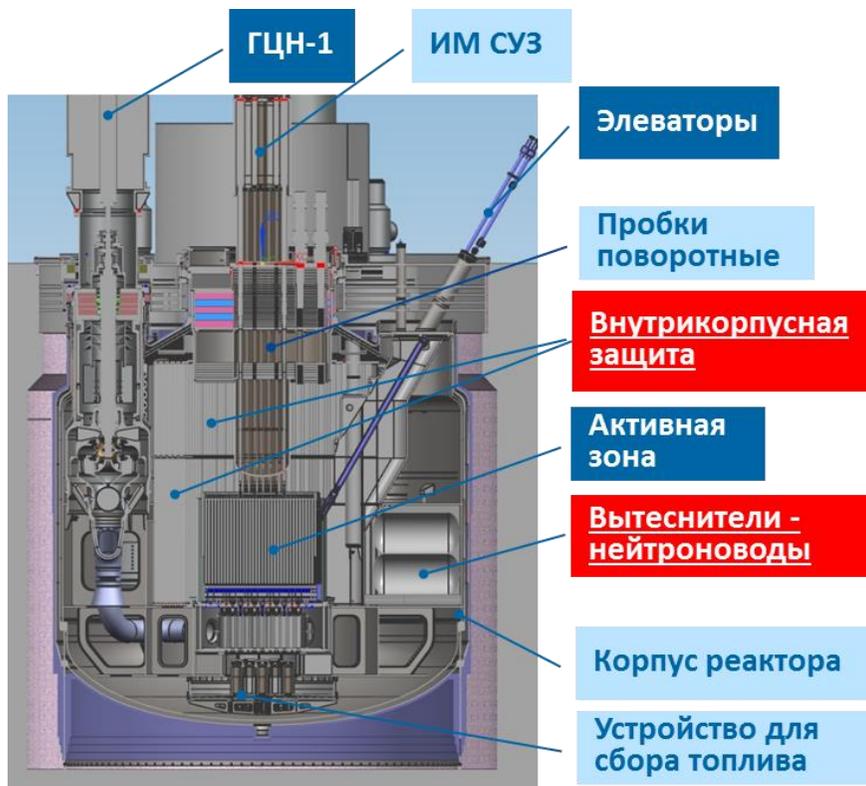


- Статус проекта
- 2014-2016 год:
 - Разработан базовый проект БН-1200 (ТП РУ, ТП турбоустановки, материалы проекта энергоблока);
 - Завершены обосновывающие НИОКР, выполнены проектно-конструкторские исследования в обеспечение улучшения технико-экономических характеристик.
- 2018-2019 год:
 - Разработаны ТЗ РУ БН-1200М, ТЗ ЭБ БН-1200М с привязкой к площадке Белоярской АЭС;
 - Утверждены ТЗ РУ БН-1200М, ТЗ ЭБ БН-1200М;
 - Разрабатываются ТЗ на проектирование для отдельных систем РУ БН-1200М;
 - Ведутся работы по обоснованию конкурентоспособности БН-1200М по сравнению с ВВЭР-ТОИ.
- 2020-2021 год:
 - Разработаны ТЗ системы и элементы АС, в т.ч на ТВЭЛ и ТВС БН-1200М с нитридным и МОКС-топливом;
 - Ключевая задача 2021 года: принятие Решения о целесообразности сооружения и о разработке ТП энергоблока.

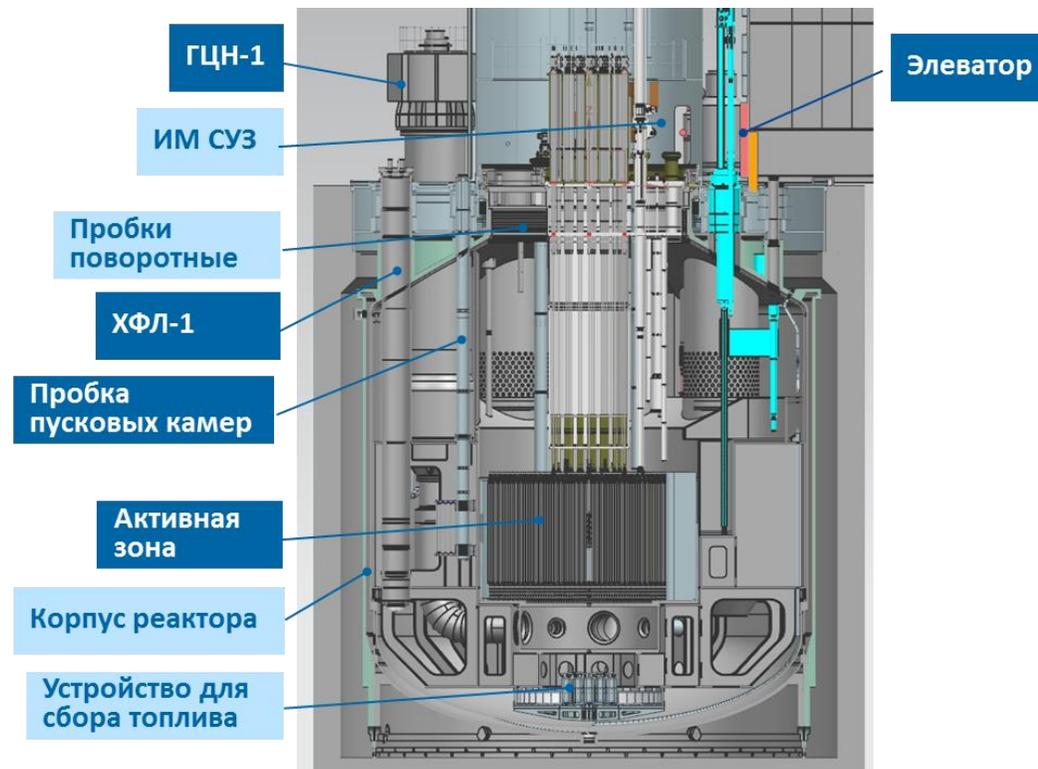
БН-800 – исходная позиция для БН-1200



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС
РОСАТОМ



Реактор БН-800



Реактор БН-1200



Характеристика	Реактор		
	БН-600	БН-800	БН-1200
Технические характеристики			
Номинальная тепловая (электрическая) мощность, брутто, МВт	1470 (600)	2100 (885)	2800 (1220)
К.П.Д. АЭС (брутто/нетто)	42,5 / 40,0	41,9 / 38,8	43,6 / 40,5
КИУМ	0,77 – 0,8	0,85	0,9
Срок службы, лет	30 (45)	45	60
Продолжительность непрерывной работы реактора между перегрузками, эфф. сут	120...170	155	330
Выгорание топлива, МВт·сут/кг	74	66	90
Характеристики безопасности			
Пассивная аварийная защита	–	ПАЗ-Г	ПАЗ-Г, ПАЗ-Т
Система аварийного отвода тепла	В составе 3-го контура	Подключена ко 2-му контуру	Подключена к баку реактора
Вероятность тяжелого повреждения активной зоны	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Технико-экономические характеристики			
Удельный объем здания реактора, м ³	1150	750	508
Удельная материалоемкость РУ, т/МВт(э)	13,0	9,7	5,8



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

624250, г.Заречный, Свердловская обл.,
тел.: (34377) 38045, факс: (34377) 36342,
email: info@belnpp.ru



БЕЛОЯРСКАЯ АЭС
РОСАТОМ