

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПРОДЛЕНИИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГБЛОКА БН-600 ДО 45-ти ЛЕТ

**Б.А. Васильев, А.В. Тимофеев, М.А. Любимов, В.В. Гладков, В.Б. Кайдалов**  
**ОАО «ОКБМ АФРИКАНТОВ», г. Н. Новгород, Россия**



ОКБМ совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» и Белоярской АЭС проведены работы по обоснованию и обеспечению работоспособности заменяемого оборудования реактора БН-600 при продлении проектного срока эксплуатации. Результаты выполненных работ показали, что работоспособность заменяемого оборудования обеспечивается в течение 45-ти лет эксплуатации.

**Ключевые слова:** внутрикорпусные устройства, заменяемое оборудование, ресурсные характеристики.

**Key words:** in-vessel components, replaceable equipment, lifetime characteristics.

## ВВЕДЕНИЕ

Реакторная установка на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БН-600 была введена в эксплуатацию в апреле 1980 г. в составе энергоблока №3 Белоярской АЭС. В связи с истечением в 2010 г. установленного проектом срока эксплуатации энергоблока №3 с РУ БН-600 (30 лет) актуальным было решение задачи продления его проектного срока эксплуатации.

Работы по оценке возможности продления срока эксплуатации энергоблока с РУ БН-600 были инициированы Белоярской АЭС в 1998 г. Важным направлением этих работ была оценка возможности продления до 45-ти лет срока эксплуатации заменяемого оборудования РУ БН-600, разработанного ОКБМ, с учетом техобслуживания, ремонта и замены его отдельных деталей.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ РУ БН-600

Заменяемое реакторное и вне реакторное оборудование РУ БН-600, разработанное ОКБМ, можно разделить на две группы. К первой из них относится оборудование, процессы техобслуживания, ремонта и замены которого освоены, и на них не требуется больших материальных и временных затрат:

- исполнительные механизмы СУЗ;

© **Б.А. Васильев, А.В. Тимофеев, М.А. Любимов, В.В. Гладков, В.Б. Кайдалов, 2011**

- подвески ионизационных камер и счетчиков;
- главные циркуляционные насосы первого и второго контуров;
- механизм перегрузки;
- механизм передачи пакетов передаточного и обмывочного боксов.

Ко второй группе относится оборудование, процессы ремонта или замены которого связаны с относительно длительным (порядка нескольких месяцев) простоем реактора и значительными материальными затратами:

- поворотная пробка;
- центральная поворотная колонна;
- промежуточный теплообменник;
- элеваторы загрузки-выгрузки;
- фильтры-ловушки системы очистки натрия.

На рисунках 1–3 показаны заменяемое реакторное и внереакторное оборудование РУ.

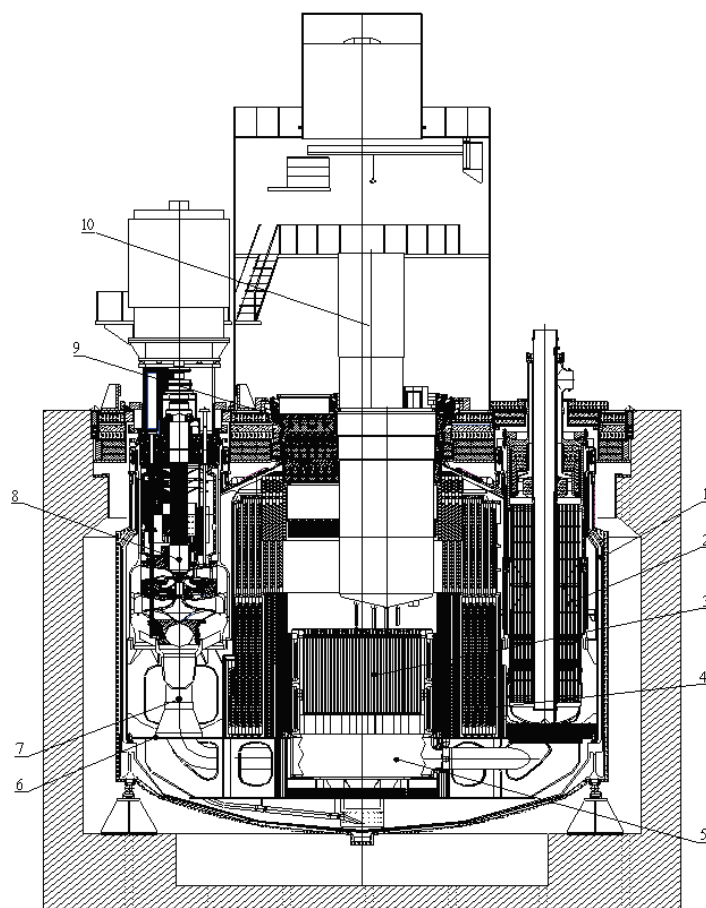


Рис. 1. Реактор БН-600: 1 – корпус реактора; 2 – промежуточный теплообменник; 3 – активная зона; 4 – внутрибаковая защита; 5 – напорная камера; 6 – опорный пояс; 7 – напорный трубопровод; 8 – ГЦН-1; 9 – поворотная пробка с ЦПК; 10 – ИМ СУЗ

### **УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБОСНОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

При подготовке к обоснованию работоспособности заменяемого оборудования РУ БН-600, разработанного ОКБМ, для продления его срока эксплуатации для

каждого вида заменяемого оборудования были разработаны

- методики оценки технического состояния и остаточного ресурса;
- расчеты на прочность;
- отчеты по оценке технического состояния и остаточного ресурса;
- заключения о возможности дальнейшей эксплуатации.

Расчетный анализ по обеспечению работоспособности заменяемого оборудования проводился с учетом принятых режимов эксплуатации РУ (табл. 1).

Анализ проектной и фактической моделей эксплуатации реактора БН-600 показывает, что фактическое количество режимов существенно меньше принятого в проекте.

### Исполнительные механизмы СУЗ

В результате проведенных ОКБМ и ЦНИИ КМ «Прометей» экспериментальных и расчетных работ установлено, что элементами, определяющими ресурс ИМ СУЗ, являются нижние части штанг и лапки захватов, работающие в среде теплоносителя в условиях высоких температур (до 580°C), температурных пульсаций (с размахом 7,9°C на частоте 0,5 Гц) и жесткого нейтронного облучения – до  $0,5 \cdot 10^{22}$  н/см<sup>2</sup>,  $E > 0,1$  МэВ за 30 лет.

Для верхних частей ИМ СУЗ (сервоприводов) фактором, определяющим ресурс, является старение электроизоляционных материалов обмоток электрооборудования (электродвигателей, сельсинов, конечных выключателей, электромагнитных муфт и др.).

Назначенный срок службы ИМ СУЗ составляет 30 лет исходя из установленного ресурса нижней части (пробка со штангой) 140 тыс. ч и обеспечения ее плановой замены и установленного ресурса сервопривода 240 тыс. ч.

Контроль технического состояния ИМ СУЗ в процессе эксплуатации производится на остановленном реакторе во время технического обслуживания и при сцеплении-расцеплении со стержнями (рабочими органами), а также при установке новых механизмов. Объем проверяемых параметров при контроле технического состояния определяется программой. Дополнительно во время каждой перегрузки реактора проводится обследование вибрационного состояния ИМ СУЗ.

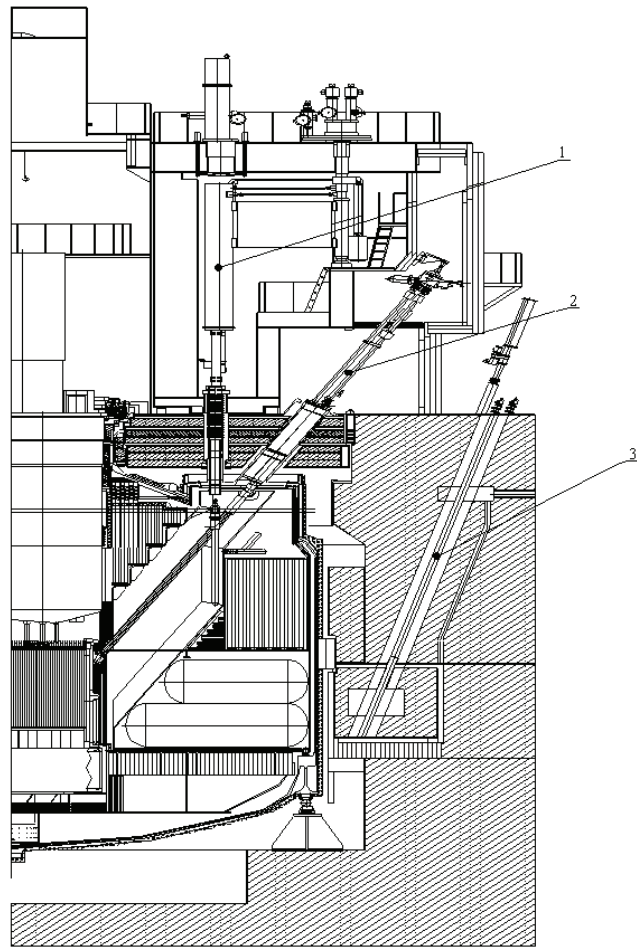
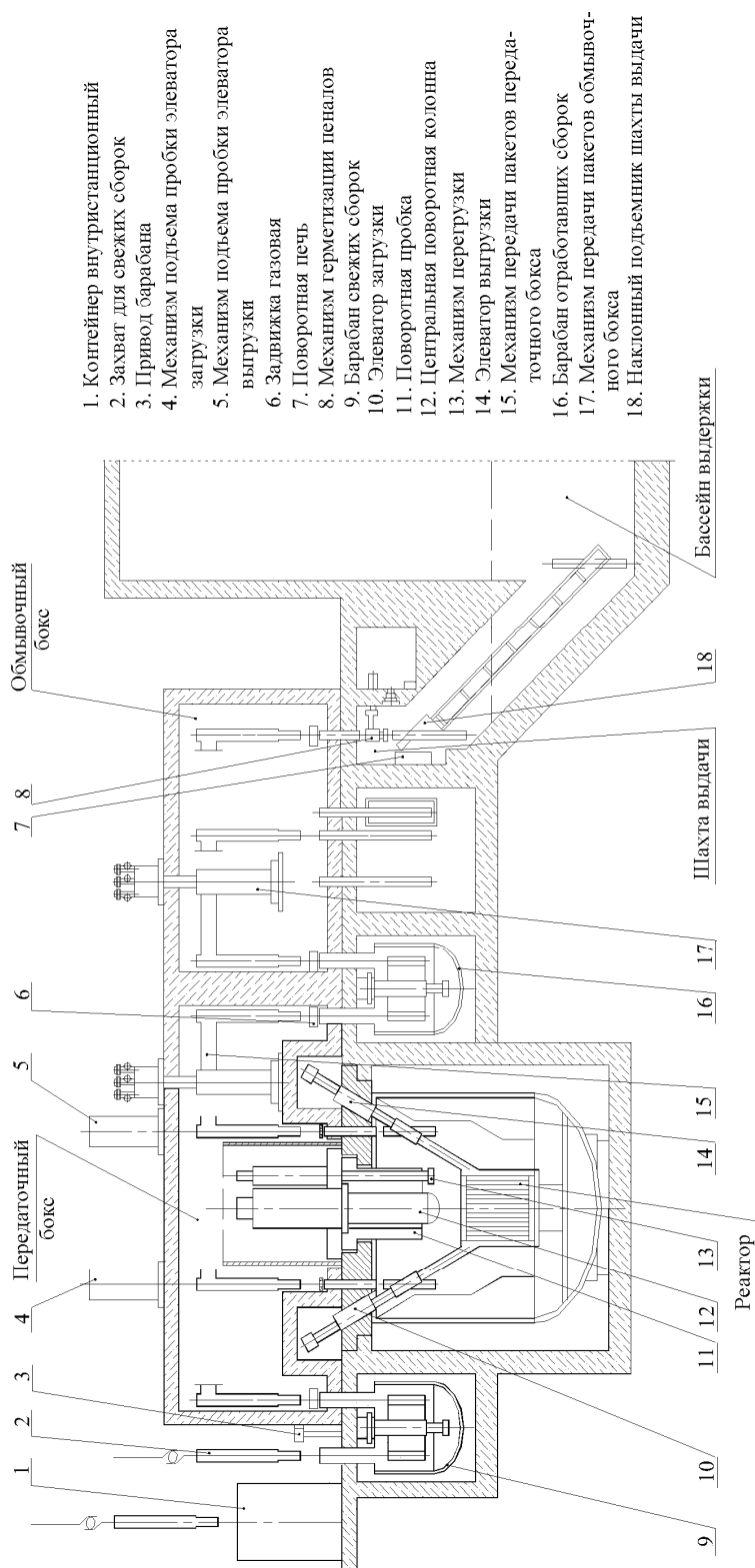


Рис. 2. Реактор БН-600: 1 – механизм передачи сборок передаточного бокса; 2 – элеватор; 3 – подвески ионизационных камер и счетчиков



1. Контейнер внутристанционный
2. Захват для свежих сборок
3. Привод барабана
4. Механизм подъема пробки элеватора загрузки
5. Механизм подъема пробки элеватора выгрузки
6. Задвижка газовая
7. Поворотная печь
8. Механизм герметизации пеналов
9. Барабан свежих сборок
10. Элеватор загрузки
11. Поворотная пробка
12. Центральная поворотная колонна
13. Механизм перегрузки
14. Элеватор выгрузки
15. Механизм передачи пакетов передаточного бокса
16. Барабан отработавших сборок
17. Механизм передачи пакетов обмывочного бокса
18. Наклонный подъемник шахты выдачи

Рис. 3. Комплекс механизмов перегрузки реактора БН-600 (структурная схема)

Таблица 1

Режим работы реактора	Количество циклов		
	Проект на 30 лет	Фактическое за 1980–2009 гг.	Прогнозируемое за 45 лет до 2025 г.
Изменения мощности реактора в пределах 25–100% $N_{ном}$ со скоростью изменения температуры на выходе из активной зоны не более 30°C/ч	Не оценивается		
Останов реактора со скоростью изменения температуры на выходе из реактора не более 30°C/ч с расхолаживанием до температуры натрия в баке реактора 220–300°C	150	78	170*
Срабатывание быстрой аварийной защиты (БАЗ) реактора с расхолаживанием до температуры натрия в баке реактора 220–300°C	200	24	60*
Пуск блока после останова или БАЗ со скоростью изменения температуры натрия на выходе из активной зоны не более 30°C/ч	350	112	230*
Отключение петли теплообмена на уровне мощности реактора 30% $N_{ном}$ , в том числе на петлю	250	74	220*
	120	32	85*
Подключение неработающей петли на уровне мощности реактора до 35% $N_{ном}$ , при двух других работающих петлях, в том числе на петлю	200	50	160*
	100	22	80*

\* Принято консервативно для расчетов прочности оборудования

По результатам проведенных работ было определено, что с учетом наличия необходимого количества ЗИП по ИМ СУЗ имеется возможность обеспечения эксплуатации ИМ СУЗ РУ БН-600 до 2025 г.

### Подвески ионизационных камер и счетчиков

Для контроля нейтронного потока РУ БН-600 в эксплуатации на БАЭС находятся 16 рабочих подвесок ИК с камерами КНК 15-1 и четыре подвески счетчиков СНМ 18-1.

Контроль технического состояния подвесок проводится ежегодно в соответствии с методикой контроля технического состояния. За весь период эксплуатации с февраля 1980 г. и до настоящего времени отказов и повреждений подвесок не было.

Изначально назначенный ресурс подвесок ИК и механизмов перемещения счетчиков был установлен 70000 ч., а назначенный срок службы – 10 лет.

Блок детектирования со счетчиками нейтронов СНМ18-1 в комплект поставки подвески счетчика не входит, а приобретается и устанавливается в механизм перемещения счетчика службой эксплуатации БАЭС.

За время эксплуатации по результатам контроля технического состояния срок службы и ресурс подвесок неоднократно продлевались. В соответствии с техническим решением от 2009 г. срок службы подвесок и механизмов перемещения счетчиков продлен до 30.10.2012г. В настоящее время идет изготовление нового

комплекта подвесок ИК и двух механизмов перемещения счетчиков со сроком поставки в 2012 г.

Таким образом, с учетом необходимого количества ЗИП имеется возможность эксплуатации РУ БН-600 до 2025 г.

### **Главные циркуляционные насосы**

Главный циркуляционный насос первого контура (ГЦН-1) работает при температуре натрия, равной 380°C (320°C для ГЦН-2). Давление аргона в газовой полости ГЦН-1 составляет величину 0,04 МПа (для ГЦН-2 0,2 МПа). Основными нагрузками, влияющими на работоспособность ГЦН, являются циклические изменения давления теплоносителя, температуры, крутящего момента во время пуска и останова насосов. Статическая прочность элементов насосов обеспечивается по всем категориям напряжений в условиях нормальной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации

Основным фактором, ограничивающим работоспособность ГЦН-I, является кавитационно-эрозионный износ лопастей рабочего колеса, поэтому периодически требуется их замена.

Обязательными условиями обеспечения 45-летнего срока службы ГЦН являются техническое обслуживание, постоянный контроль за работой ГЦН и своевременное изготовление запасных частей взамен выработавших свой ресурс или вышедших из строя узлов. Перечень контролируемых параметров определен инструкциями по эксплуатации реактора и ГЦН. Периодичность и содержание контроля технического состояния ГЦН в процессе эксплуатации, технического освидетельствования, оценки состояния основного металла и сварных соединений отражены в методике контроля технического состояния ГЦН.

Руководство по ремонту ГЦН определяет периодичность и содержание видов ремонтов ГЦН, приурочиваемых к двум ежегодным ППР третьего блока БАЭС:

- капитальные, связанные с извлечением из контуров выемных частей, выработавших назначенный ресурс (57000 ч для ГЦН-1 и 125000 ч для ГЦН-2) и заменой их на заранее подготовленные запасные;
- средние – через 25000 ч замены по той же причине уплотнений вала ГЦН, требующие обязательного демонтажа электродвигателя;
- текущие, не требующие демонтажа электродвигателя.

Для ГЦН БН-600 периодически изготавливаются вновь

- комплекты резинотехнических изделий, используемых в качестве уплотняющих деталей в уплотнениях вала и подшипниках;
- рабочие колеса для ГЦН-1, кавитационно-эрозионный износ лопастей которых ограничивает срок их эксплуатации – 57000 ч.

С учетом запланированного изготовления указанных заменяемых деталей обеспечивается работа ГЦН-1 и ГЦН-2 при сроке службы РУ БН-600 45 лет.

### **Оборудование комплекса механизмов перегрузки**

В состав комплекса механизмов перегрузки реактора БН-600 входят поворотная пробка (ППр), центральная поворотная колонна (ЦПК), два механизма перегрузки (МП), элеваторы загрузки и выгрузки (ЭЗ и ЭВ), механизмы передачи пакетов передаточного и обмывочного боксов (МПП ПБ и МПП ОБ), барабаны свежих и отработавших сборок (БСС, БОС).

Структурная схема комплекса механизмов перегрузки приведена на рис. 3.

В 2004 г. ОКБМ выполнило предварительную оценку работоспособности заменяемого оборудования при продлении срока его эксплуатации.

Проведенный анализ показал, что при условии выполнения регламентного техобслуживания и замен состояние заменяемого оборудования позволяет продлить его эксплуатацию до 45-ти лет.

С учетом опыта эксплуатации в настоящее время сложился определенный объем мероприятий по обслуживанию перегрузочного оборудования, направленный на обеспечение его работоспособности при продленном сроке эксплуатации до 45-ти лет:

- контроль технического состояния (работы по проверке состояния оборудования перед началом каждой перегрузки);
- ежесменный контроль (работы по проверке состояния оборудования перед началом каждой смены в процессе перегрузки реактора);
- плановые работы по текущему и среднему ремонту, целью которых является восстановление работоспособности оборудования путем его замены или замены узлов, выработавших свой ресурс.

### **Поворотная пробка**

Внутренняя полость верхней части ППр эксплуатируется в атмосфере аргона с температурой до 150°C, с внешней стороны верхней плиты находится воздух с температурой до 45°C. Средняя часть поворотной пробки эксплуатируется в среде аргона с температурой до ~450°C. Нижняя часть ППр работает в среде натрия при температуре до ~550°C.

Наиболее важной составной частью ППр, от состояния которой зависит возможность продления ее срока службы, является средняя часть пробки.

По поворотным пробкам (ППр и ЦПК) в первые годы эксплуатации основные отказы были связаны с незначительным нарушением герметичности уплотнения гидрозатворов (наличие грязи в сплаве гидрозатвора) и дублирующего уплотнения. Введенный и впоследствии установившийся регламент очистки гидрозатворов позволил устранить данную проблему.

Начиная с 1990 г. наблюдалось увеличение усилия (в 3–4 раза) на ручном приводе вращения при «расхаживании» ППр. В соответствии с ранее выработанным регламентом «расхаживание» изначально выполняется от ручных приводов. В дальнейшем процесс вращения производится от электродвигателя. Такой режим «расхаживания» ППр осуществляется по настоящее время.

Поскольку шаровой погон ППр расположен примерно на одной отметке с шаровым погоном ЦПК, то увеличение усилия на ручном приводе ППр при ее «расхаживании» можно объяснить образованием в районе шарового погона ППр отложений натрия и его окислов, аналогично отложениям, образовавшимся на ЦПК. В начальный период «расхаживания» происходит выдавливание отложений натрия с беговой дорожки шарового погона и после этого сопротивление вращению ППр снижается. Перегрузки проходят без серьезных замечаний по вращению ППр.

Других факторов, ограничивающих ресурс ППр за время эксплуатации, не выявлено.

Наиболее напряженной зоной ППр, с точки зрения прочности, является ее средняя часть. Анализ напряженно-деформированного состояния с учетом действующих нагрузок и оценка повреждения конструкции средней части ППр за 45 лет эксплуатации показали, что максимальная циклическая расчетная величина суммарного повреждения составит величину, не превышающую допустимого значения  $[a] = 1,0$ .

По результатам проведенных работ с учетом наличия ЗИП (комплект дублирующих уплотнений, комплекты резинотехнических изделий для приводов и др.) было определено, что имеется возможность эксплуатации поворотной пробки до 2025 г.

### **Центральная поворотная колонна**

Средняя и нижняя части центральной поворотной колонны (ЦПК) с направляющими трубами работают в среде теплоносителя при температуре до ~550°C. Верхняя часть колонны эксплуатируется, с одной стороны, в атмосфере аргона с температурой до 450°C, с другой стороны (со стороны верхней плиты колонны), в атмосфере воздуха с температурой до 45°C.

Наиболее важными составными частями ЦПК, от состояния которых зависит возможность продления ее срока службы, являются верхняя (герметичная), средняя и нижняя части колонны.

Начиная с конца 1990 г. наблюдались затруднения при вращении ЦПК.

В 1998 г. для устранения причины повышения крутящего момента и «затираний» ЦПК при ее вращении была проведена уникальная ремонтная операция с подъемом ЦПК, которая обеспечила восстановление ее работоспособности. В процессе обследования ЦПК после нарушения ее работоспособности было установлено, что обечайка верхней части ЦПК имеет выпуклость, приведшую к «затиранию» при вращении ЦПК, которая была устранена путем удаления наружного слоя металла с деформированной части обечайки.

В зоне расположения шаровых погон были обнаружены отложения натрия и его окислов, которые, по возможности, максимально были удалены. Также были заменены шаровые опоры ЦПК (шары и сепараторы).

После ремонта перегрузки ТВС проходили без серьезных замечаний по вращению колонны. Других факторов, ограничивающих ресурс ЦПК за время эксплуатации, не выявлено.

Для оценки работоспособности ЦПК после вышеупомянутого ремонта были выполнены анализ напряженно-деформированного состояния и оценка повреждаемости ее конструкций при продлении срока эксплуатации.

По анализу состояния ЦПК, результатов расчетов, выполненных на современной нормативной базе, и наличия ЗИП (направляющая труба СУЗ, комплект дублирующих уплотнений, комплекты резинотехнических изделий для приводов и др.) было определено, что имеется возможность эксплуатации до 2025 г.

### **Механизм перегрузки**

Нижние части механизма перегрузки (МП) находятся в среде натрия и аргона. В режиме работы реактора на номинальной мощности температура натрия не более 530°C, температура аргона, находящегося над уровнем натрия, составляет 400°C, давление аргона до 0,05 МПа. В режиме перегрузки температура натрия не более 250°C, давление аргона до 0,005 МПа.

Верхние части МП работают под защитным колпаком реактора в среде воздуха с температурой до 40°C и относительной влажностью не более 80% (при температуре 25°C).

Основными эксплуатационными факторами, ограничивающими ресурс МП, являются циклические нагрузки (механические и температурные) и радиационное облучение.

Приводы МП расположены выше тепловой и биологической защиты и не подвергаются воздействию высоких температур и радиационного облучения.

Механическое циклическое воздействие испытывают детали приводов, исполнительные органы (захватное устройство) и направляющая труба, которая подвергается термоциклическому воздействию и нейтронному облучению.

Анализ прочности и ресурсных характеристик элементов МП, подвергающихся воздействию повреждающих факторов, показал следующее:



- элементом, определяющим ресурс МП, является силовая передача привода захватного устройства (имеет наименьший запас прочности);
- суммарная повреждаемость направляющей трубы МП, работающей в условиях термоциклического воздействия и нейтронного облучения, меньше допускаемой величины ( $[a] = 1$ ) при сроке эксплуатации 45 лет.

В настоящее время на основании результатов выполненных работ срок службы находящихся в эксплуатации механизмов перегрузки продлен до 2015 г. (35 лет). Возможность эксплуатации МП после 2015 г. будет определяться на основании опыта эксплуатации, наличия ЗИП и результатов среднего ремонта.

Для обеспечения эксплуатации МП в течение 45-ти лет необходимо

- производить замену отдельных элементов (сельсины, микровыключатели и т.п.) в соответствии с руководством по среднему ремонту;
- не реже одного раза в пять лет проводить техническое освидетельствование и, при необходимости, выполнять текущий ремонт.

### **Элеваторы загрузки-выгрузки**

Основными эксплуатационными факторами, ограничивающими ресурс, являются циклические нагрузки (механические и температурные) и радиационное облучение.

Механическому циклическому воздействию подвергаются детали приводов и исполнительные органы – цепь с тягой и штанга, а также их опоры качения. Термоциклическому нагружению подвергается нижняя опора элеватора, расположенная на отражателе нейтронов (подпорке). Эффект радиационного формоизменения проявляется в наибольшей степени для направляющей и нижней опоры элеватора.

Приводы элеваторов расположены выше тепловой и биологической защиты и не подвергаются воздействию высоких температур и радиационного облучения. Оценка прочности зубчатых передач привода элеватора показала, что они имеют достаточные запасы, обеспечивающие их работоспособность при продлении срока эксплуатации.

Кроме того, техническое освидетельствование и ремонт приводов являются периодически выполняемыми операциями и при этом не требуется длительный останов реактора.

Поэтому определяющую роль в работоспособности элеваторов играют их нижние части (направляющая, втулка, накладки), эксплуатирующиеся в условиях высоких температур и нейтронного облучения до  $8,8 \cdot 10^{21}$  н/см<sup>2</sup> с  $E > 0,1$ МэВ за 45 лет работы.

Анализ радиационной повреждаемости и термоциклической прочности этих конструкций показал следующее:

- термоциклическая повреждаемость направляющей в основании элеватора с учетом нейтронного облучения к 2025 г. будет меньше допускаемой величины  $[a] = 1$ ;
- радиационное распухание не приводит к уменьшению технологического зазора между штырем и втулкой в основании элеватора.

На основании результатов проведенных работ срок службы находящихся в эксплуатации элеваторов продлен до 2025 г.

Для обеспечения эксплуатации элеваторов в течение 45-ти лет необходимо

- производить замену отдельных элементов (сельсины, микровыключатели и т.п.), входящих в состав элеваторов, в соответствии с руководством по среднему ремонту;

- не реже одного раза в пять лет проводить техническое освидетельствование элеваторов и, при необходимости, выполнять текущий ремонт.

### **Механизмы передачи пакетов передаточного и обмывочного боксов**

Механизмы передачи пакетов (МПП) передаточного (ПБ) и обмывочного (ОБ) боксов расположены соответственно в передаточном и обмывочном боксах.

Среда в полости ПБ – аргон с парами натрия при давлении до 0,005 МПа и температуре до 80°C. Среда снаружи ПБ и внутри ПБ при техническом обслуживании – воздух центрального зала с температурой до 40°C. Среда в полости ОБ – азот с парами натрия и воды при давлении до 0,005 МПа и температуре до 80°C. Среда снаружи ОБ и внутри при техническом обслуживании – воздух центрального зала с температурой до 40°C.

Срок службы механизмов передачи пакетов был установлен в 30 лет.

Основными эксплуатационными факторами, ограничивающими ресурс механизмов передачи пакетов, являются циклические нагрузки. Механическому циклическому нагружению подвергаются детали приводов поворота колонны, перемещения рейки и захвата.

Анализ расчетных и допускаемых напряжений показал, что зубчатые передачи имеют достаточные запасы прочности при продлении срока эксплуатации.

В настоящее время на основании оценки технического состояния, выполненных расчетов и наличия ЗИП выпущено обоснование возможности продления эксплуатации механизмов передачи пакетов до 45-ти лет в составе РУ БН-600 с учетом своевременного проведения контроля технического состояния и текущих ремонтов и решение о продлении срока службы и условиях дальнейшей эксплуатации механизмов передачи пакетов энергоблока БН-600 до 45-ти лет.

### **Промежуточный теплообменник**

Основным фактором, влияющим на накопление повреждений промежуточного теплообменника (ПТО), является циклическое воздействие нагрузок, которое формируется из сочетания режимов пуска, останова (со срабатыванием БАЗ и плановой), работы на энергетическом уровне мощности.

Анализ расчетных обоснований прочности ПТО показал, что ресурс и работоспособность теплообменника определяется состоянием двух критических элементов: узла соединения верхней трубной доски (ВТД) с наружной обечайкой и самой ВТД.

Для подтверждения этих выводов и с целью уточнения ресурса, оценки возможности продления срока эксплуатации ПТО и обеспечения эксплуатации РУ БН-600 до 45-ти лет в 2006 г. один из теплообменников (5 ПТО-А) был извлечен из реактора для проведения исследований.

Проведенные исследования до и после разрезки ПТО показали:

- состояние поверхностей металла теплообменника, сварных швов в целом осталось неизменным;
- износ теплообменных труб не обнаружен;
- прочностные характеристики металла теплообменника, сварных швов в целом остались неизменными;
- наличие трещин на наружной поверхности ВТД и примыкающей к ней обечайки с максимальной глубиной до 7 мм.

Анализ причин возникновения трещин показал, что они могли образоваться в результате воздействия пульсаций температур, вызванных смешением разнотем-

пературных потоков: натрия, поступающего на вход ПТО (с температурой 550°C), и натрия, поступающего из системы охлаждения корпуса реактора (с температурой 390°C).

Результаты расчетно-экспериментальных исследований, проведенных ОКБМ и ЦНИИ КМ «Прометей», показали, что зарождение и распространение трещин в ВТД ПТО происходило, в основном, по межзеренному механизму за счет многоцикло-вой усталости. Расчетный анализ развития трещин, выполненный с использованием экспериментальных значений циклической трещиностойкости конструкционного материала ПТО, показал, что при самых консервативных предпосылках глубина обнаруженных трещин не достигнет критического значения. Таким образом, выполненные расчетно-экспериментальные исследования подтвердили возможность продления срока эксплуатации промежуточных теплообменников РУ БН-600 до 45-ти лет.

### **Фильтры-ловушки**

Фильтры-ловушки предназначены для очистки натрия первого и второго контуров, а также контура охлаждения барабана отработавших сборок (БОС) РУ БН-600. Срок службы фильтров-ловушек определяется, в основном, ресурсом по накоплению примесей. Суммарный остаточный ресурс фильтров-ловушек первого контура и контура охлаждения БОС по накоплению примесей достаточен для продления их срока эксплуатации до 45-ти лет.

Оцененный суммарный объем накопленных примесей в фильтрах-ловушках первого и второго контуров составляет соответственно 3594 и 4295 кг при проектной емкости 7320 и 6600 кг.

Ресурс фильтров-ловушек второго контура может продлеваться после проведения регенерации. За период эксплуатации РУ БН-600 проведена регенерация двух фильтров-ловушек второго контура из имеющихся шести. При регенерации ее продукты локализируются в днищевой части фильтра-ловушки (зона отстойника) и частично остаются там после завершения процесса, незначительно уменьшая полезный объем, что, как показывает опыт дальнейшей эксплуатации указанных ловушек, а также ранее длительно эксплуатирующихся аналогичных ловушек РУ БН-350, не оказывает заметного влияния на их основные характеристики (вместимость по накоплению примесей, расход натрия).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

ОКБМ совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» и Белоярской АЭС проведены работы по обоснованию и обеспечению работоспособности заменяемого оборудования реактора БН-600 при продлении проектного срока эксплуатации энергоблока №3 Белоярской АЭС до 45-ти лет.

Результаты выполненных работ показали, что работоспособность заменяемого оборудования РУ БН-600 разработки ОКБМ обеспечивается в течение 45-ти лет эксплуатации при условии проведения контроля за его работой, контроля технического состояния, наличия ЗИП и своевременного ремонта или замены изношенных деталей и узлов.

Поступила в редакцию 14.10.2010

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.526

*Status and Trends of the Fast Reactor Technology Development* \V.M. Poplavsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 11 pages, 7 tables, 3 illustrations. – References, 8 titles.

It is shown that by the present time only the technology of the fast sodium-cooled reactors as a basis of the new technological platform involving the closed fuel cycle is actually available to be commercialized. It is declared that the utilization of other coolants can improve safety and performance of the fast reactors.

### УДК 621.0395.2

*Development of the Design of the Large Sodium-Cooled Fast Reactor Unit (BN-K)* \N.N. Oshkanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 3 illustrations. – References, 4 titles.

The choice of the BN-K commercial fast reactor as a basis of the new technological platform is justified. The ways of reduction in the unit cost of the construction down to the BNPP-2006 project are shown.

### УДК 621.039.526

*30-year Commercial Operating Experience from the BN-600 Reactor* \M.V. Bakanov, O.A. Potapov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages, 1 table, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The main outcomes of the operation of the BN-600 liquid metal fast reactor and achieved performance indicators are considered. The fields of work on the BN-600 lifetime extension are presented.

### УДК 621.039.5

*Facts from the BN-600 Development History* \L.A. Kochetkov, V.M. Poplavsky, M.F. Troyanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages.

The concise historical review of the design, construction and operation of the BN-600 power unit, BN-350 power unit successor but designed on a different technological platform, is presented. The problems encountered at the initial stage of the BN-600 operation are shown. The perspectives of the development of the fast sodium-cooled reactors are shown.

### УДК 621.039.53

*Development of the Methodology and Justification of the Extension of Lifetime of the Vessel and Irreplaceable in-vessel Components of the BN-600 Reactor to 45 Years* \B.A. Vasilev, O.Yu. Vilensky, V.B. Kaydalov, Yu.L. Kamanin, B.Z. Margolin, A.G. Gulenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 12 pages, 2 tables, 3 illustrations.

The predictive analysis of the effect of the negative factors on the lifetime of the irreplaceable BN-600 reactor components (reactor vessel, irreplaceable in-vessel components) has been fulfilled. The results of the completed work have shown that the serviceability of the vessel and irreplaceable in-vessel components of the BN-600 reactor for 45 years of operation is ensured.

### УДК 621.039.5

*Ensuring the Serviceability of the Replaceable Reactor Components while Extending the BN-600 Power Unit Lifetime up to 45 Years* \B.A. Vasilev, A.V. Timofeev, M.A. Lyubimov, V.V. Gladkov, V.B. Kaydalov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 11 pages, 1 table.

The Experimental machine-building design office together with the Central research centre of structural materials called «Prometheus» and Beloyarsk NPP have carried out the work on justifying and ensuring the serviceability of the replaceable equipment of the BN-600 reactor while extending

the design lifetime. The results of the completed work have shown that the serviceability of the replaceable equipment is ensured for 45 years of operation.

**УДК 621.039.56**

*Problem of the Lowering of the Nuclear Power Plant Personnel Exposure* \O.L. Tashlykov, S.E. Shcheklein, V.I. Bulatov, A.G. Shastin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 3 illustrations. – References, 7 titles.

The data on the change in the personnel exposure at different stages of the nuclear power plant life cycle are presented. The evolution of the measures on reduction in the exposure and their efficiency are considered. The role of the remote and automated devices in the reduction of the personnel exposure during maintenance and inspection is shown. The main fields of the studies on solving the tasks of the personnel exposure optimization during the NPP decommissioning are presented.

**УДК 621.039.58**

*Beloyarsk NPP BN-600 Reactor Unit 3 Lifetime Extension* \A.M. Zavalishen, S.L. Kim, V.V. Maltsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 12 pages, 9 illustrations. – References, 19 titles.

The analysis of the condition of the BN-600 power unit equipment is reviewed, the possibility, the safety and the appropriateness of the power unit lifetime extension is assessed as well as the measures taken to improve the power unit safety and replace its equipment and extend its lifetime are presented.

**УДК 621.039.56**

*Utilization of the Reactivity Monitoring Counting Channel for In-Service Monitoring of Beloyarsk NPP Unit 3 BN-600 Reactor Core Characteristics* \V.A. Zhyoltyshev, V.A. Lititsky, I.P. Matveenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 10 pages, 6 tables, 3 illustrations. – References, 9 titles.

The utilization of the reactivity monitoring counting channel manufactured by the Federal state unitary enterprise “State scientific centre “IPPE” has allowed the additional reactivity monitoring methods which make it possible to improve both the safety and effectiveness of the reactor operation to be developed. The experience accumulated during the development can serve as the basis during the work of the same type for the BN800 reactor and other perspective fast reactors.

**УДК 621.039.54**

*Location of the Failed Fuel Sub-Assemblies in the BN-600 Reactor Core using a Sector Failed Fuel Detection System* \A.S. Zhilkin, S.A. Gurev, S.L. Osipov, A.V. Salyaev, V.A. Shamansky, A.G. Tsikunov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 2 tables, 6 illustrations.

The results of the development of the algorithm and M36 code which is used to define a direction to the failed fuel sub-assembly in the core, a sector and a group of the slots in the sector where the failed fuel sub-assembly is located are presented. The results of the calculation using the M36 code are compared with the test data and the generally good agreement for the reactor core slots is shown.

**УДК 621.039.54**

*Automated Complex for Nondestructive Examination of the Irradiated BN-600 Reactor Components* \M.V. Kuprienko, S.S. Sagalov, A.N. Kostyuchenko, E.V. Kubasov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 9 illustrations. – References, 5 titles.

The state-of-the-art methodological equipment for the post-irradiation examination of the condition of the sub-assemblies and absorbing and fuel pins of the BN-600 reactor has been developed. Equipping the Beloyarsk NPP shielded cell with the process and research equipment of the second modification allows the efficient diagnosis of the condition of the BN-600 reactor core components to be presently conducted.