

Результаты обоснования работоспособности незаменимых элементов реактора БН-600 при продлении срока службы до 60-ти лет

О.Ю. Виленский, Д.Л. Осетров, С.А. Пристром, С.А. Рогожкин, А.И. Староверов

АО «ОКБМ Африкантов»,

603074 Россия, г. Нижний Новгород, Бурнаковский проезд, 15

Реферат. Выполнен прогнозный анализ работоспособности незаменимых элементов РУ БН-600 на срок эксплуатации 60 лет с использованием нормативной методики «Расчет прочности основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» МТ 1.2.3.06.1080-2015, учитывающей влияние негативных факторов на ресурс незаменимого оборудования реактора БН-600. Обоснование работоспособности выполнялось для наиболее значимых незаменимых элементов реактора БН-600, определяющих принятие решения о возможности продления эксплуатации РУ до 60-ти лет: корпуса реактора, напорной камеры, нейтронной подпорки, коллекторов, блока напорного трубопровода, опорного пояса, опоры теплообменника, труб боковой защиты. На основании результатов выполненных исследований сделано заключение о возможности продления срока эксплуатации рассмотренных незаменимых элементов реактора БН-600 до 60-ти лет и получена лицензия Ростехнадзора на продление эксплуатации энергоблока № 3 Белоярской АЭС с реактором БН-600 до 2040 г.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, незаменимые элементы, радиационное формоизменение, ползучесть, распухание, трещина, усталость.

Для цитирования: Виленский О.Ю., Осетров Д.Л., Пристром С.А., Рогожкин С.А., Староверов А.И. Результаты обоснования работоспособности незаменимых элементов реактора БН-600 при продлении срока службы до 60 лет. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2026;1:98–109. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.08>

Введение

Энергоблок № 3 Белоярской АЭС с реактором БН-600 на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем был введен в эксплуатацию 8 апреля 1980 г., и установленный проектом срок службы энергоблока (30 лет) истек в 2010 г. В то время БН-600 являлся единственным в России и в мире действующим энергетическим реактором такого типа с положительным опытом эксплуатации, и продление срока его службы являлось весьма актуальной задачей.

Возможность эксплуатации энергоблока за пределами назначенного срока, в основном, определяется ресурсными характеристиками незаменяемого оборудования, к которому в первую очередь относятся корпус и внутрикорпусные элементы реактора. Эти конструкции практически недоступны для проведения эксплуатационного контроля и ремонта, поэтому особую значимость приобретает расчетный анализ их работоспособности. Эти расчеты были начаты специалистами АО «ОКБМ Африкантов» в 2004 г. с использованием «Норм расчета на прочность оборудования и трубопроводов АУЭ» ПНАЭ Г-7-002-86 и показали, что для полного обоснования работоспособности незаменяемых элементов реактора БН-600 на срок 45 лет необходима разработка специализированной нормативной методики, учитывающей следующие факторы:

- деградацию механических свойств конструкционных материалов на базе до $3 \cdot 10^5$ ч;
- данные по радиационному распуханию и ползучести конструкционных материалов;
- механизмы повреждения в условиях ползучести и нейтронного облучения, а также взаимодействия усталости и ползучести;
- двухстадийность процесса разрушения – зарождение трещин и их развитие до критических размеров.

Такая методика была разработана головной материаловедческой организацией в области реакторного машиностроения при участии специалистов АО «ОКБМ Африкантов» в виде руководящего документа «Методика расчета прочности основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» РД ЭО 1.1.2.09.0714-2007.

С применением этой методики специалистами АО «ОКБМ Африкантов» были выполнены работы по обоснованию работоспособности корпуса и внутрикорпусных незаменяемых элементов реактора БН-600 на срок службы 45 лет [1], вошедшие в комплекс работ по «Программе подготовки энергоблока № 3 Белоярской АЭС к продлению срока эксплуатации». В результате успешного завершения этих работ эксплуатирующей организацией была получена лицензия Ростехнадзора на продление срока эксплуатации энергоблока № 3 до 30.03.2020 г. (на 10 лет), которая впоследствии в результате выполнения ее условий была продлена еще на 5 лет (до 2025 г.).

В 2013 г. по инициативе эксплуатирующей организации АО «ОКБМ Африкантов» была выполнена предварительная оценка возможности продления срока эксплуатации оборудования РУ БН-600 свыше 45-ти лет (до 50-ти, 55-ти и 60-ти лет) с использованием методики «Расчет прочности основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» РД ЭО 1.1.2.09.0714-2011, актуализированной той же головной материаловедческой организацией. Выполненный анализ показал, что имеется достаточное основание для проведения более детальных исследований по обоснованию продления срока эксплуатации РУ БН-600 до 60-ти лет [2].

В 2018 г. АО «ОКБМ Африкантов» были скорректированы расчетные обоснования работоспособности незаменяемых элементов реактора БН-600 на срок эксплуатации 45 лет (в связи с условиями действия лицензии от 30.03.2010) и выполнена предварительная оценка их остаточного ресурса на срок эксплуатации 60 лет. Расчеты выполнялись по методике «Расчет прочности основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем» МТ 1.2.3.06.1080-2015, актуализированной головной материаловедческой организацией по результатам дополнительных материаловедческих исследований 2014 – 2015 гг. Результаты выполненных расчетов подтвердили работоспособность незаменяемых элементов при

эксплуатации до 45-ти лет, а также принципиальную возможность ее продления на дополнительный срок эксплуатации – до 60-ти лет [3].

Критические незаменимые элементы реактора БН-600 и условия их эксплуатации

Основная задача выполненного анализа состояла в уточненном расчетном обосновании работоспособности критических незаменимых элементов реактора БН-600 по нормативной методике МТ 1.2.3.06.1080-2015 с учетом прогнозируемой модели эксплуатации на срок до 60-ти лет.

Перечень критических элементов реактора БН-600 был определен АО «ОКБМ Африкантов» ранее, при обосновании возможности продления срока эксплуатации энергоблока до 45-ти лет [1]. Выбор критических элементов проводился по следующим критериям:

- невозможность замены и ремонта;
- недоступность для осмотра и контроля технического состояния;
- максимальные значения основных повреждающих факторов;
- влияние на безопасность.

В соответствии с этими критериями к критическим были отнесены незаменимые элементы реактора БН-600, перечисленные на рис. 1.

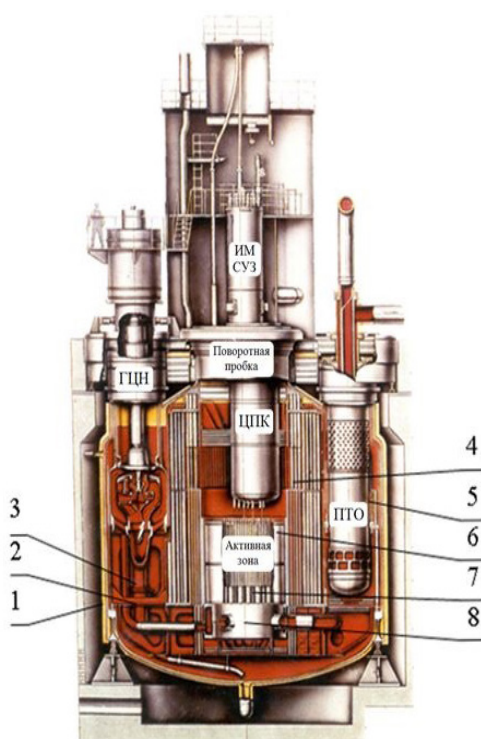


Рис. 1. Реактор БН-600: 1 – корпус; 2 – опорный пояс; 3 – блок напорного трубопровода; 4 – трубы; 5 – опора ПТО; 6 – подпорка; 7 – коллекторы; 8 – напорная камера

Результаты обоснования работоспособности незаменяемых элементов реактора БН-600 при продлении срока службы до 60-ти лет

С учетом фактической модели эксплуатации реактора БН-600 за 42 года работы в 2023 г. была разработана уточненная прогнозная модель, учитывающая дополнительный период работы реактора до 60-ти лет в части количества режимов различного типа. При этом количество режимов, формирующих циклы теплосмен, прогнозировалось для срока эксплуатации до 60-ти лет путем линейной экстраполяции от фактического количества с некоторым запасом (табл. 1).

Таблица 1

Прогнозируемое количество циклов теплосмен при работе реактора БН-600

| Режимы работы реактора | Количество режимов | |
|--|------------------------|--------------------------|
| | Фактическое за 42 года | Прогнозируемое за 60 лет |
| 1. Работа на мощности реактора в пределах 25 – 100% $N_{ном}$ | Не ограничено | |
| 2. Останов реактора с расхолаживанием до температуры натрия в баке реактора 220 – 300°C | 103 | 178 |
| 3. БАЗ реактора с расхолаживанием до температуры натрия в баке реактора 220 – 300°C | 29 | 54 |
| 4. Пуск реактора после останова или БАЗ | 134 | 232 |
| 5. Подключение неработающей петли при двух других работающих петлях, не более в том числе на петлю – не более | 66 | 107 |
| | 28 | 50 |
| 6. Отключение петли теплообмена, не более в том числе на петлю – не более | 105 | 181 |
| | 41 | 73 |

Максимальные расчетные значения параметров эксплуатации незаменяемых элементов реактора по температурам и дозам нейтронного облучения [3] с учетом уточнений для подпорки приведены в табл. 2.

Основным конструкционным материалом незаменяемых элементов реактора БН-600 является коррозионно-стойкая аустенитная сталь типа Х18Н9.

Таблица 2

Условия эксплуатации незаменяемых элементов реактора БН-600

| Наименование элемента | Максимальная температура, °C | Пульсации температуры | Максимальная повреждающая доза за 60 лет, сна |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|---|
| Корпус | ~ 450 | Нет | ~ 2,1·10 ⁻³ |
| Напорная камера | ~ 370 | Есть | ~ 4,3·10 ⁻² |
| Подпорка | ~ 546 | Нет | ~ 65,5 |
| Коллекторы | ~ 385 | Нет | ~ 8 |
| Опорный пояс | ~ 450 | Есть | ~ 1,5·10 ⁻² |
| Блок напорного трубопровода | ~ 375 | Нет | ~ 2,7·10 ⁻⁴ |
| Опора ПТО | ~ 540 | Есть | ~ 1,3·10 ⁻⁸ |
| Трубы боковой защиты | ~ 540 | Есть | ~ 2,7·10 ⁻² |

Корпус реактора БН-600 интегрального типа представляет собой относительно тонкостенную конструкцию. Это обусловлено сравнительно невысоким избыточным давлением в корпусе реактора (максимум – 0,14 МПа). Дополнительным нагружающим фактором для него являются весовые нагрузки от поворотной пробки с размещенным на ней оборудованием, а также температурные градиенты.

Напорная камера и блок напорного трубопровода эксплуатируются под давлением 0,8 МПа в условиях циклического нагружения и температурных пульсаций (для напорной камеры). Температурным пульсациям подвержен и опорный пояс, воспринимающий весовые нагрузки от размещенного на нем оборудования. Опоры теплообменников и трубы боковой защиты в районе перелива натрия работают в области повышенных температур (до 540°C) и температурных пульсаций.

С точки зрения радиационного воздействия в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатируются коллекторы и особенно нейтронная подпорка, формирующая массив сборок активной зоны (а.з.). Максимальная доза нейтронного облучения в коллекторах составит около 8 сна за 60 лет эксплуатации. Нейтронная подпорка кроме высоких уровней температур и их изменения по высоте и толщине ее верхней несущей обечайки подвергается наиболее интенсивному нейтронному облучению (максимальная доза в верхней несущей обечайке по уточненным оценкам может достигать 65,5 сна за 60 лет), существенно меняющемуся по ее высоте и окружности. Максимальная температура реализуется в верхней несущей обечайке под опорами элеваторов и по уточненным оценкам может достигать 546°C. Механическое нагружение подпорки незначительно и связано с опиранием на нее трубы механизма перегрузки с захватом сборки во время перегрузки и направляющей элеваторов загрузки-выгрузки с кареткой и гильзой для размещения сборок.

Результаты оценок прочности и работоспособности незаменимых элементов РУ БН-600 для 60 лет эксплуатации

При оценке работоспособности критических незаменимых элементов реактора БН-600 на срок эксплуатации до 60-ти лет по уточненной модели эксплуатации, представленной в табл. 2, применялась актуализированная нормативная методика МТ 1.2.3.06.1080-2015. Для оценки прочности перечисленных на рис. 1 незаменимых элементов по критериям возможности зарождения и развития трещин использовались результаты расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС), полученные при обосновании продления срока эксплуатации РУ БН-600 до 45-ти лет (за исключением нейтронной подпорки), поскольку механические и температурные нагрузки в различных режимах эксплуатации для них остаются прежними. Расчеты температурных распределений и НДС в этих элементах, модели которых приведены на рис. 2, проводились с использованием аттестованного программного комплекса ANSYS, основанного на методе конечных элементов (МКЭ).

Расчет кинетики НДС верхней несущей обечайки подпорки в течение 60-ти лет эксплуатации проводился в вязко-пластической постановке с учетом влияния облучения на радиационное распухание, радиационную ползучесть и свойства ее материала (сталь 09X18H9) с использованием аттестованной специализированной программы UMB BK УПАКС, также использующей МКЭ.

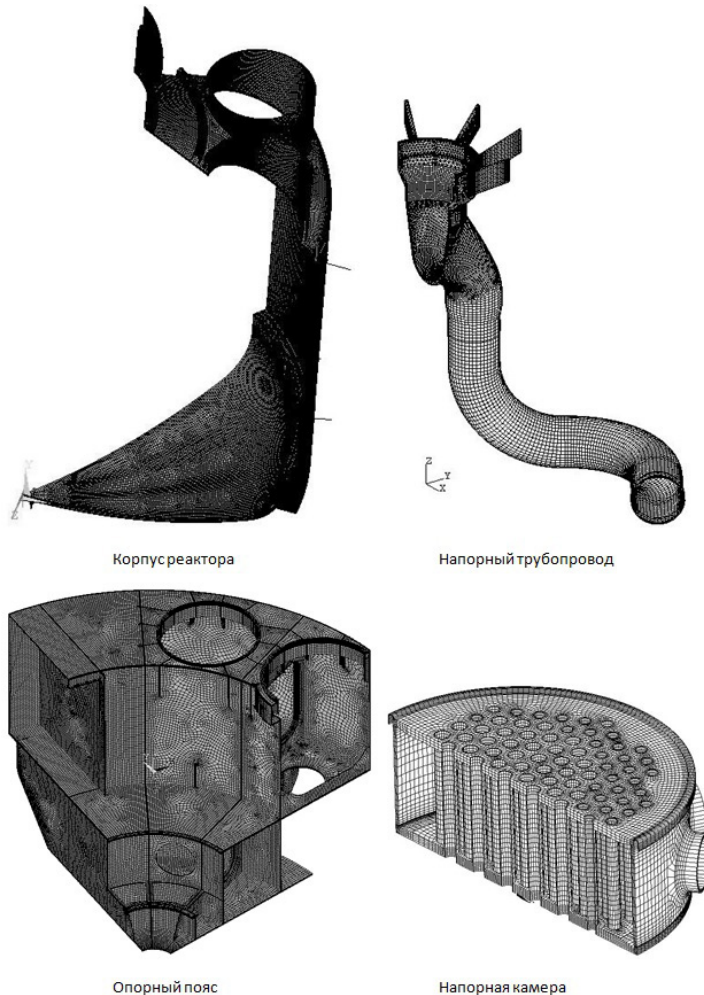


Рис. 2. Конечно-элементные модели основных незаменяемых элементов реактора БН-600

По результатам расчета в зоне максимального облучения по центру а.з. установлено, что полученное напряженное состояние на наружной поверхности обечайки имеет растягивающий характер, а на внутренней поверхности – сжимающий характер. В связи с этим верхняя несущая обечайка подпорки в процессе радиационного формоизменения выгибается наружу.

На рисунке 3 в увеличенном масштабе представлено радиационно-термическое формоизменение расчетной модели верхней несущей обечайки подпорки на момент эксплуатации 60 лет. Результаты анализа влияния формоизменения несущей обечайки подпорки на сборки а.з. показали, что исходные радиальные зазоры между массивом сборок и фигурными секторами, прикрепленными к несущим обечайкам подпорки, при эксплуатации до 60-ти лет не выбираются, и возможность перегрузки сборок сохраняется.

Вследствие радиационного воздействия в процессе эксплуатации происходит необратимое нелинейное увеличение высоты верхней несущей обечайки подпорки, которое по результатам расчета может достигнуть через 60 лет в районе элеваторной

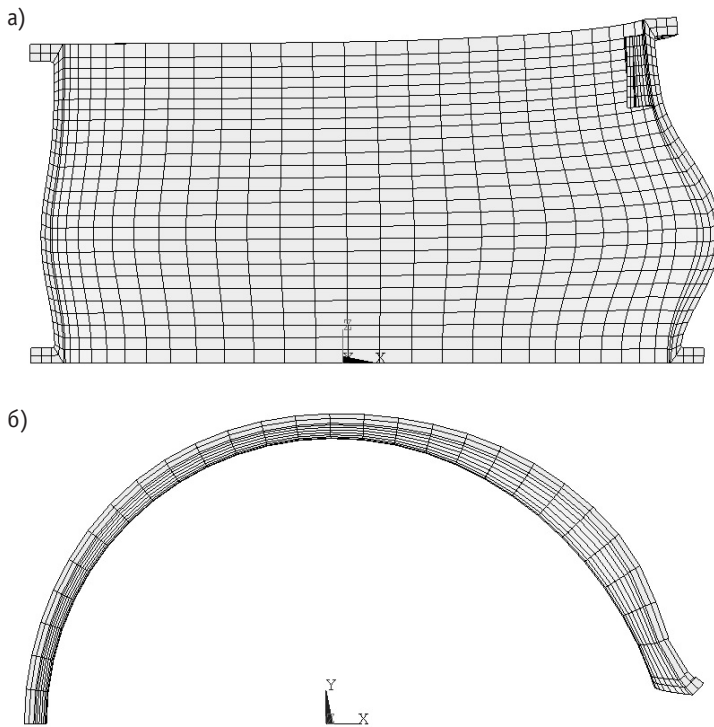


Рис. 3. Формоизменение верхней несущей обечайки подпорки после 60-ти лет эксплуатации (масштаб перемещений увеличен в 10 раз): а) – вид сбоку; б) – вид сверху на поперечное сечение обечайки в области с максимальным распуханием

выгородки наибольшей величины около 54 мм (рис. 4). Увеличение высоты нижней несущей обечайки подпорки, накапливающей значительно меньшую дозу облучения, по расчетным оценкам не превысит 2 мм за 60 лет эксплуатации. Приращение высоты

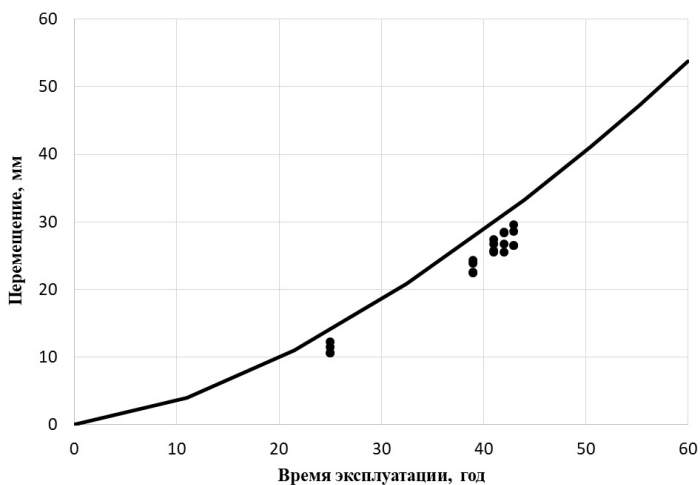


Рис. 4. Изменение высоты верхней несущей обечайки подпорки в районе элеваторной выгородки: численные значения (сплошная линия); по результатам замеров на остановленном реакторе (маркеры)

всей подпорки в результате радиационно-термического формоизменения (максимум на 56 мм в районе элеваторной выгородки за 60 лет эксплуатации) приводит к соответствующему подъему ее верхних секторов, на которые опирается направляющая труба механизма перегрузки при перегрузке периферийных сборок. Анализ возможности перегрузки этих сборок механизмом перегрузки с учетом максимального приращения высоты подпорки показал, что оно не повлияет на работоспособность механизма перегрузки и элеваторов загрузки-выгрузки. Следует отметить, что показанные на рис. 4 численные результаты и результаты измерительного контроля изменения высоты подпорки на реакторе БН-600 в 2005 и 2019 – 2023 гг. достаточно хорошо согласуются, подтверждая таким образом корректность и достаточную консервативность разработанной численной модели поведения материала подпорки БН-600, стали 09Х18Н9, в условиях интенсивного нейтронного облучения.

Другое важное необратимое изменение размеров верхней несущей обечайки подпорки связано со смещением нижних опор элеваторов загрузки-выгрузки, расположенных в верхней части подпорки, в результате ее радиационно-термического формоизменения. На рисунке 5 показаны смещения опоры элеватора вдоль оси направляющей, расположенной под углом 30 градусов к вертикали, а также в горизонтальном направлении при эксплуатации в течение 60-ти лет. Как показал конструктивный анализ, эти смещения в определенный момент приводят к недоходам каретки с гильзой для сборок до проектного положения и некоторым затруднениям в перегрузке сборок, но в целом должны позволить осуществлять их перегрузку.

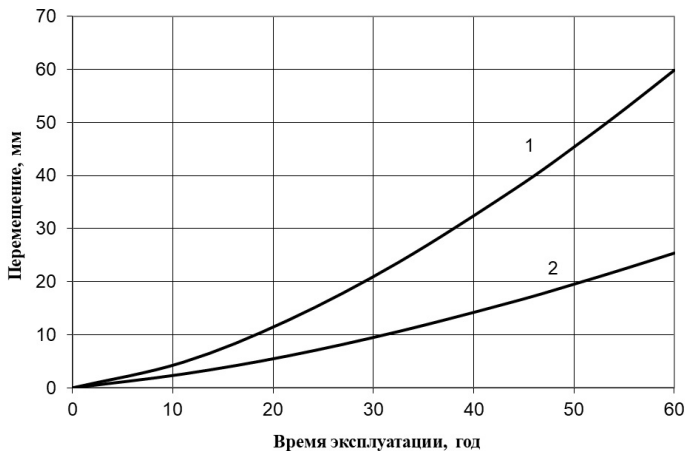


Рис. 5. Перемещения опоры элеватора: 1 – вдоль оси направляющей элеватора; 2 – в горизонтальном направлении

По результатам анализа НДС проведены оценки циклического и длительного статического повреждения за счет усталости и ползучести вышеуказанных заменяемых элементов реактора БН-600 с использованием методики МТ 1.2.3.06.1080-2015. Эти результаты показали, что в период дополнительного срока эксплуатации с 45-ти до 60-ти лет зарождения трещин в них не ожидается. Ранее в расчетах на срок эксплуатации до 45-ти лет [1] было установлено, что не исключено зарождение трещин за счет многоциклового термоусталости в районе входных окон опоры теплообменника отключенной петли вследствие высоких температурных пульсаций натрия и за счет

термоползучести с учетом влияния облучения в верхней несущей обечайке подпорки в зоне под опорой элеватора, что показано в табл. 3.

Таблица 3

Результаты оценки повреждений в элементах реактора

| Наименование элемента | Механизмы деградации свойств и накопления повреждений | Возможность зарождения трещин | Возможность развития трещин до критических размеров |
|-----------------------------|---|-------------------------------|---|
| Корпус | МЦУ* | Нет | Нет |
| Напорная камера | МЦУ, МнЦУ** | Нет | Нет |
| Подпорка | Распухание, ползучесть, охрупчивание, МЦУ | Есть | Нет |
| Коллекторы | МЦУ, охрупчивание | Нет | Нет |
| Опорный пояс | МЦУ, МнЦУ | Нет | Нет |
| Блок напорного трубопровода | МЦУ | Нет | Нет |
| Опора ПТО | МнЦУ, ползучесть | Есть | Нет |
| Трубы боковой защиты | МнЦУ, ползучесть | Нет | Нет |

* МЦУ – малоцикловая усталость (в переходных режимах)

** МнЦУ – многоцикловая усталость (за счет термопульсаций)

Однако зарождение таких трещин не является критическим для работоспособности вышеуказанных незаменимых элементов. В связи с этим в соответствии с требованиями методики МТ 1.2.3.06.1080-2015 были проведены расчетные оценки подраста трещин, зародившихся в процессе эксплуатации, а также постулируемых трещин, развивающихся из возможных технологических дефектов в сварных соединениях для незаменимых элементов реактора БН-600. Результаты расчетов с учетом влияния термического и радиационного старения материала показали, что эти трещины не достигнут своих критических размеров по критериям возможности нестабильного развития, потери несущей способности негерметичных элементов или потери герметичности элементов, работающих под давлением, в течение 60-летнего срока эксплуатации РУ БН-600.

Качественные результаты расчетов прочности незаменимых элементов реактора БН-600 по критериям зарождения и развития трещин приведены в табл. 3.

Таким образом, согласно результатам выполненных расчетных исследований, работоспособность незаменимых элементов реактора БН-600 при продлении срока эксплуатации до 60-ти лет обеспечивается.

Заключение

Для реализации расчетного обоснования работоспособности незаменимых элементов реактора БН-600 на срок эксплуатации 60 лет были выполнены следующие основные работы.

- С учетом фактической модели эксплуатации РУ БН-600 за 42 года разработана уточненная прогнозная модель эксплуатации, учитывающая период работы реактора до 2040 г. (на 60 лет эксплуатации) в части количества различных режимов эксплуатации.

• Для оценки прочности основных незаменяемых элементов реактора по критериям зарождения и развития трещин использовались результаты расчетов НДС, полученные ранее при обосновании продления срока эксплуатации РУ БН-600 до 45-ти лет.

• Проведен уточненный расчет кинетики НДС верхней несущей обечайки подпорки, работающей в наиболее тяжелых радиационных условиях, в течение 60-ти лет эксплуатации с учетом влияния облучения на радиационное распухание, ползучесть и пластическую деформацию ее материала. Результаты анализа радиационно-термического формоизменения несущей обечайки подпорки показали, что оно не должно повлиять на работоспособность связанного с ней оборудования: сборок а.з., механизма перегрузки и элеваторов загрузки-выгрузки.

• По результатам анализа НДС проведены оценки циклического и длительного статического повреждений незаменяемых элементов реактора БН-600 с использованием нормативной методики МТ 1.2.3.06.1080-2015, которые показали, что в период дополнительного срока эксплуатации (с 45-ти до 60-ти лет) зарождения новых трещин в них не ожидается. Ранее в расчетах на срок эксплуатации до 45-ти лет было установлено, что не исключено зарождение трещин за счет многоциклового термоусталости в режиме отключения петли в опоре теплообменника в районе входных окон и за счет термползучести с учетом влияния облучения в верхней несущей обечайке подпорки в зоне под опорой элеватора.

• С использованием методики МТ 1.2.3.06.1080-2015 проведены расчетные оценки роста трещин, зародившихся в процессе эксплуатации, а также постулируемых трещин в сварных соединениях незаменяемых элементов. Результаты показали, что эти трещины не достигают критических размеров по критериям нестабильного развития, потери несущей способности или потери герметичности элементов, в течение 60-ти лет эксплуатации реактора БН-600.

На основании результатов выполненных исследований было сделано заключение о возможности продления срока эксплуатации рассмотренных незаменяемых элементов реактора БН-600 до 60-ти лет, с учетом которого 31.03.2025 г. была выдана лицензия Ростехнадзора на дополнительный 15-летний срок эксплуатации (до 2040 г.) энергоблока № 3 Белоярской АЭС с реактором БН-600.

Продление срока эксплуатации РУ БН-600 еще на 15 лет должно стать базой для наработки новых проектов РУ БН.

Литература

1. Васильев Б.А., Виленский О.Ю., Кайдалов В.Б., Каманин Ю.Л., Марголин Б.З., Гуленко А.Г. Разработка методологии и обоснование продления срока эксплуатации корпуса и незаменяемых внутрикорпусных элементов реактора БН-600 до 45 лет. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2011;1:32–43. URL: <https://nuclear-power-engineering.ru/full-issue/2011-01/> (дата обращения 10.11.2025).

2. Виленский О.Ю., Васильев Б.А., Лысов В.А., Марголин Б.З., Гуленко А.Г., Бучатский А.А. Оценка возможности продления срока эксплуатации РУ БН-600 до 60 лет. В сб. тезисов докладов 13-й международной материаловедческой конференции «Проблемы материаловедения при проектировании, изготовлении и эксплуатации оборудования АЭС». Санкт-Петербург, 2–6 июня 2014 г. СПб., Изд-во «Полиграф экспресс», 2014, с. 41–42.

3. Виленский О.Ю., Пристром С.А. Результаты расчетного обоснования прочности незаменяемых элементов реактора БН-600 при продлении срока эксплуатации до 60 лет. В сб. тезисов докладов 11-го межотраслевого семинара «Прочность и надежность оборудования». Московская обл., 14–18 октября 2019 г. М., Изд-во АО «НИКИЭТ», 2019, с. 8–9.

Поступила в редакцию 02.12.2025
После доработки 17.02.2026
Принята к опубликованию 20.03.2026

Авторы

Виленский Олег Юрьевич, начальник подразделения, к.т.н.,

E-mail: sigma@okbm.nnov.ru

Осетров Дмитрий Львович, ведущий инженер-конструктор, к.ф.-м.н.

Пристром Сергей Алексеевич, начальник бюро

Рогожкин Сергей Александрович, Главный конструктор РУ БН, к.т.н.,

E-mail: rogozhkin@okbm.nnov.ru

Староверов Александр Иванович, заместитель главного конструктора РУ БН,

E-mail: staroverov@okbm.nnov.ru

UDC 621.039.531

Results of Operability Validation of BN-600 Reactor Permanent Components for Service Life Extension up to 60 Years

Vilensky O.Yu., Osetrov D.L., Pristrom S.A., Rogozhkin S.A., Staroverov A.I.

Afrikantov OKBM JSC,

15 Burnakovsky proezd, 603074 Nizhny Novgorod, Russia

Abstract

Predictive operability analysis of BN-600 reactor permanent components for the period of 60 years using the MT 1.2.3.06.1080-2015 regulatory procedure "Strength analysis of the main components of fast sodium-cooled reactors" that takes into account the impact of negative factors on the lifetime of BN-600 reactor permanent equipment. The service life extension was validated for the most significant BN-600 reactor permanent components, which determine the decision on the feasibility of extending the reactor operation up to 60 years. These components are as follows: the reactor vessel, pressure chamber, neutron reflector, headers, pressure pipeline unit, support skirt, heat exchanger supports, and radial shielding tubes.

The results of performed studies lead to a conclusion that it is possible to extend the service life of the BN-600 reactor permanent equipment under consideration up to 60 years. Rostechnadzor has issued a license extending the operation of the Beloyarsk NPP Unit 3 with a BN-600 reactor until 2040.

Keywords: stress-strain state, permanent components, radiation-induced shape change, creep, swelling, crack, fatigue.

For citation: Vilensky O.Yu., Osetrov D.L., Pristrom S.A., Rogozhkin S.A., Staroverov A.I. Results of Operability Validation of BN-600 Reactor Permanent Components for Service Life Extension up to 60 Years. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2026;1:98–109. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2026.1.08> (in Russian).

References

1. Vasiliev B.A., Vilensky O.Yu., Kaydalov V.B., Kamanin Iu.L., Margolin B.Z., Gulenko A.G. Developing the Methodology for and Validation of the Operation Life Extension up to 45 Years

for the BN-600 Reactor Vessel and Permanent In-Vessel Components. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2011;1:32–43. URL: <https://nuclear-power-engineering.ru/full-issue/2011-01/> (accessed Nov.10, 2025) (in Russian).

2. Vilensky O.Yu., Vasiliev B.A., Lysov V.A., Margolin B.Z., Gulenko A.G., Buchatsky A.A. Assessing the Possibility of Extending the BN-600 Operation up to 60 Years. Book of abstracts of the 13th International Conference «Materials Science Issues Arising during NPP design development, manufacturing and operation». St.-Petersburg, June 2–6, 2014. St.-Petersburg, Polygraph Express Publ., p. 41–42 (in Russian).

3. Vilensky O.Yu., Pristrom S.A. Results of Computational Strength Substantiation of the BN-600 Reactor Permanent Components for Operation Life Extension up to 60 years. Book of Abstracts of the 11th Inter-Industry Workshop “Equipment Strength and Reliability”. Moscow Region, October 14–18, 2019. Moscow, NIKIET JSC Publ., p. 8–9 (in Russian).

Authors

Oleg Yu. Vilensky, Head of Department, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: sigma@okbm.nnov.ru

Dmitrii L. Osetrov, Lead Design Engineer, Cand. Sci. (Phys.-Math.),

Sergey A. Pristrom, Head of Design Group

Sergey A. Rogozhkin, Chief Designer of BN Reactor Plants, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: rogozhkin@okbm.nnov.ru

Aleksandr I. Staroverov, Deputy Chief Designer of BN Reactor Plants,

E-mail: staroverov@okbm.nnov.ru