

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РЕАКТОРА БН-600 БЕЛОЯРСКОЙ АЭС В КРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

В.А. Желтышев, А.А. Лыжин, В.А. Шаманский

Белоярская АЭС, г. Заречный



Почти за 30-летнюю историю эксплуатации реактора БН-600 Белоярской АЭС отработан комплекс расчетных и экспериментальных мер по контролю за нейтронно-физическими характеристиками активной зоны реактора. Тем не менее, расширение приемлемых методов контроля за нейтронно-физическими характеристиками, безусловно, является важной задачей для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации реактора БН-600.

В настоящей работе приведено обоснование дополнительного метода определения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии после проведения перегрузки составных частей активной зоны на основе экспериментальных данных за период с 39 по 56 МК.

Указанный метод позволяет совместно с существующим методом надежно определять положение РО КС1-18 в критическом состоянии, повысить безопасность и экономичность эксплуатации реактора БН-600.

Ключевые слова: критическое состояние, нейтронно-физические характеристики, подкритичность, положение, прогноз, рабочий орган, реактивность.

Key words: criticality, neutron characteristics, subcriticality, position, anticipation, control rod, reactivity.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с технологическим регламентом (ТР) [1] перед выводом реактора БН-600 в критическое состояние рабочие органы аварийной защиты (РО АЗ) извлекаются в верхнее рабочее положение. Центральный компенсирующий рабочий орган (РО КСЦ) извлекается на верхний концевик (ВК), а регулирующие (РО РС) – в положение 450 мм по указателю положения (УП). Далее вывод реактора в критическое состояние производится перемещением РО КС1-18.

Определение положения рабочих органов РО КС1-18 в критическом состоянии после проведения перегрузки составных частей активной зоны является важной задачей при обеспечении безопасной и экономичной работы реактора БН-600.

Прогнозное положение РО КС1-18 в критическом состоянии определяется с использованием расчетной программы ГЕФЕСТ [2] в соответствии с алгоритмами методики [3]. Опыт эксплуатации расчетной программы ГЕФЕСТ по определению прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии в период с 29 по 56 микрокампанию (МК) показывает, что отличие прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии от фактического положения РО КС1-18 не превышает значения, регламентируемого ТР (40 мм). Тем не менее, разработка дополнительного, не зависящего от расчетной программы ГЕФЕСТ, метода определения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии после проведения перегрузки составных частей активной зоны является важной задачей для эксплуатации. В случае отличия прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии от фактического более 40 мм ТР требуется проведение расследования причин такого отличия, что может привести к задержке пуска блока и нарушению графика диспетчерской нагрузки. Уменьшение погрешности прогноза положения РО КС1-18 в критическом состоянии снижает уровень ожидания оперативным персоналом критического состояния.

В рамках выполнения работ по аттестации расчетных программ (ТРИГЕКС, ГЕФЕСТ, JARFR) ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» выпустил отчет [4], в котором рекомендовал изменения в методику определения нейтронно-физических характеристик (НФХ) реактора БН-600 [5]. Для проверки приемлемости этих рекомендаций на Белоярской АЭС была проведена работа [6], в которой представлены результаты анализа измеренных значений НФХ реактора БН-600 в период с 39 по 56 МК, в том числе и результаты сравнения измеренных значений НФХ с расчетными значениями НФХ. Проведенный анализ показал, что отличие измеренных значений НФХ от расчетных в случае использования рекомендаций отчета [4] уменьшается по сравнению с соответствующими отличиями в случае использования существующей редакции методики [5]. Это обстоятельство и послужило отправной точкой для проверки возможности разработки дополнительного метода определения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии с приемлемой погрешностью.

РАЗРАБОТКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РО КС1-18 В КРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Для получения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии необходимо получение прогнозной эффективности систем РО КС1-18, РО РС и прогнозного максимального запаса реактивности. Эффективность системы РО РС прогнозируется достаточно просто по результатам текущей их эксплуатации, и отличие прогнозной их эффективности от измеренной не вносит существенного вклада в погрешность прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии.

Определение прогнозной эффективности системы РО КС1-18

Для определения прогнозной эффективности системы РО КС1-18 были использованы измеренные эффективности системы РО КС1-18 ($\rho_{КС1-18}$) в период с начала 39 МК по начало 56 МК, паспортные массы бора-10 в РО КС1-18 (m) и средние наработки эффективных суток РО КС1-18 (T_{cp}).

В соответствии с этими данными были получены зависимости прогнозной эффективности системы РО КС1-18 от средней наработки эффективных суток и паспортной массы бора-10. Поскольку за указанный период в реакторе эксплуатировались РО КС двух конструкций (сборки 1161В и 2635), то зависимости были по-

лучены отдельно для каждой сборки. При получении вида зависимости прогнозной эффективности системы РО КС1-18 оценивалась также и стандартная погрешность модели (СКО). Полученные уравнения зависимости прогнозной эффективности системы РО КС1-18 и значения СКО приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уравнения зависимости прогнозной эффективности системы РО КС

| Система | Сборка | Уравнение | СКО, %dk/k |
|----------|--------|--|------------|
| КС1-18 | 1161В | $\rho_{\text{КС1-18}} = -0,00188 \cdot T_{\text{ср}} + 0,5482 \cdot m$ | 0,104 |
| | 2635 | $\rho_{\text{КС1-18}} = -0,00219 \cdot T_{\text{ср}} + 0,4840 \cdot m$ | 0,041 |
| КС1-18,Ц | 1161В | $\rho_{\text{КС1-18,Ц}} = -0,00177 \cdot T_{\text{ср}} + 0,5503 \cdot m$ | 0,120 |
| | 2635 | $\rho_{\text{КС1-18,Ц}} = -0,00210 \cdot T_{\text{ср}} + 0,4859 \cdot m$ | 0,042 |

Аналогичным образом были получены уравнения зависимости прогнозной эффективности системы РО КС1-18,Ц, которые также приведены в табл. 1.

Для системы РО КС1-18 существующей сборки 2635 погрешность прогноза (модели) не превышает 0,11 %dk/k для вероятности 0,99. Это хороший результат с учетом того факта, что в указанной погрешности имеются составляющие за счет погрешности эффективной доли запаздывающих нейтронов и погрешности паспортной массы бора-10 за счет технологических допусков по загрузке поглотителя бора-10 при изготовлении РО КС. Кроме того, в период с 50 по 56 МК в реакторе БН-600 эксплуатировались различные опытные составные части активной зоны и были проведены мероприятия по продлению ресурса РО КС. В начале 54 МК в реактор БН-600 загружены два опытных РО КС сборки 2635 с повышенной плотностью карбида бора. В начале 50 МК и 51 МК РО КС сборки 2635 еще не вышли на стационарный режим перегрузок и перед началом 50 МК были осуществлены их перестановки в реакторе для реализации дальнейшей равномерно-частичной перегрузки.

Для РО КС сборки 1161В значения разброса оказались несколько выше, поэтому был проведен анализ причин повышенного разброса. Анализ показал, что можно уменьшить значения СКО за счет усложнения модели как для РО КС сборки 1161В, так и для РО КС сборки 2635. Усложнение модели происходило, в первую очередь, за счет изменения расчета средней наработки эффективных суток РО КС. Немаловажное значение для системы РО КС1-18,Ц имеет учет положения РО КСЦ при эксплуатации. Если учесть предысторию эксплуатации остальных РО КС1-18, а именно, их начальное положение в горячем состоянии в предыдущих МК, то СКО также снижается. В частности, для системы РО КС1-18 сборки 2635, у которых назначенный ресурс составляет четыре МК, учет положения РО КС в предыдущих МК снижает СКО до 0,028 % dk/k. Кроме того, для системы РО КС1-18 сборки 1161В ряд измеренных эффективностей может быть отбракован из-за существенных отличий, касающихся методической части измерения. Определение эффективности одиночных РО КС было проведено в режиме «off-line», т.е. имеющиеся файлы с записанными токами камеры КНК-15-1 были обработаны ныне существующей программой и по существующей методике. Так в конце 42-2 МК измеренные эффективности одиночных РО КС были определены с использованием параметров запаздывающих

нейтронов на конец МК (160 эфф.сут), тогда как истинная наработка составляла 240 эфф.сут. С учетом предыстории эксплуатации РО КС сборки 1161В в предыдущих МК и отбраковки ряда МК значение СКО может быть снижено до 0,082 % dk/k , что дает соответствующее снижение погрешности определения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии на 5 мм.

Тем не менее, для удобства дальнейшего использования на практике нижеприведенные прогнозные положения РО КС1-18 в критическом состоянии получены с использованием упрощенных уравнений, приведенных в табл. 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОГО МАКСИМАЛЬНОГО ЗАПАСА РЕАКТИВНОСТИ

Прогнозный максимальный запас реактивности на следующую МК определялся как сумма измеренного запаса реактивности в конце предыдущей МК и изменения запаса реактивности за счет перегрузки составных частей активной зоны.

Изменение запаса реактивности за счет перегрузки составных частей активной зоны определялось в соответствии с коэффициентами для каждой зоны реактора (отчет [7]). Влияние опытных составных частей активной зоны на запас реактивности принималось в соответствии с их техническими проектами. Прогнозный максимальный запас реактивности сравнивался с измеренным максимальным запасом. Результаты сравнения прогнозного максимального запаса реактивности (ЗР прог.) и измеренного максимального запаса реактивности, полученного по новой методике (ЗР н.м.), приведены в табл. 2. Для сравнения в табл. 2 приведены также соответствующие отличия для случая измерения запасов реактивности в начале и конце МК по существующей методике (ЗР ст.м.).

Проведенный анализ отличий в табл. 2 показал, что имеется корреляционная зависимость [8] между отличием прогнозного максимального запаса реактивности от измеренного максимального запаса реактивности и изменением запаса реактивности за счет перегрузок тепловыделяющих сборок (ТВС) наружного экрана (НЭ). Для иллюстрации эта зависимость приведена на рис. 1.

Зависимость между отличием прогнозного максимального запаса реактивности от измеренного и изменением запаса реактивности при перегрузке ТВС НЭ объясняется тем, что коэффициенты для ТВС НЭ, рекомендованные в отчете [7], получе-

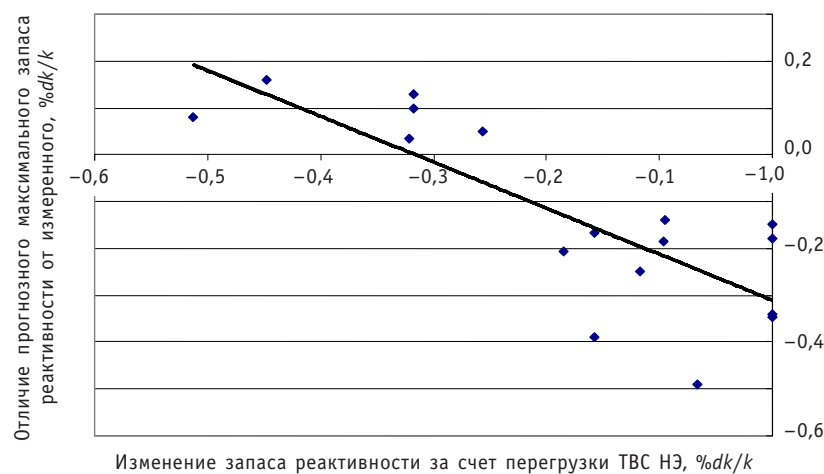


Рис. 1. Зависимость отличия прогнозного максимального запаса реактивности от измеренного за счет перегрузки ТВС НЭ

Таблица 2

Отличия максимальных запасов реактивности, % dk/k

| № МК | ЗР ст.м.–ЗР прог. | ЗР н.м.–ЗР прог. | ЗР н.м.–ЗР прог. поп. |
|-----------|-------------------|------------------|-----------------------|
| н40 | 0,187 | 0,098 | 0,097 |
| н41 | –0,106 | –0,348 | –0,037 |
| н42–1 | 0,245 | 0,036 | 0,031 |
| н43 | 0,288 | 0,080 | –0,113 |
| н44 | –0,188 | –0,340 | –0,029 |
| н45 | 0,039 | –0,179 | 0,132 |
| н46 | 0,040 | –0,186 | 0,030 |
| н47 | –0,088 | –0,150 | 0,161 |
| н48 | 0,312 | 0,159 | 0,030 |
| н49 | 0,252 | 0,050 | 0,110 |
| н50 | 0,044 | –0,206 | –0,077 |
| н51 | –0,003 | –0,166 | –0,009 |
| н52 | 0,043 | –0,139 | 0,078 |
| н53 | 0,247 | 0,130 | 0,128 |
| н54 | –0,300 | –0,490 | –0,245 |
| н55 | –0,350 | –0,390 | –0,234 |
| н56 | –0,180 | –0,250 | –0,054 |
| Среднее | 0,029 | –0,135 | 0,000 |
| СКО | 0,208 | 0,197 | 0,120 |
| Макс | 0,312 | 0,159 | 0,161 |
| Мин | –0,350 | –0,490 | –0,245 |
| Пог(0,99) | 0,54 | 0,51 | 0,31 |
| | 01М2 (50–56) | 01М2 (50–56) | 01М2 (50–56) |
| Среднее | –0,071 | –0,216 | –0,059 |
| СКО | 0,214 | 0,198 | 0,143 |
| Макс | 0,247 | 0,130 | 0,128 |
| Мин | –0,350 | –0,490 | –0,245 |
| | 01М1 (40–49) | 01М1 (40–49) | 01М1 (40–49) |
| Среднее | 0,098 | –0,078 | 0,041 |
| СКО | 0,182 | 0,186 | 0,085 |
| Макс | 0,312 | 0,159 | 0,161 |
| Мин | –0,188 | –0,348 | –0,113 |

ны с дополнительной систематической погрешностью. Подтверждающие этот вывод результаты были получены при проведении гамма-сканирования, когда измеренное энерговыделение в ТВС НЭ отличалось от расчетного [9]. Это отличие незначительно и не снижает безопасность эксплуатации ТВС НЭ, но суммарный вклад неопределенности коэффициентов в неопределенность изменения запаса реактив-

ности, особенно при перегрузке значительного количества ТВС НЭ, оказывается существенным.

С учетом выявленной зависимости в прогнозное значение максимального запаса реактивности (ЗР прог. поп.) была введена поправка и получены повторно отличия прогнозного максимального запаса реактивности от измеренного с учетом поправки. Результаты сравнения и статистические характеристики этих отличий приведены в табл. 2.

Из данных таблицы следуют важные выводы. Наблюдается систематическое (но не значимое) отличие между активными зонами 01М1 и 01М2, что подтверждает возможность использования коэффициентов активной зоны 01М1 для активной зоны 01М2. Отличие, равное 0,100 %dk/k, в пересчете в положение системы РО КС1-18 не превышает 12 мм.

Второй (и главный) вывод заключается в том, что введение соответствующих поправок к прогнозному максимальному запасу реактивности приводит к уменьшению среднеквадратического отклонения отличия практически в два раза. Соответственно, погрешность прогнозного максимального запаса реактивности снижается с 0,51 %dk/k до 0,31 %dk/k для доверительной вероятности 0,99.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РО КС1-18 В КРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Прогнозное положение РО КС1-18 в критическом состоянии определялось исходя из прогнозного максимального запаса реактивности с поправкой на перегрузку ТВС НЭ, прогнозной эффективности системы РО КС1-18, измеренных эффективностей системы РО РС и интегральных характеристик системы РО КС1-18, РО РС, приведенных в методике [3]. Прогнозное положение РО КС1-18 в критическом состоянии ($H_{кр}^{прог2}$) соответствовало значению интегральной характеристики системы РО КС методики [3].

Результаты сравнения прогнозных положений РО КС1-18 в критическом состоянии с фактическими положениями РО КС1-18 ($H_{кр}^{факт}$) приведены в табл. 3. В таблице даны для сравнения прогнозные положения РО КС1-18 ($H_{кр}^{прог}$), полученные по расчетной программе ГЕФЕСТ, и их отличие от фактических положений. Приведены также и статистические характеристики отличий.

Из данных таблицы следует, что с вероятностью 0,99 прогнозное положение РО КС1-18 по предлагаемому дополнительному методу не будет отличаться от фактического положения РО КС1-18 на величину более 45 мм. При снижении уровня доверия до 0,98 погрешность метода снижается до 40 мм.

Большая часть в СКО отличия фактического положения РО КС1-18 от прогнозного положения РО КС1-18 объясняется систематическим отличием прогнозного максимального запаса реактивности для активной зоны 01М2 от прогнозного максимального запаса реактивности для активной зоны 01М2 (0,100 %dk/k). По мере накопления опыта эксплуатации активной зоны 01М2 это систематическое отличие можно будет учесть. Такой учет позволит, соответственно, снизить погрешность прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии до 36 мм (приведена в табл. 3 в скобках) и не превышать значения, требуемого ТР.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОЗНОЙ ПОДКРИТИЧНОСТИ ПРИ ВЗВЕДЕННЫХ РО АЗ

Кроме определения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии указанные выше алгоритмы получения прогнозных нейтронно-физических характеристик позволяют оценить и прогнозную подкритичность при взведенных

Таблица 3

**Сравнение фактических и прогнозных положений
РО КС1-18 в критическом состоянии**

| № МК | $H_{кр}^{факт}, \text{мм}$ | $H_{кр}^{прог}, \text{мм}$ | $H_{кр}^{факт} - H_{кр}^{прог}, \text{мм}$ | $H_{кр}^{прог2}, \text{мм}$ | $H_{кр}^{факт} - H_{кр}^{прог2}, \text{мм}$ |
|-------|----------------------------|----------------------------|--|-----------------------------|---|
| н40 | 192 | 179 | 13 | 191 | 1 |
| н41 | 153 | 134 | 19 | 166 | -13 |
| н42-1 | 184 | 167 | 17 | 210 | -26 |
| н43 | 241 | 206 | 35 | 238 | 3 |
| н44 | 244 | 229 | 15 | 252 | -8 |
| н45 | 199 | 187 | 12 | 212 | -13 |
| н46 | 184 | 172 | 12 | 179 | 5 |
| н47 | 306 | 308 | -2 | 344 | -38 |
| н48 | 279 | 281 | -2 | 275 | 4 |
| н49 | 273 | 272 | 1 | 275 | -2 |
| н50 | 233 | 214 | 19 | 218 (229) | 15 (4) |
| н51 | 247 | 226 | 21 | 232 (243) | 15 (4) |
| н52 | 200 | 172 | 28 | 203 (214) | -3 (-14) |
| н53 | 231 | 204 | 27 | 230 (241) | 1 (-10) |
| н54 | 209 | 184 | 25 | 183 (194) | 26 (15) |
| н55 | 292 | 252 | 40 | 260 (273) | 32 (19) |
| н56 | 267 | 228 | 39 | 258 (270) | 9 (-3) |
| | | Среднее | 18 | Среднее | 0 (-4) |
| | | СКО | 13 | СКО | 17 (14) |
| | | Макс | 40 | Макс | 32 (19) |
| | | Мин | -2 | Мин | -38 (-38) |
| | | Пог (0,99) | 32 | Пог (0,99) | 45 (36) |

РО АЗ. Такая оценка прогнозной подкритичности при взведенных РО АЗ полезна при сопровождении эксплуатации реактора. Она может быть использована для случая частичной (неполной) перегрузки реактора, которая достаточно часто используется при проведении планово-предупредительных работ (ППР) или при оценке влияния на запас реактивности опытных составных частей активной зоны. Значения прогнозной подкритичности при взведенных РО АЗ ($P_{прог}$) и сравнение ее с измеренной подкритичностью при взведенных РО АЗ ($P_{изм}$) приведены в табл. 4.

Из данных таблицы с учетом погрешности измеренной подкритичности при взведенных РО АЗ была получена погрешность прогнозной подкритичности при взведенных РО АЗ. Для вероятности 0,99 она составила 0,39 %dk/k. Для сравнения погрешность расчетной по ГЕФЕСТ подкритичности при взведенных РО АЗ составляет 0,31 %dk/k для той же вероятности. Таким образом, предлагаемый метод с небольшой потерей точности позволяет получать прогнозную подкритичность при взведенных РО АЗ. Оперативность предлагаемого метода существенно выше при проведении оценки подкритичности после неполной (частичной) перегрузки составных частей активной зоны.

Таблица 4

Измеренные и прогнозные подкритичности при взведенных РО АЗ, %dk/k

| № МК | $\Pi_{\text{прог}}$ | $\Pi_{\text{изм}}$ | $\Pi_{\text{прог}} - \Pi_{\text{изм}}$ |
|-----------|---------------------|--------------------|--|
| н40 | 1,685 | 1,666 | 0,019 |
| н41 | 1,366 | 1,279 | 0,087 |
| н42–1 | 1,804 | 1,505 | 0,299 |
| н43 | 2,023 | 2,067 | –0,044 |
| н44 | 2,185 | 2,147 | 0,038 |
| н45 | 1,766 | 1,631 | 0,135 |
| н46 | 1,463 | 1,472 | –0,009 |
| н47 | 2,964 | 2,805 | 0,159 |
| н48 | 2,288 | 2,391 | –0,103 |
| н49 | 2,252 | 2,300 | –0,048 |
| н50 | 1,748 | 1,820 | –0,072 |
| н51 | 1,873 | 1,923 | –0,050 |
| н52 | 1,634 | 1,513 | 0,121 |
| н53 | 1,850 | 1,743 | 0,107 |
| н54 | 1,435 | 1,620 | –0,185 |
| н55 | 2,132 | 2,410 | –0,278 |
| н56 | 2,136 | 2,110 | 0,026 |
| Среднее | | | 0,012 |
| СКО | | | 0,137 |
| Макс | | | 0,299 |
| Мин | | | –0,278 |
| Пог(0,99) | | | 0,353 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые методы получения прогнозных нейтронно-физических характеристик просты при реализации и не требуют использования расчетных программ. Их использование позволяет уменьшить влияние человеческого фактора при определении нейтронно-физических характеристик и тем самым повысить безопасность и экономичность эксплуатации реактора БН-600.

Погрешность прогнозного максимального запаса реактивности за счет выявленной зависимости ее от величины перегрузки ТВС НЭ и учета этой зависимости снижается практически в два раза.

Погрешность метода определения прогнозного положения РО КС1-18 в критическом состоянии с вероятностью 0,98 позволяет не превышать величину, регламентируемую технологическим регламентом.

По результатам данной работы разработаны рекомендации по использованию предлагаемых методов получения прогнозных нейтронно-физических характеристик реактора БН-600 при практической работе при проведении измерений и подтверждении расчетных и проектных значений. Рекомендованы также изменения в эксплуатационно-техническую документацию.

Авторы выражают благодарность заместителю директора ИЯРиЯЭ ФГУП ГНЦ РФ-ФЭИ Ю.С. Хомякову за ценные замечания при обсуждении материалов статьи.

Литература

1. Технологический регламент эксплуатации энергоблока № 3 Белоярской АЭС, инв. № 02-41-157, Белоярская АЭС, 2008. – 105 с.
2. Комплекс программ ГЕФЕСТ с системой подготовки констант CONSYST и библиотекой БНАБ-93. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 216 от 19.09.2006. – 9 с.
3. Методика расчета запаса реактивности, положения рабочих органов СУЗ и подкритичности реактора БН-600. Инв. № 38-4/16-34 от 12.11.2007, Белоярская АЭС. – 25 с.
4. Отчет о НИР «Расчетный анализ экспериментов по измерению эффективности РО СУЗ, эффектов и запаса реактивности в реакторе БН-600 и оценка точности расчетов». Инв. № 11976, 2008, ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», 77 с.
5. Методика определения нейтронно-физических характеристик на реакторе БН-600 Белоярской АЭС. № 38-3/8-1. Белоярская АЭС, ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», ФГУП ОКБМ, 2004. – 40 с.
6. Техническая справка «Результаты измерений нейтронно-физических характеристик реакторной установки энергоблока № 3 Белоярской АЭС в период с 39 по 53 МК». № 38-3/4-1186 от 15.12.2008, Белоярская АЭС. – 30 с.
7. Методика расчета запаса реактивности реактора БН-600 на основе данных по эффективности ТВС. Научно-технический отчет по ОКР, ОКБМ, 1993. – 21 с.
8. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2 изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
9. Отчет о НИР «Контроль распределения энерговыделения в реакторе БН-600 до и после перехода на модернизированную активную зону 01М2». Инв. № 11529, ФГУП «ОКБМ», ОАО «ВНИИАЭС», ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», 2005. – 150 с.

Поступила в редакцию 30.03.2009

УДК 621.039.526

Experience of Utilization at BN-600 of the Methods of the Check and Failure Diagnosis of the Measurement Circuits of the In-Reactor Coolant Temperature Monitoring without their Dismantling/V.P. Zabegaev, A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 4 tables. – References, 1 title.

The article presents the methods of the «current average» and «binary regressions» used to calibrate and diagnose the failures of the measurement circuits without dismantling of the temperature transducers for the BN600 reactor. The results of the calibration of the sodium temperature measurement circuits in the period from 2003 to 2008 are given. The positive experience of the methodology utilization has been assessed.

УДК 621.039.564.5

Methodology of the Location of the Failed Stage during the Development of the Water-Sodium Reaction in the Modular Steam Generator named PGN-200M/A.A. Kuznetsov, P.P. Govorov, Yu.V. Nosov, A.P. Karavaev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 2 titles.

The article considers the way of the location of the failed stage when the indications of the water-sodium reaction emerge in the PGN-200M modular staged steam generator of the BN600 power unit. The selection of the diagnostic parameters used to locate the failed stage is justified. Various alternative locations of the water-sodium reaction have been simulated.

УДК 621.039: 504.064

Radiation Safety of the General Public and Environment in the Area of the Beloyarsk NPP Site. A.V. Ladeishchikov, A.V. Shonokhov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 3 pages, 3 illustrations. – References, 4 titles.

The environmental radiation surveillance in the area of the Beloyarsk NPP site is traditionally given specified attention. The surveillance data quoted in this article show that the level of the Beloyarsk NPP radiation impact both upon general public and environment is within the limit of the unconditionally acceptable risk.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Forming the Model of the BN-600 Reactor Core using the Hephaestus Fuel Archive for the SYNTES Code/ E.V. Balakhnin, A.V. Gavrilo, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents the first stage of the forming of the SYNTES software computational model of the BN600 reactor core, i. e. the organization of the transfer of the existing model of the core from the Hephaestus fuel archive to the temporal database.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Support by Calculation to the Reactor Testing of the Test Sub-Assemblies for Production of argon-37/V.V. Golovin, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 3 tables. – References, 4 titles.

In support to the BN600 in-reactor tests of the sub-assemblies for the production of argon-37 the computational and the experimental investigations were conducted. The goal of the work, i. e. the manufacture the neutrino source of 400 kCi activity, was achieved.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Additional Method of the Determination of the Anticipated Position of Shimming Rod KS1-18 of the BN-600 reactor of the Beloyarsk NPP under the critical conditions/V.A. Zhyoltyshev, A.A. Lyzhin, V.A. Shamansky, Yu.S. Khomyakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika»

(Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 4 tables, 1 illustration. – References, 9 titles.

For nearly 30-year history of the Beloyarsk NPP BN600 reactor operation a complex of the calculational and experimental measures to monitor the neutron characteristics of the reactor core has been worked through. Nevertheless undoubtedly the development of the acceptable methods of the monitoring of neutron characteristics is an important task for ensuring the reliable and safe operation of the BN600 reactor.

This paper presents the rationale of the additional method of the determination of the anticipated position of shimrod KS1-18 under the critical conditions after reload of the core components on the basis of the experimental data for the period from cycle 39 to cycle 56. In combination with the existing method the above-mentioned method allows one to reliably determine the position of shimrod KS1-18 under the critical conditions, improve safety and efficiency of the BN600 reactor operation.

УДК 621.039.56

Determination of the worth of the Beloyarsk NPP BN600 reactor control rods taking into account the power reactivity effect/A.A. Ivanov, S.Yu. Mitrofanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages, 1 table, 2 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents both the results of the determination of the worth of the control rods taking into account the power reactivity effect as of the beginning of cycle 56 and the influence of the power reactivity effect on the integral characterization of the bank of the shimrod rods.

УДК 621.039.56

Use of the Pulse Circuit of the Reactivity Monitoring during the Beloyarsk NPP BN-600 Reactor Neutron Measurements/A.A. Ivanov, S.Yu. Mitrofanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 3 tables, 5 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents both the procedure of introducing the dead time correction for fulfilment of the neutron measurements and the results of the determination of the control rod worth using the pulse circuit of the reactivity monitoring.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Simplified Methodology of the Calculation of the Physical Characteristics of the Irradiated BN-600 Reactor Europium Control Rods/A.I. Karpenko, V.I. Ogleznev, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 4 titles.

On the basis of the experience of the calculation of the physical characteristics of the spent control rods with the europium absorbers of the BN600 reactor the simplified methodology for the quick evaluation of the main characteristics of these rods has been developed. This methodology can be applied for the evaluation of the physical characteristics of the europium control rods not only of the BN600 reactor but also other fast reactors (including those under design).

УДК 621.039.564

The System of the Recording of the Position of the Control Rods without the use of the Selsyns/N.N. Oshkanov, O.A. Potapov, Yu.V. Nosov, M.T. Telichko, A.P. Yuzhakov, I.S. Pomortsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 1 title.

The design of the system of the recording of the control rod position without use of the selsyns, its technical characteristics as well as the monitoring of the system operation are presented. The accuracy of the measurements is evaluated. The forms and ways of the presentation of the information on the control rod positions are shown. The results of the trial operation for two years show the possibility to use the existing modification of the system.