

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЦН 60-180 РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000 МЕТОДАМИ ЯДЕРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

А.В. Антонов*, Н.Г. Зюляева*, В.А. Чепурко*, А.Я. Белоусов,
В.В. Таратунин****

**Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*

***ВНИИАЭС, г. Москва*



В работе рассматривается вопрос обработки статистической информации, полученной в процессе эксплуатации насосных агрегатов ЦН 60-180, функционирующих в составе штатного оборудования реакторов ВВЭР-1000. Информация для анализа взята из отраслевой базы данных ВНИИАЭС. Период наблюдения за функционированием объектов с 01.01.1990 г. по 31.12.2007 г. Статистическая информация обрабатывалась методом непараметрического оценивания, называемым ядерным оцениванием. Получены характеристики надежности агрегатов, такие как плотность и функция распределения наработки до отказа, вероятность безотказной работы и интенсивность отказов. Полученные результаты используются для принятия управляющих воздействий.

ВВЕДЕНИЕ

Экономическая эффективность и безопасность эксплуатации атомных станций в значительной мере определяется надежностью энергоблоков и их компонент. Системный анализ надежности является важным этапом в процессе управления качеством эксплуатации энергоблока [1]. Качество эксплуатации включает в себя обеспечение безопасности (технической, пожарной, радиационной и ядерной) эксплуатации; надежность отпуска энергии требуемого качества; экономическую эффективность и минимизацию нагрузки на окружающую среду [2]. Главными составляющими системного анализа надежности технического объекта являются технологический анализ истории эксплуатации объекта и количественный анализ его безотказности и ремонтпригодности. Количественный анализ позволяет оценить достигнутый уровень надежности и получить прогностические оценки показателей надежности для специалистов, принимающих управляющие решения по обеспечению безопасности, повышению экономичности, совершенствованию стратегий технического обслуживания и ремонта (ТОиР), включая перепланирование ремонтных циклов и корректировку запасов материально-технических ресурсов

© А.В. Антонов, Н.Г. Зюляева, В.А. Чепурко, А.Я. Белоусов, В.В. Таратунин, 2009

(МТР), выполнение вероятностного анализа безопасности.

В настоящей работе представлен расчет показателей надежности насосных агрегатов ЦН 60-180, используемых в системе подпитки и борного регулирования АЭС с реакторами ВВЭР-1000. Данная система предназначена для изменения концентрации химического поглотителя нейтронов с целью регулирования реактивности, подачи в первый контур теплоносителя требуемого качества, компенсации протечек, подачи запирающей воды на ГЦН, подачи в первый контур раствора бора в аварийных ситуациях и др.

В системе подпитки теплоносителя и борного регулирования первого контура на каждом энергоблоке функционируют три насоса, т.е. предусмотрено трехкратное резервирование. Система считается работоспособной в случае функционирования, по крайней мере, одной из трех подсистем. В состав оборудования каждой подсистемы входит подпиточный насос типа ЦН 60-180 центробежный, горизонтальный, двухкорпусной, секционный. Анализ надежности проводится на основе отраслевой базы данных ВНИИАЭС. В рассмотрение включены агрегаты Балаковской (блоки 1–4), Калининской (блоки 1, 2) и Нововоронежской (блок 5) АЭС. Информация о функционировании объектов представлена за период наблюдения с 01.01.1990 по 31.12.2007 гг. Для обработки статистических данных применяется метод непараметрического ядерного оценивания.

Существует достаточно широкий класс задач статистического оценивания показателей надежности, когда исследуемый параметр подчиняется нестандартному или неизвестному априори распределению. Например, техническая система, подверженная двум различным повреждающим воздействиям неодинаковой интенсивности, может иметь двухмодальный закон надежности [3]. Другой пример связан с моделями надежности «нагрузка-прочность». Даже для простейшего цилиндрического элемента, параметры качества и действующих нагрузок которого распределены по стандартным законам, закон надежности оказывается достаточно сложным [4].

Предлагаемая методика принадлежит классу непараметрических оценок, явно учитывающих ближний порядок взаимного расположения элементов вариационного ряда. Для малых выборок ($\lg N \sim 1$ [5], где N – объем выборки) особенно важно максимально использовать имеющуюся информацию и, в частности, информацию ближнего порядка. Учет ближнего порядка повышает риск принять статистический выброс за закономерность, но исключает возможность «стереть» действительно закономерную особенность плотности распределения искусственным выбором ширины вклада или заданием пусть «близкого», но параметрического закона. Поскольку окончательное решение на проведение того или иного управляющего воздействия на показатели надежности принимается технологом, то указанный выброс как *стимул технологических исследований* в зоне сгущения точек вариационного ряда более предпочтителен, чем стремление аппроксимировать результат параметрическим законом. Изложенная ситуация особенно важна при «массовых» автоматизированных расчетах. В частности, первый тотальный анализ достигнутого уровня надежности основных агрегатов АЭС, проведенный в 1987 – 1989 гг. по методике [6], выявил устойчивый всплеск λ -характеристик в 720-часовой зоне более чем у 90% обследованных объектов [7]. Коренная причина всплеска – недостатки в технологии проведения ремонтов, включая профилактические.

Таким образом, непараметрический метод должен стать обязательной частью статистического анализа надежности агрегатов и систем АЭС, важных для безопасности. В свою очередь выбор параметрического закона должен быть качественно обоснован [8].

Представленная в базе данных информация об отказах насосного оборудования подпитки и борного регулирования АЭС с ВВЭР-1000 позволяет провести вычисление наработок объектов до отказа по каждой единице оборудования. Всего по группе оборудования в количестве 21 объект зафиксировано 162 отказа с известными наработками и 21 наработка, цензурированная справа.

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Построение вероятностных показателей надежности системы насосного оборудования осуществлялось методом ядерного оценивания. Ядерная оценка плотности распределения имеет вид [1, 9]

$$\hat{f}_n(x; \sigma) = \frac{1}{n\sigma_n} \sum_{i=1}^n V\left(\frac{x - \xi_i}{\sigma_n}\right), \quad (1)$$

где $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ – наработки до отказа объектов наблюдения (выборка, полученная в результате наблюдения за объектом исследования); $V(x)$ – ядро оценки; σ_n – параметр локальности или, как его еще называют, ширина окна; n – объем выборки наблюдений.

При наличии наработок, цензурированных справа, (наряду с полными) выражение для оценки плотности будет иметь вид [9]

$$\hat{f}_n(x) = \frac{1}{\sigma_n n} \left[\sum_{j=1}^p V\left(\frac{x - \xi_j}{\sigma_n}\right) + \sum_{j=1}^s \frac{v_j}{x^2} \int_0^1 V\left(\frac{\frac{1}{x} - \frac{u}{l_j}}{\sigma_n}\right) du \right], \quad (2)$$

где l_j – наблюдения, цензурированные справа; $\vec{v} = (v_1, v_2, \dots, v_s)$ – вектор, представляющий собой случайное число наблюдений, цензурированных справа; s – количество интервалов, на которых зафиксированы цензурированные наблюдения; p – число полных наработок.

Плотность распределения, построенная на основании формулы (1) или (2), при соответствующем выборе ядра будет представлять собой непрерывную функцию. Выбор конкретного ядра обусловлен начальными предпосылками, касающимися класса функций, которому принадлежит оцениваемая плотность. Вопросы оптимальности построения ядерных оценок изложены, например, в [1, 10, 13]. В качестве ядра в выражениях (1), (2) возьмем гауссовское ядро.

Наблюдаемой случайной величиной в данной задаче является время, область его определения будет $[0, \infty)$, следовательно, априори известно, что обрабатываемые случайные величины относятся к классу неотрицательных величин. Задача ядерного оценивания плотности распределения для неотрицательных случайных величин имеет особенность, состоящую в том, что для малых наработок (в окрестности точки 0) присутствует относительное смещение плотности распределения.

Это приводит к нарушению условия нормировки ($\int_0^{\infty} \hat{f}(t, \sigma) dt < 1$). Суть проблемы

заключается в том, что ядро оценки определено на интервале $[-\infty, \infty]$. В нашей задаче выбрано гауссовское ядро, которое представляет собой гауссовскую плотность распределения нормированной случайной величины с математическим ожиданием, равным нулю, и среднеквадратическим отклонением, равным σ_n , – параметру локальности или ширине окна. Для гауссовской плотности распределения известно так называемое «правило трех сигм», согласно которому интервал,

ограниченный отклонениями от математического ожидания вправо и влево величинами, равными трем среднеквадратическим отклонениям, накрывает практически сто процентов площади под кривой плотности распределения. Смещение появляется в том случае, когда разница между начальной точкой области определения (точкой ноль) и зафиксированной наработкой меньше трех среднеквадратических отклонений. Математически это можно проиллюстрировать следующим образом:

$$\int_0^{\infty} \hat{f}(t, \sigma) dt = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n\sigma} \int_0^{\infty} V\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right) dt = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi\left(\frac{\xi_i}{\sigma}\right),$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – интеграл Лапласа. Нарушение условия нормирования

наблюдается в том случае, если существуют наработки $\xi_i < 3\sigma$.

Для устранения смещения ядерной оценки можно предложить несколько подходов.

Первый подход заключается в том, что для ξ_i , наиболее близких к точке ноль, необходимо брать параметр локальности σ_n меньше оптимального. Пусть найдено оптимальное значение $\sigma = \sigma_0$ и $\xi_{(1)}, \xi_{(2)}, \xi_{(3)}, \dots, \xi_{(n)}$ – вариационный ряд, составленный из наработок с помощью их ранжирования. Таким образом, $\xi_{(1)}$ – наименьшая наработка из ξ_i . Пусть $\xi_{(k)}$ – первая наработка из ξ_i , для которой выполнилось условие $\xi_i > 3\sigma$. Числовое значение параметра локальности будем выбирать в зависимости от номера наработки следующим образом:

$$\sigma_i = \begin{cases} i\sigma_0, & i < k \\ \sigma_0, & i \geq k. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда формула для ядерной оценки плотности распределения будет иметь вид

$$\hat{f}_n(x; \sigma) = \frac{1}{n\sigma_i} \sum_{i=1}^n V\left(\frac{x-\xi_{(i)}}{\sigma_i}\right), \quad (4)$$

где $\xi_{(i)}$ – упорядоченные по рангу в порядке возрастания наработки. Здесь σ_i линейно возрастают, достигают оптимального значения σ_0 и далее остаются постоянными.

Второй подход состоит в зеркальном отображении исходных данных. Отобразим зеркально исходные данные, помещая их в обратном порядке симметрично относительно начальной точки области определения (подход впервые предложен в [12]). В данном случае выражение (1) будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{f}(t, \sigma) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \left[V\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right) + V\left(\frac{t+\xi_i}{\sigma}\right) \right]. \quad (5)$$

Проверим выполнение условия нормировки

$$\int_0^{\infty} \hat{f}(t, \sigma) dt = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n\sigma} \int_0^{\infty} \left[V\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right) + V\left(\frac{t+\xi_i}{\sigma}\right) \right] dt = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{\xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(-\frac{\xi_i}{\sigma}\right) \right] = 1.$$

Функция распределения при данном подходе будет определяться по формуле

$$\begin{aligned} \hat{F}(t, \sigma) &= \int_0^x f(u, \sigma) du = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \left[\int_0^x V\left(\frac{u-\xi_i}{\sigma}\right) du + \int_0^x V\left(\frac{u+\xi_i}{\sigma}\right) du \right] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{t+\xi_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\xi_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{\xi_i}{\sigma}\right) \right] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{t+\xi_i}{\sigma}\right) \right] - 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Третий подход состоит в использовании усеченных ядер:

$$\hat{f}(t, \sigma) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \frac{V\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{\xi_i}{\sigma}\right)}. \quad (7)$$

Знаменатель данного выражения отвечает за нормировку плотности распределения.

Проведем исследование вышеописанных подходов на следующем примере. Исследования будем проводить методом имитационного моделирования. Рассмотрим случайную величину, распределенную по экспоненциальному закону с параметром $\lambda=1$. Смоделируем выборку наработок объемом $n=100$. Построим по данной выборке ядерные оценки плотности распределения с использованием трех изложенных подходов. Результат построения представлен на рис. 1, где изображены $f_{\text{теор.}}$ – теоретическая плотность распределения экспоненциального закона (плотность распределения, на основании которой осуществлялось моделирование выборки случайных величин), $f_{\text{класс.}}$ – оценка плотности распределения с классическим гауссовским ядром (построенная по первому методу оценивания с изменяющимся параметром ширины окна), $f_{\text{ус.}}$ – с усеченным гауссовским ядром, а $f_{\text{с зерк.отобр.}}$ – оценка плотности, полученная методом зеркального отображения данных. Рассчитанные для рассмотренного примера отклонения оценки от теоретической кривой при использовании различных ядер приведены в табл. 1. В таблице точность оценивалась в двух метриках. Выражения для вычисления ошибок оценивания имеют вид

$$d_n = \sup_{\Omega} |f_{\text{теор.}}(x) - \hat{f}_n(x)|, \quad (8)$$

$$e_n = \int_{\Omega} |(f_{\text{теор.}}(x) - \hat{f}_n(x))| dx, \quad (9)$$

где $f_{\text{теор.}}$ – истинная плотность распределения, на основании которой осуществлялось моделирование статистических данных; \hat{f}_n – ядерная оценка плотности распределения; Ω – область определения наблюдаемой случайной величины; d_n –

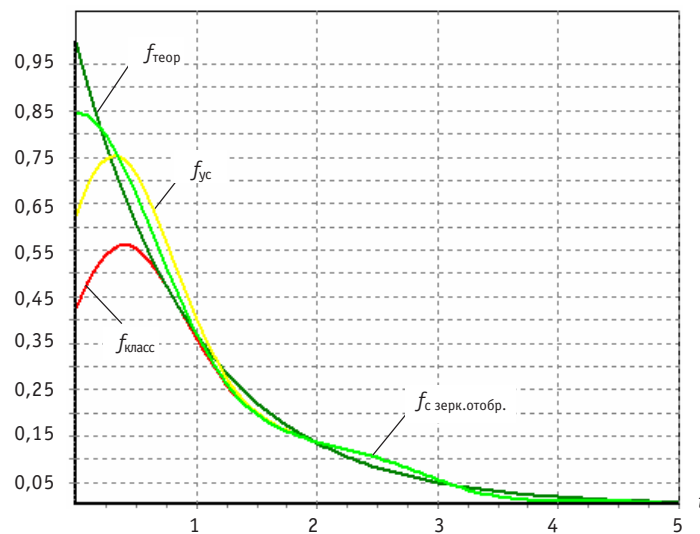


Рис. 1. Ядерная оценка плотности распределения при выборе различных ядерных функций

Таблица 1

Результаты расчетов отклонений оценки от теоретической кривой для трех ядерных функций

Ядро	e (L_1 -метрика)		d (C -метрика)	
	точность	средний выигрыш, %	точность	средний выигрыш, %
Классическое	0.183	—	0.575	—
Усеченное	0.146	12	0.378	33
С зеркальным отображением	0.090	27	0.063	60

ошибка в метрике C -пространства непрерывных функций (C -расстояние); e_n – ошибка оценивания в метрике L_1 -пространства (L_1 -расстояние). В таблице также приведены результаты расчетов выигрыша в точности, который дает замена классического ядра на усеченное и на ядро с зеркальным отображением данных. В результате исследования трех представленных подходов получено, что наибольшую точность расчета гарантирует метод зеркального отображения данных. Дальнейшие исследования надежности насосов подпитки и борного регулирования ЦН 60-180 проводились данным методом.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСОСОВ ЦН 60-180 ЯДЕРНЫМИ МЕТОДАМИ

В настоящем разделе приведены результаты расчетов характеристик надежности для насосных агрегатов ЦН 60-180, работающих в составе штатного оборудования реакторов ВВЭР-1000, методом ядерного оценивания. Анализ надежности проводился на основании информации, представленной в отраслевой базе данных ВНИИАЭС по состоянию на 31.12.2007 г. В рассмотрение включены агрегаты Балаковской (блоки 1–4), Калининской (блоки 1, 2) и Нововоронежской (блок 5) АЭС. Период наблюдения за функционированием объектов с 01.01.1990 по

31.12.2007 гг. Всего под наблюдением находился 21 агрегат, за время наблюдения зафиксировано 162 отказа и повреждения.

Расчеты проводились в следующем порядке:

- строились ядерные оценки плотности и функции распределения наработки до отказа;
- на основе полученных функциональных характеристик рассчитывались такие параметры как вероятность безотказной работы и интенсивность отказа.

Результаты ядерного оценивания плотности и функции распределения наработок до отказа и вероятности безотказной работы, полученные по данным об отказах насосов подпитки и борного регулирования ЦН 60-180,

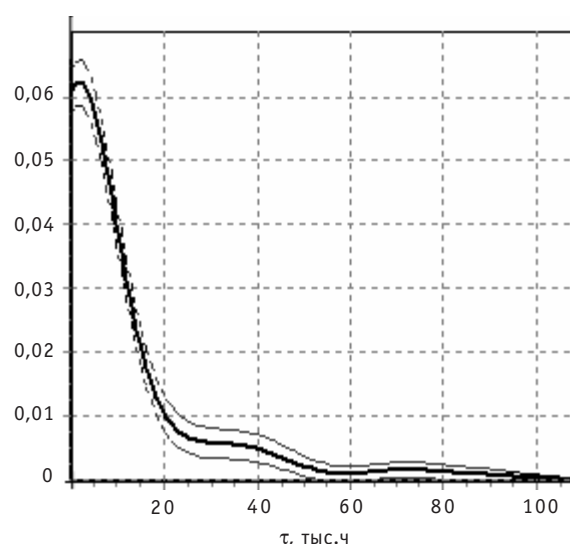


Рис. 2. Ядерная оценка плотности распределения наработки до отказа с доверительными интервалами, построенная по данным об отказах насосов подпитки и борного регулирования БАЭС ($n=p=88$)

представлены на рис. 2–7. В качестве примера на рис. 2–4 приведены характеристики надежности насосов первого блока Балаковской АЭС. Аналогичные расчеты проведены для насосов остальных энергоблоков Балаковской (блоки 2–4), Калининской (блоки 1, 2) и Нововоронежской (блок 5) АЭС. Более подробные результаты расчетов представлены в [11]. В данной статье приведем результаты расчетов, полученные для обобщенного насоса (для анализа использовалась вся информация об отказах насосов на различных энергоблоках). Результаты для обобщенного насоса представлены на рис. 5–7. В качестве единицы измерения на оси абсцисс (наработка до отказа) используется время в тысячах часов. По суммарному объему данных об отказах насосных агрегатов ЦН 60-180 были построены ядерные оценки следующих показателей: плотность распределения наработки до отказа с учетом цензурирования справа, функция распределения и вероятность безотказной работы, а также интенсивность отказа.

Следует отметить, что для показателей плотности распределения наработки до отказа, функции распределения и вероятности безотказной работы не только проведены расчеты точечных оценок показателей надежности, но и представлены доверительные границы с уровнем доверительной вероятности, равной 0.90.

Особый интерес представляет «спектральный анализ» интенсивности отказа (см. рис. 4, 7). Помимо статистического шума каждый всплеск (горб) функции интенсивности отказа может быть обусловлен объективными причинами отказов. В рассматриваемом случае функция интенсивности отказа по оси наработок имеет три горба. Первый наблюдается при наработках в 6–10 тыс. ч, второй при 38 – 42 тыс. ч, третий приходится на конец интервала построения показателей надежности (наработки свыше 80 тыс. ч). После получения данных результатов возникла необходимость заново проанализировать таблицы отказов. В процессе данно-

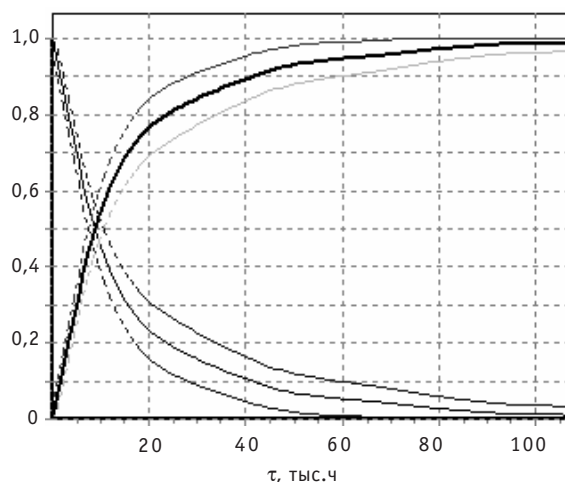


Рис. 3. Ядерные оценки функции распределения наработки до отказа (—) и ВБР (—) с доверительными интервалами, построенные по данным об отказах насосов подпитки и борного регулирования БАЭС ($n=p=88$)

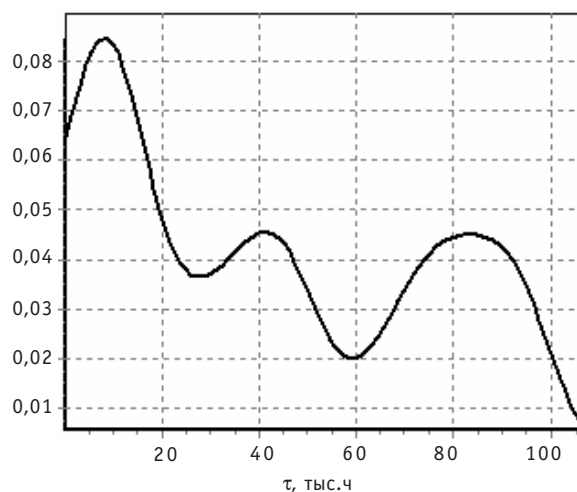


Рис. 4. Ядерная оценка интенсивности отказа, построенная по данным об отказах насосов подпитки и борного регулирования БАЭС ($n=p=88$)

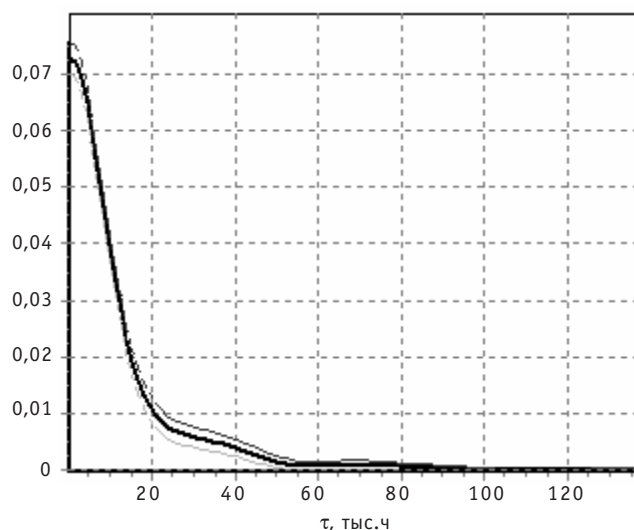


Рис. 5. Ядерная оценка плотности распределения наработки до отказа с доверительными границами, построенная по данным об отказах насосов подпитки и борного регулирования всего парка оборудования АЭС

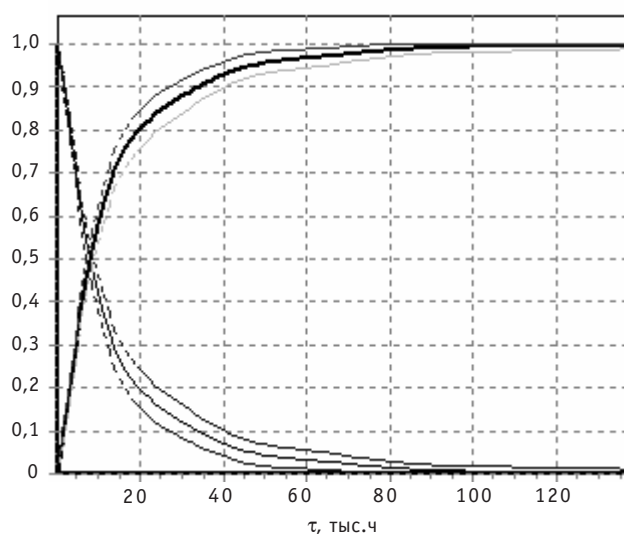


Рис. 6. Ядерные оценки функции распределения наработки до отказа (—) и ВБР (---) с доверительными границами, построенные по данным об отказах насосов подпитки и борного регулирования всего парка оборудования АЭС

го анализа выяснилось, что на указанных временных интервалах наблюдается относительное увеличение количества отказов. Причем на каждом из интервалов удалось установить доминирующую причину отказов.

Технологический анализ причин отказов в зоне экстремумов показывает, что первый горб связан с недостатками в технологии выполнения ремонтных операций, включая профилактические. Действительно, если вернуться к данным об отказах, то можно заметить, что 60% отказов в период, соответствующий первому всплеску интенсивности, были обусловлены недостатками технического обслуживания и ремонта. Второй горб связан с отказами отдельных составных частей насосов, обусловленных несовершенством конструкции насосных агрегатов. 65% отказов в период, соответствующий второму всплеску интенсивности, произошли именно по этой причине. Третий горб функции интенсивности отказов можно объяснить ошибками расчета, возникающими на границе области определения функции интенсивности отказов ввиду малого объема дан-

ных об отказах в соответствующий промежуток времени. Таким образом, непараметрические методы позволяют провести дополнительный углубленный технологический анализ надежности, что несвойственно параметрическим методам.

Кроме того с использованием оценок показателей надежности, полученных на предыдущих этапах, была исследована зависимость коэффициента готовности системы насосного оборудования БАЭС от времени между планово-профилактическими работами. Результаты расчетов продемонстрировали, что кривая коэффициента готовности не имеет максимума. Максимум достигается на бесконечно-

сти, а это означает, что рассматриваемое оборудование не нуждается в проведении планово-профилактических работ. Этот результат уточнил расчеты ОАО «ВНИИАЭС», полученные с использованием кода DbAnalysis [14] в предположении линейной зависимости, и подтвердил гипотезу о возможности перевода насосного агрегата ЦН 60-180 на «ремонт по состоянию».

В целом полученные результаты по оценке характеристик надежности насосного агрегата ЦН 60-180 использовались при подготовке управляющих решений сотрудниками института по эксплуатации атомных станций в части выработки рекомендаций при организации стратегий технического обслуживания и ремонта оборудования системы подпитки теплоносителя и борного регулирования первого контура АЭС, а также по обоснованию оптимального количества запасных изделий насосного агрегата ЦН 60-180, необходимого для обеспечения бесперебойного функционирования энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000.

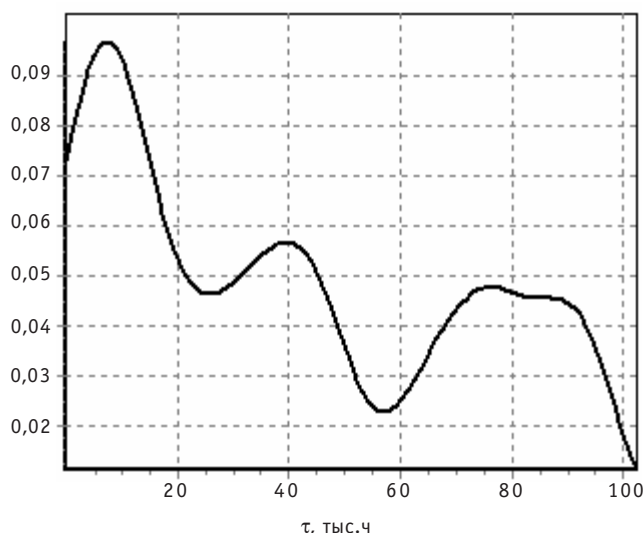


Рис. 7. Ядерная оценка интенсивности отказа, построенная по данным об отказах всех насосов подпитки и борного регулирования всего парка оборудования АЭС

Литература

1. Антонов А.В. Системный анализ. Учебник для вузов – М.: Высшая школа. 2008г. 454 с.
2. Таратунин В.В. Проблемы управления и научно-технической поддержки безопасной и надежной эксплуатации атомных энергоблоков. – В кн.: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 48. Мурманск: ИФТПЭ Севера КНЦ РАН, 1996. – С. 153-165.
3. Хазов Ф., Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. – М.: Машиностроение, 1986.
4. К вопросу об оценке показателей надежности по результатам прочностного расчета. Отчет НИКИЗТ № 330-052-715. – М., 1980.
5. Михок Г., Урсяну В. Выборочный метод и статистическое оценивание. – М.: Финансы и статистика, 1982.
6. МЕТОДИКА непараметрической оценки показателей надежности оборудования АЭС по малой статистике. № 09-2367/87. – М.: Главное научно-техническое и проектно-конструкторское управление МИНАТОМ СССР, 1987.
7. Таратунин В.В. Количественный анализ надежности оборудования АЭС на этапе эксплуатации: Сб. статей «Совершенствование уровня эксплуатации АЭС». – М.: – Энергоатомиздат, 1989.
8. Руководящий документ (РД ЭО 0564-2004) «Расчет единичных показателей надежности компонент энергоблока атомных станций».
9. Антонов А.В., Чепурко В.А. Построение непараметрической плотности распределения на основании цензурированной информации // Надежность. – 2005. – № 2. – С. 3-13.
10. Антонов А.В., Зюлева Н.Г., Чепурко В.А. Исследование метода ядерной оценки плотности распределения // Надежность. – 2007. – № 1. – С. 3-12.
11. Антонов А.В., Зюлева Н.Г., Таратунин В.В. и др. Оценка показателей надежности и оптими-

зация объема запасных элементов насосных агрегатов ЦН 60-180 ядерными и корневыми методами. Технический отчет. – М.: ВНИИАЭС – 2008. – 47 с.

12. Хардле В., Крекьячарян Ж., Пикар Д., Цыбаков А. Вейвлеты, аппроксимация и статистические приложения <http://www.quantlet.de/scripts/wav/html>.

13. Деврой Л., Дьерфи Л. Непараметрическое оценивание плотности. L_1 -подход/Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 408 с.

14. Елизаров А.И., Таратунин В.В. Программа DbAnalysis Plus. Паспорта аттестации ПС №210 от 15.12.2005 г. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору.

Поступила в редакцию 2.12.2008

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

Operational Reliability Statistical Analysis of Reactors VVER-1000 Electropump Units CN 60-180 by Kernel Estimation Methods \ A.V. Antonov, V.A. Chepurko, N.G. Zulyaeva, A.Y. Belousov, V.V. Taratunin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 1 table, 7 illustrations. – References, 15 titles.

The paper considers questions of processing of the statistical information on pump aggregates CN 60-180 failures during operation. Pump units CN 60-180 are part of the regular equipment of reactors VVR-1000. The information for the analysis is obtained from branch database VNIIAES. The object operation observation period is 01.01.1990–31.12.2007. To processing the statistical information the nonparametric estimation method named kernel estimation was applied. Such pump units reliability characteristic estimates, as operating time to failure probability density and distribution function, probability of non-failure operation and hazard rate are obtained. The work results are used for acceptance of managing influences.

УДК 621.039.586

Support System of Emergency Actions Management for the NPP with a BN-Type Reactor \ Y.M. Volkov, A.I. Voropaev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 2 illustrations. – References, 16 titles.

In article described the status of development and the content of a software-technical complex for emergency actions support for BN-type reactors. It represents a system of interconnected mathematical models, techniques, technical and software means. The considered complex is developed at the Institute of Physics and Power Engineering (IPPE) and represents a system for support of emergency actions management for reactors of BN-type.

УДК 543.272.2: 543.25

Elektrokonduktometricheskie Gs-Analyzers of Hydrogen: Long-Term Operating Experience \ E.A. Kochetkova, V.V. Leshkov, V.P. Kornilov, S.G. Kalyakin, A.V. Drobishev, S.N. Skomorokhova, S.V. Bogdanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 4 tables, 5 illustrations. – References, 9 titles.

The article presents the results of the development and long-term operating experience of electrokonduktometricheskie gas-analyzers of hydrogen. Technical characteristics and employment examples for several variants of devices, type AV and SOV, are resulted. Gas-analyzers of hydrogen destined for continuous automatic measurement of a volume fraction of hydrogen in gas environments: He, Ar, N₂, protective atmospheres of research and industrial installations, as well for air environments with reference to hydrogen safety on the atomic power station. The presented variants of gas-analyzers of hydrogen are united uniform by an elektrokonduktometricheskie action principle.

УДК 621.039.53: 620.179.152

Automated Result Analysis in Radiographic Testing of NPPs' Welded Joints \ A.O. Skomorokhov, A.V. Nakhabov, P.A. Belousov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 8 illustrations. – References, 10 titles.

The paper describes development of algorithms for automated radiographic image interpretation, which based on modern data analysis methods. Only images for welded joints are considered yet. The paper covers automatic image segmentation, object recognition and defect detection issues. Testing results for actual radiographic images with wide parameter variation are presented as well.

УДК 621.039.58

The Residual Lifetime Estimation for the RBMK-1000 PCS of the Smolensk NPP's First Power Unit \ S.V. Sokolov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 1 table, 4 illustrations. – References, 3 titles.

In the paper the method of residual lifetime estimation for nuclear power plants' (NPP) electrical equipment are considered. The mathematical model of the reliability characteristics calculation for the protection control system is given. The results of the residual lifetime calculations for the PCS's subsystem are represented in the paper. As a basis for calculation the statistical data about failures of the RBMK-1000 protection control system