

УДК 621.039.54

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТВС С НЕГЕРМЕТИЧНЫМИ ТВЭЛАМИ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА БН-600

А.О. Скоморохов

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск



Задача определения местоположения ТВС с негерметичными твэлами в активной зоне реактора БН-600 решается методом перекомпенсации нейтронного поля на работающем реакторе. Возмущения нейтронного поля при движении стержней СУЗ аппроксимируются с помощью радиально-базисной нейронной сети. Предложен генетический алгоритм локализации дефектных ТВС.

Ключевые слова: диагностика, негерметичные твэлы, локализация, быстрые реакторы, генетический алгоритм, радиально-базисная нейронная сеть.

Key words: diagnostics, fuel rods leakage, localization, fast-neutrons reactors, genetic algorithm, radial-basis neural network.

ВВЕДЕНИЕ

Основными задачами контроля герметичности оболочек (КГО) применительно к макродефектам (прямой контакт теплоносителя с топливом) являются обнаружение разгерметизации оболочки твэла и локализация (определение местоположения) дефектных ТВС (тепловыделяющих сборок, содержащих один и более дефектных твэлов).

Вторая задача может решаться как на остановленном, так и на работающем реакторе. На реакторе БН-600 во время останова локализация дефектных ТВС проводится путем отбора и анализа проб натрия из каждой ТВС. Это весьма длительный и трудоемкий процесс, который может приводить к увеличению простоя реактора. Поэтому желательно хотя бы приблизительно определить местоположение дефектных ТВС на работающем реакторе и, тем самым, сократить область поиска при выполнении работ на остановленном реакторе.

Перспективным методом локализации дефектных ТВС на работающем реакторе является метод, основанный на проведении перекомпенсаций нейтронного поля [1]. Перекомпенсацией называют изменение (движением стержней СУЗ) распределения (профиля) нейтронного поля при сохранении постоянного интегрального уровня мощности. При этом происходят локальные изменения (увеличение или уменьшение) нейтронного потока и энерговыделения в различных областях активной зоны [1].

Применение метода перекомпенсации для реактора БН-600 рассмотрено в работах [2, 3].

© А.О. Скоморохов, 2011

Применение метода перекомпенсации для локализации дефектных ТВС позволяет проводить контроль на работающем реакторе, характеризуется малыми временными затратами на проведение измерений, допускает практически полную автоматизацию и, теоретически, позволяет определять координаты дефектов с точностью до одной ТВС.

МЕТОД ПЕРЕКОМПЕНСАЦИЙ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ

Метод определения местоположения дефектных тепловыделяющих сборок (ТВС), основанный на внесении возмущений в различных областях активной зоны, называется методом перекомпенсаций [1]. Дефектность сборки означает наличие одного или нескольких тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), имеющих дефект оболочки, при котором происходит прямой контакт топлива с теплоносителем. Под возмущением нейтронного поля подразумевается изменение плотности нейтронного потока с помощью стержней регулирования реактора при поддержке постоянной полной мощности реактора (интегрального потока нейтронов).

На реакторе БН-600 входящие в состав системы секторного контроля герметичности оболочек (СКГО) датчики запаздывающих нейтронов расположены на входных окнах промежуточных теплообменников (ПТО).

При локальном изменении уровня нейтронного потока изменяется количество образующихся продуктов деления и, соответственно, выход запаздывающих нейтронов из осколков. Присутствие в теплоносителе осколков деления контролируется датчиками запаздывающих нейтронов (ДЗН), входящими в состав системы контроля герметичности оболочек. Если в зоне локального изменения нейтронного потока имеются дефектные ТВС и теплоноситель из этой зоны достигает в процессе циркуляции места установки датчика запаздывающих нейтронов, то сигнал этого датчика должен измениться пропорционально изменению нейтронного потока.

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ПЕРЕКОМПЕНСАЦИИ

Физическая суть метода перекомпенсации нейтронного поля заключается в следующем. При локальном изменении уровня нейтронного потока изменяется количество образующихся продуктов деления. Если изменение потока происходит в районе активной зоны, содержащей дефектную ТВС, то увеличивается выход осколков деления в теплоноситель через дефект оболочки ТВЭЛ. Попавшие в теплоноситель осколки деления продолжают распадаться по цепочке естественного радиоактивного распада, испуская при этом запаздывающие нейтроны. Присутствие в теплоносителе осколков деления контролируется датчиками запаздывающих нейтронов. Если в зоне локального изменения нейтронного потока имеются дефектные ТВС и теплоноситель из этой зоны достигает в процессе циркуляции места установки датчика запаздывающих нейтронов, то сигнал этого датчика d должен измениться пропорционально изменению нейтронного потока ψ .

Динамическая природа задачи определяется внесением возмущений нейтронного поля при проведении перекомпенсации.

Общая постановка задачи (система уравнений):

$$\begin{aligned} \Delta d_1 &= \Delta \psi_{11} q_1 + \Delta \psi_{12} q_2 + \dots + \Delta \psi_{1n} q_n \\ \Delta d_2 &= \Delta \psi_{21} q_1 + \Delta \psi_{22} q_2 + \dots + \Delta \psi_{2n} q_n \\ &\vdots \\ \Delta d_m &= \Delta \psi_{m1} q_1 + \Delta \psi_{m2} q_2 + \dots + \Delta \psi_{mn} q_n, \end{aligned} \quad (1)$$

где n – число областей, на которые разбита активная зона; m – число проведенных перекомпенсаций (конфигураций нейтронного поля); $\Delta \psi_{ij}$ – изменение ней-

тронного поля в j -ой области активной зоны при проведении i -ой перекомпенсации; Δd_i – изменение показаний датчика запаздывающих нейтронов для i -ой перекомпенсации; q_j – фактор негерметичности для j -ой области активной зоны. Фактор $q_j > 0$, если j -ая область активной зоны содержит дефектную ТВС. В противном случае, $q_j = 0$.

Система линейных уравнений (1) содержит n неизвестных. Для реактора БН-600 максимальное значение $n = 370$ определяется числом ТВС в активной зоне.

Динамической норме соответствует $\Delta d_i = 0, \forall i \in 1, m \Rightarrow q_j = 0, \forall j \in 1, n$ при решении системы (1).

РАСЧЕТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ

Целью расчетов было оценить изменение нейтронного потока в ТВС активной зоны в результате перемещения стержней регулирования при проведении перекомпенсации.

Расчеты проводились по трехмерной гексагональной программе TRIGEX в диффузионном приближении. По высоте реактор был разбит на 22 расчетных слоя, из них 14 приходилось на активную зону. Такое подробное разбиение понадобилось для детального слежения за перемещением стержней регулирования, которые двигались с шагом 20 мм. Весь реактор был разбит на 26 физических зон с одинаковой концентрацией.

Результатом были усредненные по высоте реактора одногрупповые потоки с большим числом значащих цифр для всех ТВС. Это было сделано для того, чтобы можно было проследить возмущение нейтронного потока по всем сборкам активной зоны, а т.к. это возмущение предполагалось незначительным, потребовалась большая точность получаемых результатов.

Потоки и энерговыделение по ТВС всех зон рассчитывались для состояния с мощностью реактора 93.7%, оборотами ГЦН-1, равными 957 об/мин и температурами на входе и выходе ПТО равными $T_{вх} = 540^\circ\text{C}$ и $T_{вых} = 346^\circ\text{C}$.

Положения стержней СУЗ для четырех вариантов расчета приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Положения неподвижных стержней СУЗ

КС	1	2	3	4	5	6	7	8
H , мм	560	545	560	545	560	540	540	540
КС	13	14	15	16	17	18	Ц	АР 1
H , мм	560	560	560	560	560	560	536	308

Таблица 2

Положения стержней СУЗ, участвовавших в перекомпенсации

№	АР 2	КС 9	КС 10	КС 11	КС 12
1	517	540	540	540	540
2	491	560	540	540	540
3	470	560	540	540	560
4	445	560	540	560	560

На рисунке 1 для примера представлено изменение потока при перемещении стержня КС-12 на 20 мм относительно состояния, предшествующего этому пере-

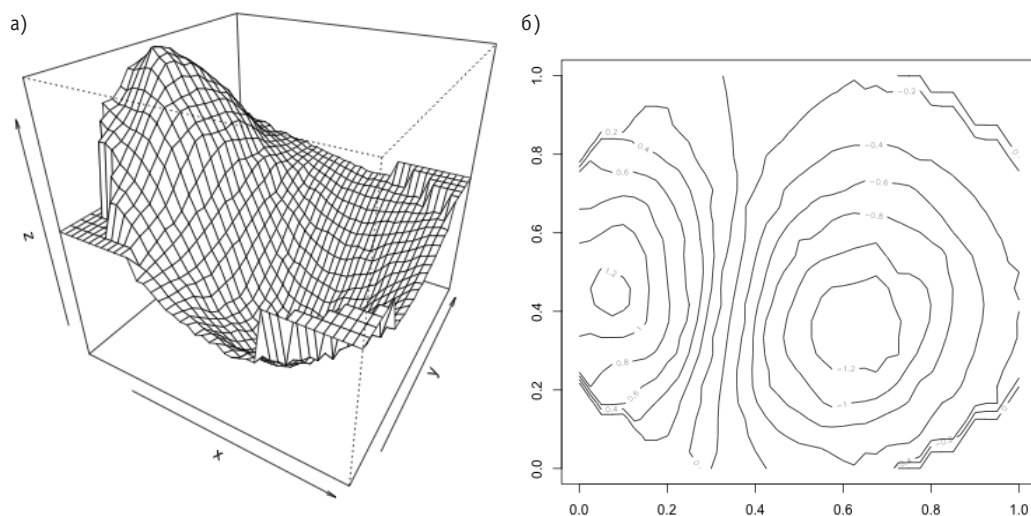


Рис. 1. Изменение потока при перемещении стержня КС-12: а) – профиль изменения поля; б) – линии уровня поля

мещению. Компенсация выполнялась стержнем АР-2. На графике профиля поля – центры холма (область возрастания поля) и впадины (область уменьшения поля) совпадают с координатами стержней КС-12 и АР-2. На графике линий уровня (рис. 1б) области положительного и отрицательного изменения поля разделяет граница (линия нулевого уровня).

АППРОКСИМАЦИЯ ПОЛЯ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

Для представленных в предыдущем разделе расчетов требуются значительные временные затраты, поэтому они не могут использоваться оперативно. Важной задачей является аппроксимация результатов расчета по физическим моделям более простыми функциями.

Радиально-базисные нейронные сети (РБФ-сети) являются мощным и универсальным инструментом аппроксимации сложных нелинейных функций и широко применяются в задачах регрессии и классификации [4, 5]. Главным преимуществом РБФ-сетей является высокая скорость обучения. Рассмотрим архитектуру радиально-базисных нейронных сетей. Предположим, имеется набор данных $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)$, $i \in [1, M]$, где \mathbf{x}_i и \mathbf{y}_i – входы и выходы некоторой неизвестной функции, измеренные в присутствии шумов. Входы являются набором n предикторов, заданных векторами $\mathbf{x}' = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ в n -мерном пространстве. В случае регрессионной модели выход является скаляром y и представляет целевые значения функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Для задачи классификации выходом является вектор $\mathbf{y}' = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ и представляет p функций – апостериорных вероятностей для различных классов.

Пример архитектуры РБФ-сети изображен на рис. 2. Каждый вход x_i соединен с каждым нейроном скрытого слоя. Нейроны скрытого слоя являются радиально-базисными функциями, выполняющими нелинейное преобразование входных признаков. Затем выходные сигналы аппроксимируются методом наименьших квадратов в виде функции от нелинейно преобразованных входов.

В качестве РБФ обычно выбирают радиально симметричные функции с максимумом в начале координат [6]. Наиболее часто используется ненормализованный гауссиан: $h(r) = e^{-\alpha r^2}$, где r – расстояние от центра функции. Для функции с центром \mathbf{m}_i и точки входной последовательности \mathbf{x}_i имеем

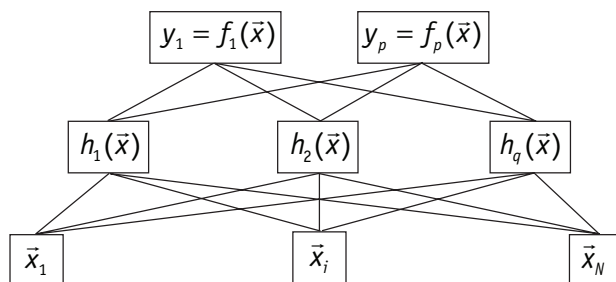


Рис. 2. Структура РБФ-сети

$$h_{ij}(\mathbf{m}_i, \mathbf{x}_j) = e^{-\alpha \|\mathbf{x}_j - \mathbf{m}_i\|^2}. \quad (2)$$

В матричной форме нелинейные преобразования для нейронов скрытого слоя представляются как

$$X = \begin{vmatrix} x_{11} & \& x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & \& x_{Nn} \end{vmatrix} \Rightarrow H = \begin{vmatrix} h_{11} & \& h_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & \& h_{Nq} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где h_{ij} – радиально-базисные функции.

Для выходного слоя оценивается линейная модель вида

$$Y = HW, \quad (4)$$

где $Y = \begin{vmatrix} y_{11} & \& y_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{Np} & \& y_{Np} \end{vmatrix}, W = \begin{vmatrix} w_{11} & \& w_{p1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1q} & \& w_{pq} \end{vmatrix}.$

Оценками метода наименьших квадратов для весовых коэффициентов W являются

$$W = (H^T H)^{-1} H^T Y. \quad (5)$$

При малых значениях параметра α выходы соседних (с близкими центрами) РБФ могут быть сильно коррелированы. Это ведет к плохой обусловленности матрицы H (3) и вычислительным проблемам при ее обращении (5). Для преодоления этой трудности рекомендуется [4] использовать псевдообращение при вычислении оценок метода наименьших квадратов. Это сводится к добавлению к диагональным элементам матрицы $H^T H$ небольшого значения $\lambda > 0$, что приводит к доминированию диагональных элементов и лучшей обусловленности обращаемой матрицы. Таким образом, вместо (5) мы использовали для получения оценок коэффициентов

$$W = (H^T H + \lambda I)^{-1} H^T Y, \quad (6)$$

где I – единичная матрица.

Для учета смещения в скрытый слой часто вводится дополнительный нейрон h_0 , чей выход всегда равен единице. Это соответствует добавлению столбца единиц в матрицу H и строки коэффициентов в матрицу W :

$$H = \begin{vmatrix} h_{11} & \& h_{1q}, 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & \& h_{Nq}, 1 \end{vmatrix}, W = \begin{vmatrix} w_{11} & \& w_{p1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1q} & \& w_{pq} \\ w_{10} & \& w_{p0} \end{vmatrix} \quad (7)$$

Для каждого выходного нейрона y_i модель теперь будет выглядеть как

$$y_j = w_{j0} + \sum_{i=1}^q w_{ji} \times h_i. \quad (8)$$

Обучение радиально-базисных нейронных сетей проходит в два этапа:

- обучение скрытого слоя (выбор базисных функций);
- аппроксимация выходов в преобразованном пространстве признаков.

На первом этапе (обучение без учителя) не используется информация о требуемых выходах сети, при этом необходимо выбрать

- число радиально-базисных функций (нейронов скрытого слоя);
- центры для каждой радиально-базисной функции;
- значение параметра α , который характеризует область определения (влияния) РБФ.

Простейшим решением является выбор каждого вектора входной последовательности x_i в качестве центра радиально-базисной функции. Однако это приводит к известной проблеме переобучения (*overfitting*) [5] и снижает предсказательную способность сети. Наиболее часто применяется кластерный анализ векторов входной последовательности. Число полученных кластеров определяет число радиально-базисных функций, а центры кластеров берутся в качестве центров РБФ. Для кластерного анализа использовали алгоритм *K-means* [6]. Реализация алгоритма на языке программирования APL и его применение описаны в статье [7].

При выборе значения параметра α (пункт 3) возможны следующие проблемы. Слишком большое значение α приводит к тому, что функция локализована (замечено отличается от нуля) в узкой области вокруг своего центра и не может использоваться для обобщения и предсказания. Маленькое значение α ведет к «широким» РБФ и слишком сглаженной аппроксимации выходной величины, при которой пропадают важные особенности ее поведения.

Для выбора α была предложена следующая простая процедура. Примем, что две соседние (имеющие ближайшие центры) радиально-базисные функции имеют равные значения в точке, лежащей на середине отрезка, соединяющего центры этих функций. Этим гарантируется, что все точки, лежащие между центрами данных РБФ, будут иметь отличное от нуля значение для, по крайней мере, одного нейрона скрытого слоя. Соответствующее этому условию значение α легко определяется из (2) как

$$\alpha = \frac{4 \times \ln 2}{\bar{r}^2}, \quad (9)$$

$$\bar{r} = \frac{2}{k^2 - k} \sum_{i < j} r_{ij}, \quad (10)$$

где k – число кластеров.

Пакет программ для построения и применения радиально-базисных сетей был разработан на языке программирования А+ и описан в [8].

При аппроксимации нейтронного поля было выбрано 21 РБФ-функций (19 КС и 2 АР), а в качестве центров – координаты стержней СУЗ. На рисунке 3 координаты КС и АР (всего 21) соединены кратчайшим незамкнутым путем (КНП). На базе среднего расстояния между стержнями СУЗ по формуле (9) вычислялось значение параметра α .

Области положительного и отрицательного возмущения аппроксимировались с помощью РБФ-сетей отдельно. При последующем моделировании центры РБФ-функций помещались (по очереди) в точки расположения КС и АР, участвующих в перекомпенсации.

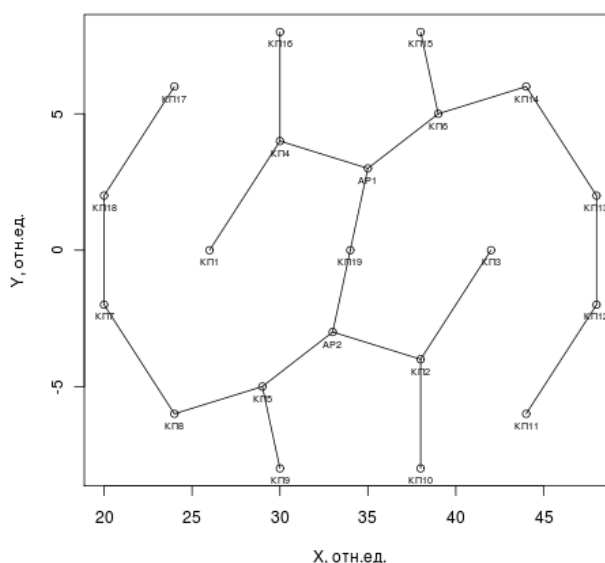


Рис. 3. Центры РБФ-функций при аппроксимации нейтронного поля

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТНЫХ ТВС

Генетические алгоритмы [9] являются мощным средством решения сложных оптимизационных задач. Применительно к задаче локализации дефектных ТВС речь идет об оптимальном «размещении» таких ТВС в активной зоне, а критерием является соответствие смоделированных и измеренных показаний датчиков запаздывающих нейтронов.

Для решения недоопределенной системы уравнений (1) и тем самым определения местоположения дефектных ТВС разработан генетический алгоритм.

Имеется множество ТВС $N = \{1, 2, \dots, n\}$ ($n = 370$ для БН-600). По наблюдениям за изменениями показаний датчиков запаздывающих нейтронов в течение данной микрокампании известно число $k < n$ дефектных ТВС. Требуется найти оптимальное подмножество $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$, $I \subset N$ столбцов матрицы системы уравнений (1). В качестве критерия оптимизации использовалась ошибка $Q = \|\mathbf{z} - \Psi \mathbf{q}\|$, где \mathbf{z} – показания датчика запаздывающих нейтронов, а \mathbf{q} определяется по МНК в виде $\mathbf{q} = (\Psi^T \Psi)^{-1} \Psi^T \mathbf{z}$. Матрица Ψ составлена из столбцов $\Delta \psi_{\cdot i} = (\Delta \psi_{1i}, \Delta \psi_{2i}, \dots, \Delta \psi_{mi})^T$, $i \in I$ системы уравнений (1).

Для заданных P – размера множества кандидатов (популяции) и E – числа шагов оптимизации (эпох) генетический алгоритм сводится к следующим действиям:

- сгенерировать P случайных популяций вида I ;
- отобрать множество P_1 из $0.5 \times P$ наилучших по критерию Q вариантов (хромосом);
- применить к оставшимся вариантам операторы мутации и скрещивания;
- отобрать из полученных вариантов множество P_2 из $0.5 \times P$ наилучших по критерию Q ;
- объединить множества P_1 и P_2 ; если число эпох не достигло значения E , перейти к шагу 2;
- выбрать наилучшее решение.

Операции над хромосомами допускают разнообразную реализацию [9]. Часто требуется проведение машинных экспериментов для выбора наилучшей стратегии. Были приняты следующие соглашения. Для хромосомы I мутация определяется как

выбор случайной позиции из множества $\{1, 2, \dots, m\}$ и замены значения в этой позиции на случайный элемент множества $N \setminus I$ (разность множеств исключает повторы в составе хромосомы).

В качестве оператора скрещивания нами использовалась следующая процедура. Для двух хромосом $\{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ и $\{j_1, j_2, \dots, j_m\}$ скрещивание сводилось к обмену элементов (генов) в случайно выбранной позиции, что приводило, например, к новым хромосомам $\{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ и $\{j_1, j_2, \dots, j_m\}$. При проведении скрещивания проверялась уникальность состава каждой хромосомы (отсутствие повторов).

Программы, реализующие генетические алгоритмы и их применение описаны в работе [10]. Работоспособность предложенного алгоритма проверялась путем математического моделирования разного числа дефектов в разных районах активной зоны и вычислении откликов датчиков запаздывающих нейтронов по радиально-базисным моделям для возмущений разными стержнями СУЗ. При внесении моделированной ошибки измерения запаздывающих нейтронов порядка 15% алгоритм позволяет точно определить состав дефектных ТВС. Описанный подход применяется для решения реальной задачи локализации дефектных ТВС.

ВЫВОДЫ

Проведено расчетно-теоретическое (радиально-базисная сеть для описания нейтронного поля, генетический алгоритм локализации) и экспериментальное (два специальных реакторных эксперимента с определением положения дефектных ТВС и последующей проверкой результатов на остановленном реакторе) обоснование работоспособности методики перекомпенсации для определения местоположения дефектных ТВС в активной зоне реактора БН-600 при работе на мощности.

Литература

1. Ломакин С.С. Ядерно-физические методы диагностики и контроля активных зон реакторов АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 119 с.
2. Скоморохов А.О., Лукьянов Д.А. Применение метода перекомпенсации для определения местоположения негерметичных сборок в реакторах на быстрых нейтронах // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2007. – № 2. – С. 16-25.
3. Скоморохов А.О., Лукьянов Д.А. Методика локализации дефектных ТВС при проведении штатных перекомпенсаций в реакторе БН-600 // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 120-129.
4. Bishop C.M. Neural networks for pattern recognition. – Oxford University Press, USA, 1995.
5. Ripley B.D. Pattern recognition and neural networks. – Cambridge Univ Pr, 2008.
6. Berthold M., Hand D.J. Intelligent data analysis: an introduction. – Springer Verlag, 2003.
7. Skomorokhov A.O., Slepov M.T. Pattern recognition in APL with application to reactor diagnostics // ACM SIGAPL APL Quote Quad. – 1999. – V. 29. – № 3. – P. 164-172.
8. Skomorokhov A. Radial basis function networks in A+ // APL Quote Quad. – 2002. – V. 32. – № 4. – P. 198-213.
9. Geyer-Schulz A. Fuzzy rule-based expert systems and genetic machine learning. – Physica-Verlag, 1995.
10. Skomorokhov A.O. Genetic algorithms: APL2 implementation and a real life application // ACM SIGAPL APL Quote Quad. – 1996. – V. 26. – № 4. – P. 97-106.

Поступила в редакцию 14.10.2010

УДК 621.039.546.54

Analysis of the Dynamics of Hydrogen Ingress into Secondary Sodium after Replacement of the BN-600 Power Unit Steam Generator Stages \ Yu.V. Nosov, G.N. Tsygankov, A.I. Beltyukov, P.P. Govorov, A.A. Kuznetsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The technique of calculation of hydrogen ingress into the secondary circuit of the BN-600 power unit after replacement of the PGN200M steam generator stages is presented. The hydrogen diffusion from the water-steam circuit from the new evaporator stages of which the heat exchange surfaces have not been subjected to the passivation yet is shown to be the main source of ingress.

УДК 621.039.54

Operating Experience from Europium Absorbers in the BN-600 Reactor and Perspectives of Their Further Utilization in the Innovation Nuclear Reactors \ V.D. Risovany, A.V. Zakharov, E.P. Klochkov, V.V. Maltsev, A.I. Karpenko, V.I. Ogleznev, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages, 2 tables, 2 illustrations.

An extensive operating experience from the europium control rods has been accumulated. Research into materials has shown that the BN-600 reactor europium rods have high lifetime characteristics. A set of the studies on utilization of europium radionuclides in the gamma-emitting sources has been conducted. The most promising line is a utilization of double-purpose designs of the control rods with an absorbing kernel in the form of the inserts of the active part of the standard gamma-emitting sources.

УДК 621.039.54

Genetic Algorithm for the Localization of Defective Fuel Assemblies in the BN-600 Reactor Core \ A.O. Skomorokhov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 10 titles.

The article considers the problem of determining the location of the fuel assemblies with leaky fuel rods in the reactor BN-600. The problem is solved by the method of neutron flux tilting at the operating reactor. Perturbations of the neutron field in the motion of control rods can be approximated by using a radial-basis neural network. A genetic algorithm for the localization of defective fuel assemblies is proposed.

УДК 621.039.56

Additional Method of Determination of the Predictive Position of the Shim Rods of the Beloyarsk NPP \ V.A. Zhyoltyshev, A.A. Lyzhin, V.A. Shamansky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 7 pages, 3 tables, 1 illustration. – References, 9 titles.

BN-600 reactor in the critical condition The additional method of determination of the predictive position of the KS1-18 control rods in the critical condition after refuelling is justified. Together with the existing method the above-mentioned method makes it possible to reliably determine the KS1-18 control rod position in the critical condition and improve safety and effectiveness of the BN-600 reactor operation.

УДК 621.039.56

Experimental and Computational Justification of the Reactivity Balance and Power Distribution in the BN-600 Core \ V.A. Zhyoltyshev, V.V. Maltsev, V.F. Roslyakov, A. V. Moiseev, M.Yu. Semyonov, Yu.S. Khomyakov, A.A. Belov, E.F. Seleznyov, B.A. Vasilev, M.R. Farakshin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 15 pages, 4 tables, 12 illustrations. – References, 13 titles.

For the 30-year history of the BN-600 reactor operation a set of the computational and experimental measures on the monitoring of the reactor core neutron-physical characteristics has been perfected. In this paper the results achieved by means of the reactivity and spectrum measurements and their computational analysis by all the available domestic software packages are presented.