

ИНТЕРВАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕАКТИВНОСТИ

А.Г. Юферов, Р.Л. Ибрагимов

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И.Лейпунского, г. Обнинск



Описаны алгоритмы оценки интервала неопределенности для измерителя реактивности на основе интегрального уравнения кинетики.

Ключевые слова: реактивность, дисперсия, интервальная оценка

Key words: reactivity, variance, interval estimation

Оценка погрешности измерения реактивности является важной задачей метрологического обеспечения эксплуатации ЯЭУ [1–4]. Для характеристики адекватности отображения состояния ЯЭУ целесообразно предоставлять оператору значение текущей реактивности вместе с указанием соответствующей погрешности, обусловленной всеми возможными источниками – измерительным каналом, алгоритмом вычисления реактивности и параметрами запаздывающих нейтронов. Это не вызовет дополнительной информационной нагрузки на оператора, если представлять эти данные в графической форме, выводя на монитор в подходящих координатах (например, «реактивность-мощность») границы интервала неопределенности текущего значения реактивности. Такой подход легко реализуется на основе технологии виртуальных приборов [5].

В современной метрологии для описания интервала неопределенности измерения используется несколько подходов. Возможность их применения в системах управления ЯЭУ определяется характером моделей погрешности (вероятностным или детерминированным), наличием соответствующих параметрических или измерительных данных, требуемым объемом вычислений, необходимостью специальной аппаратной поддержки.

Дисперсионная характеристика погрешности (среднее квадратическое отклонение) трактуется в настоящее время как «стандартная неопределенность» [6]. Эта характеристика удобна тем, что различные источники погрешности учитываются посредством суммирования дисперсий (возможно, с добавлением слагаемого, обусловленного корреляцией погрешностей). Этим, в частности, обеспечивается инвариантность интервала неопределенности при расчете реактивности путем обработки суммарного сигнала датчиков или путем усреднения значений реактивности, вычисленных по индивидуальным сигналам каждого датчика.

Вероятностная квантильная характеристика указывает границы (ширину) интервала и долю возможных значений погрешности, попадающих в этот интервал (доверительную вероятность). Для многих законов распределения погрешностей имеет место простая связь ширины интервала, соответствующего доверительной вероятности 90%, и среднего квадратического отклонения $d_{0.9} = 1.6\sigma$. Поэтому,

согласно ГОСТ 11.001-73, это соотношение используется для квантильной оценки, когда закон распределения погрешностей неизвестен.

При назначении доверительной вероятности вводится энтропийная оценка интервала неопределенности $d_3 = \exp(H)$, где H – энтропия погрешности. При этом для различных распределений погрешности вычисление энтропии приводит к соотношению $d_3 = K_3\sigma$, где K_3 – энтропийный коэффициент, зависящий от конкретного распределения. В большинстве случаев, как известно [7], энтропийная оценка неопределенности находится в пределах $d_3 \in [2.22\sigma, 4.132\sigma]$.

Таким образом, в качестве границ погрешности, выводимых на монитор, целесообразно использовать среднее квадратическое отклонение, поскольку оно фигурирует во всех схемах описания интервала неопределенности, легко интерпретируется и применимо как в вероятностных, так и в детерминированных моделях погрешности.

УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА ДИСПЕРСИЙ ДЛЯ РЕАКТИМЕТРА

Для анализа погрешностей оценки реактивности удобна интегральная форма уравнения реактиметра [8]

$$r(t) = \alpha(t) + \frac{1}{n(t)} \int_0^t v(t-\tau)h(\tau)d\tau - \frac{Q(t)}{n(t)}, \quad (1)$$

содержащая меньшее количество параметров, чем традиционные модели. Здесь $r(t)$ – реактивность в Λ -шкале: $\rho = \rho/\Lambda$, Λ – время генерации; $v(t)$ – скорость изменения мощности реактора; $\alpha(t)$ – обратный период реактора: $\alpha(t) \equiv v(t)/n(t)$; $Q(t)$ – интенсивность источника; $h(\tau)$ – переходная характеристика запаздывающих

нейтронов (ПХЗН): $h(\tau) = \sum_{j=1}^J g_j \exp(-\lambda_j \tau)$, $g_j = \beta_j / \Lambda$.

После дискретизации уравнение (1) приводится к структуре цифрового фильтра

$$r_k n_k = v_k + \sum_{l=0}^L (A_l h_l) \cdot v_{k-l} + Q_k, \quad (2)$$

где ограниченное число слагаемых L в квадратурной формуле для оценки интеграла запаздывающих нейтронов (ИЗН)

$$I_{\text{ЗН}} = \int_0^t v(t-\tau)h(\tau)d\tau \quad (3)$$

обусловлено конечной памятью ПХЗН. Выбором квадратурных коэффициентов A_l можно распорядиться для минимизации дисперсии оценки ИЗН.

При метрологической характеристике фильтров обычно предполагается, что измерения входного сигнала выполняются без смещения, а ошибки измерений некоррелированы. В таком случае дисперсия оценки ИЗН равна

$$\sigma^2(I_{\text{ЗН}}) = \sigma_v^2 \cdot \sum_{l=0}^L (A_l h_l)^2,$$

так что из (2) следует уравнение баланса дисперсий на k -ом шаге в виде

$$r_k^2 \sigma_n^2 + n_k^2 \sigma_r^2 = \sigma_v^2 \left(1 + \sum_{l=0}^L (A_l h_l)^2 \right) + \sigma_Q^2,$$

где σ_Q^2 – дисперсия оценки источника; σ_n^2 и σ_r^2 – дисперсии оценок мощности и реактивности соответственно. Дисперсия оценки скорости изменения мощности

$\sigma_v^2 = 2\sigma_n^2 / T^2$, где T – шаг дискретизации. Это выражение дисперсии соответствует применяемой в цифровых реактиметрах простейшей разностной формуле вычисления скорости $v_k = (n_k - n_{k-1})/T$. Можно также использовать многоточечные алгоритмы цифрового дифференцирования [9], например, $v_k = (n_{k-2} - 4n_{k-1} + 3n_k)/2T$ с дисперсией $\sigma_v^2 = 6.5\sigma_n^2 / T^2$.

Пренебрегая в уравнении баланса дисперсий вкладом источника, получаем выражение для дисперсии оценки реактивности на k -ом шаге:

$$\sigma_r^2 = \delta_n^2 \left[\frac{2}{T^2} \left(1 + \sum_{l=0}^L (A_l h_l)^2 \right) - r_k^2 \right]. \quad (4)$$

Как видим, дисперсия зависит от текущего значения реактивности, что и является одним из оснований для оценки погрешности в реальном времени. Фигурирующая в формуле (4) относительная погрешность мощности $\delta_n = \sigma_n/n$ характеризует влияние измерительного канала.

Целесообразно ввести понятие *коэффициента увеличения дисперсии* при вычислении интеграла запаздывающих нейтронов $K_\sigma = \sum_{l=0}^L (A_l h_l)^2$. Этот коэффициент характеризует точностные характеристики реактиметра в зависимости от числа отсчетов ПХЗН и выбора квадратурных коэффициентов A_l . Различные квадратурные формулы для вычисления интеграла запаздывающих нейтронов рассмотрены в работе [10]. Так, в методе прямоугольников $A_l = T$ и дисперсия ИЗН

$$\sigma^2(I_{\text{ЗН}}) = \sigma_v^2 \cdot T^2 \sum_{l=0}^L h_l^2, \text{ а в методе трапеций } A_0 = A_L = T/2, A_l = T, l = \overline{1, L-1} \text{ и}$$

$$\sigma^2(I_{\text{ЗН}}) = \sigma_v^2 T^2 \left[(h_0^2 + h_L^2) / 4 + \sum_{l=1}^{L-1} h_l^2 \right].$$

Во всех случаях шаг дискретизации не связан с постоянными времени переходной характеристики запаздывающих нейтронов. Более того, интегральная форма уравнения реактиметра (1) позволяет использовать в качестве ПХЗН непосредственно экспериментальные оценки функции спада h_k без приведения ее к сумме экспонент [11]. Здесь интеграл запаздывающих нейтронов представлен нерекурсивным цифровым фильтром, который всегда устойчив, так что шаг дискретизации может определяться из других соображений, обусловленных, например, требованием аппроксимации фильтров в частотной области [8] или необходимостью точного позиционирования органов регулирования для анализа переходных процессов [12].

ИНТЕРВАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СУММ

Интервальная оценка реактивности, заведомо включающая в себя текущее значение, непосредственно следует из уравнения (1), если для вычисления интеграла запаздывающих нейтронов (3) воспользоваться методом интегральных сумм. За-

писав ИЗН в форме интеграла Стильеса $I_{\text{ЗН}} = \int_0^t h(t-\tau)dn(\tau)$, получим при разбиении отрезка интегрирования $[0, t]$ на k элементарных отрезков следующие выражения для верхней и нижней интегральных сумм:

$$S_k = \sum_{l=1}^k h(t_{l-1})\Delta n_{k-l}, \quad s_k = \sum_{l=1}^k h(t_l)\Delta n_{k-l}, \quad \Delta n_l = n(t_{l+1}) - n(t_l), \quad (5)$$

так что

$$s_k < I_{\text{ЗН}}(t_k) < S_k. \quad (6)$$

Здесь и далее выражения для интегральных сумм записаны в предположении монотонно растущей мощности, т.е. $\Delta n_l > 0$. В общем случае в формулы (5) входят положительные и отрицательные слагаемые, и интегральные суммы могут меняться ролями, что следует контролировать в практических расчетах. При непосредственном выводе границ интервала на график эта проблема не возникает.

Из соотношений (1),(6) следует интервальная оценка реактивности в форме

$$\alpha_k + (s_k - Q_k) / n_k < r_k < \alpha_k + (S_k - Q_k) / n_k. \quad (7)$$

Здесь не используются предположения о поведении мощности между отсчетами и поэтому такая оценка представляется более объективной. На рисунке 1 показано поведение интервальной оценки для типичной ситуации, когда мощность критсборки повышается, стабилизируется на некоторое время и затем переводится на более низкий уровень. На рисунке 2 эта картина отображается более детально в координатах «реактивность-мощность». Ширина интервала пропорциональна шагу отсчетов мощности. В данном случае вычисления проводились с шагом 1 с.

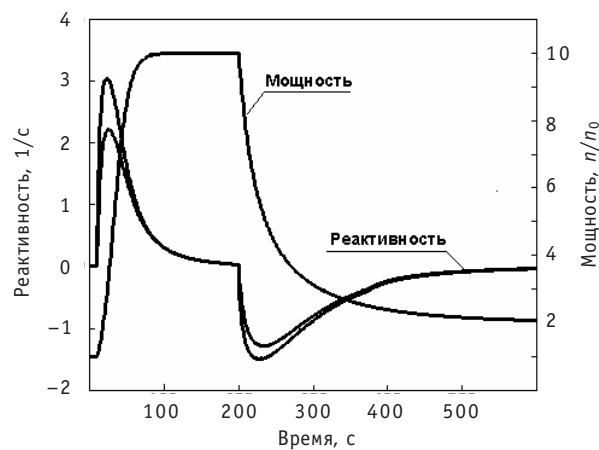


Рис. 1. Поведение мощности и реактивности во времени

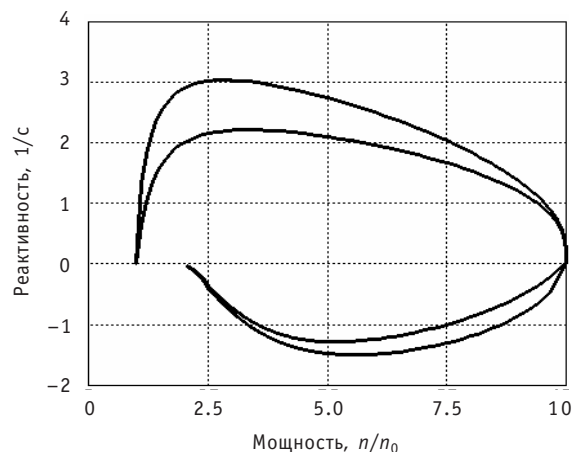


Рис. 2. Фазовый портрет «мощность-реактивность»

Формулы (5),(7) пригодны для расчета интервала реактивности, однако удобнее привести их к традиционной схеме пошагового вычисления. Вклад j -ой группы запаздывающих нейтронов в интегральные суммы (5) к моменту t_{k+1} выражается следующими *точными* рекуррентными формулами:

$$S_{k+1}^j = W_k^j S_k^j + g_j \Delta n_k, \quad s_{k+1}^j = W_k^j (s_k^j + g_j \Delta n_k), \quad k=0,1,\dots,$$

где $S_0^j = s_0^j = 0$, $W_k^j = \exp(-\lambda_j T_k)$, $T_k = t_{k+1} - t_k$, $g_j = \beta_j / \Lambda$.

Далее будем полагать шаг дискретизации постоянным: $T_k = T$. В таком случае

$$S_{k+1}^j = s_k^j + g_j \Delta n_k, \quad s_{k+1}^j = W^j S_{k+1}^j, \quad W^j = \exp(-\lambda_j T). \quad (8)$$

Согласно (7) и (8), ширина интервала реактивности на шаге k равна

$$\Delta r_k = \frac{1}{n_k} \sum_{j=1}^J S_k^j (1 - W^j).$$

Еще один вариант пошагового вычисления, более удобный для контроля относительной погрешности реактивности, получается, если использовать рекуррентную формулу

$$G_{k+1}^j = W^j G_k^j + g_j I_k^j / B_{k+1}^j,$$

$$G_0^j = 0, \quad B_{k+1}^j = \exp(\lambda_j t_{k+1}), \quad I_k^j = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \exp(\lambda_j \tau) dn(\tau), \quad (9)$$

описывающую вклад j -ой группы запаздывающих нейтронов в интеграл (3) к моменту t_{k+1} , и применять интервальную оценку только к интегралу I_k^j :

$$B_k^j \Delta n_k < I_k^j < B_{k+1}^j \Delta n_k.$$

В таком случае интервальная оценка ИЗН к моменту t_{k+1} есть

$$\sum_{j=1}^J W^j (G_k^j + g_j \Delta n_k) < I_{3H,k+1} < \sum_{j=1}^J (W^j G_k^j + g_j \Delta n_k).$$

Отсюда получаем интервальную оценку реактивности в виде

$$\alpha_k \left(1 + T \sum_{j=1}^J g_j W^j \right) + D_k < r_k < \alpha_k \left(1 + T \frac{\beta_{\text{эф}}}{\Lambda} \right) + D_k, \quad k=1,2,3,\dots, \quad (10)$$

где $D_k = \frac{1}{n_k} \left(-Q_k + \sum_{j=1}^J W^j G_{k-1}^j \right)$, $\alpha_k = \Delta n_{k-1} / (T n_k)$.

Согласно неравенствам (10), ширина интервала реактивности равна

$$\Delta r_k = \alpha_k T \left(\frac{\beta_{\text{эф}}}{\Lambda} - \sum_{j=1}^J g_j W^j \right)$$

или в абсолютных единицах реактивности

$$\Delta \rho_k = \alpha_k T \left(\beta_{\text{эф}} - \sum_{j=1}^J \beta_j W^j \right).$$

Как видим, при постоянном шаге и фиксированных параметрах кинетики интервал реактивности определяется только текущим значением обратного периода, т.е. относительной скоростью изменения мощности.

При уменьшении отрезка, на котором выполняется интервальная оценка интеграла I_k^j , интервал стягивается и в пределе из неравенств (11) получается обычная оценка реактивности

$$r_k = \alpha_k + \frac{1}{n_k} \left(-Q_k + \sum_{j=1}^J G_{k-1}^j \right), \quad (11)$$

зависящая только от характера аппроксимации интегралов I_k^j в формуле (9). Запись интеграла I_k^j в форме Стильтьеса и использование отсчетов скорости измене-

ния мощности ν_k позволяют представить соответствующий вариант формулы (9) в более простом виде по сравнению с традиционным [1–3]:

$$G_k^j = W^j G_{k-1}^j + \nu_k \frac{g_j}{\lambda_j} (1 - W^j).$$

На основе уравнения (11) получается выражение для дисперсии реактивности в виде, аналогичном уравнению (4):

$$\sigma_r^2 = \delta_n^2 \left(\frac{2}{T^2} - r_k^2 + \frac{1}{\sigma_n^2} \sum_{j=1}^J \sigma^2(G_{k-1}^j) \right),$$

где текущая дисперсия вклада j -ой группы запаздывающих нейтронов вычисляется в соответствии с формулой (9):

$$\sigma^2(G_k^j) = W^j \sigma^2(G_{k-1}^j) + g_j \sigma^2(I_{k-1}^j) / B_k^j.$$

Неравенства (10) получены в предположении, что интервальная оценка применяется только к интегралу на последнем шаге. Это обеспечивает сужение интервала погрешности по сравнению с оценкой (7). Фигурирующее в (11) значение ИЗН, накопленного на предшествующих шагах, может оцениваться по любым квадратурным формулам. В частности, в широко применяемой кусочно-линейной аппроксимации мощности используется двухточечная схема, обусловленная тем, что интеграл I_k^j определен на элементарном отрезке, содержащем два замера. Можно повысить точность расчета, если для оценки интеграла I_k^j использовать несколько предшествующих замеров, применив многоточечные квадратурные формулы [10]. В частности, в случае параболической аппроксимации мощности имеет место следующая оценка фигурирующей в формуле (9) величины:

$$I_k^j / B_{k+1}^j = \left[(1 - W^j) (A_1 + 2A_2(t_k - 1/\lambda_j)) + 2A_2 T \right] / \lambda_j.$$

Здесь коэффициенты A_i определяются по приращениям мощности $\Delta_{ij} \equiv n_i - n_j$:

$$A_1 = (4\Delta_{k,k-1} - \Delta_{k+1,k-1}) / 2T, \quad A_2 = (2\Delta_{k+1,k-1} - \Delta_{k,k-1}) / T^2.$$

Из соотношений (10) и (11) следуют выражения для границ интервала относительной погрешности $\Delta r_k / r_k \equiv \Delta \rho_k / \rho_k$. В случае нормальных эксплуатационных условий для положительных значений реактивности предельные границы этого интервала можно записать в виде

$$\alpha_k T \left(1 - \sum_{j=1}^J a_j W^j \right) < \frac{\Delta \rho_k}{\rho_k} < \alpha_k T, \quad (12)$$

где a_j – доли групп запаздывающих нейтронов.

Нижняя граница здесь определена как $\Delta \rho_k / \beta_{эф}$ в соответствии с условием ПБЯ $\Delta \rho_k < \beta_{эф}$. Оценка верхней границы следует из того факта, что при увеличении шага дискретизации коэффициенты W^j стремятся к нулю. Верхняя оценка указывает, что относительная погрешность будет менее $k\%$, если шаг дискретизации не превосходит аналогичную долю текущего периода реактора. Для нормальных условий эксплуатации, когда период реактора больше 10 с, это требование практически не накладывает ограничений на частоту дискретизации, которая может выбираться из других соображений. Так, в работе [9] показано, что частотные характеристики ИЗН в континуальной и дискретной формах совпадают при шаге дискретизации, равном одной секунде. При таком шаге дискретизации из (12) следует простейшая гарантированная оценка границ интервала реактивности в виде $\pm(\Delta n / 2n)\rho$.

Параметрическая погрешность, обусловленная константами запаздывающих нейтронов, в описанных алгоритмах учитывается обычным образом через коэф-

фициенты влияния, которые в данном случае могут быть получены в аналитической форме [13].

В заключение укажем некоторые вопросы, которые целесообразно рассмотреть в дальнейшем в связи с темой данной работы:

- учет стохастической и параметрической погрешности в интервальной оценке реактивности методом интегральных сумм;
- влияние корреляционных связей при расчете интервальной оценки реактивности;
- вычисление введенного в работе коэффициента увеличения дисперсии как стандартной характеристики различных систем констант запаздывающих нейтронов;
- интервальные оценки реактивности при использовании различных квадратурных формул в цифровых реактиметрах;
- интервальные арифметические вычисления в цифровых реактиметрах.

Литература

1. Ефанов А.И., Лаврухин В.С. Вопросы измерения реактивности на больших реакторах // ВАНТ. Серия: Физика и техника ядерных реакторов. – 1979. – Вып. 3(7). – С. 17-27.
2. Сарылов В.Н., Бондаренко В.В., Воскресенский Ф.Ф. и др. Метрологическое обеспечение аппаратуры СУЗ реакторов АЭС // Атомные электрические станции. – 1983. – Вып. 6. – С. 30-38.
3. Афонин С.Н., Кувшинов М.И., Чередник П.Ф. Применение цифровых реактиметров на быстрых импульсных реакторах // ВАНТ. Серия: Импульсные реакторы и простые критические сборки. – 1985. – Вып. 1. – С. 32-39.
4. Борисов В.Ф., Комшилов О.А. Анализ погрешностей измерителя реактивности // Измерительная техника. – 2002. – № 10. – С. 49-52.
5. Юферов А.Г., Ибрагимов Р.Л. О разработке «виртуальных» реактиметров в современных интегрированных средах // Тезисы докладов отраслевого семинара «Современные методы и средства диагностики ЯЭУ». – Обнинск: ФЭИ, 2001.
6. РМГ 43-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». – М.: Изд. стандартов. – 2002.
7. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Юферов А.Г., Ибрагимов Р.Л. Реактиметр как адаптивный цифровой фильтр // Атомная энергия. – 2005. – Т. 98. – Вып. 4. – С. 253-260.
9. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. – М.: Наука, 1976.
10. Юферов А.Г. О численном решении интегральных уравнений точечной нейтронной динамики ядерного реактора // Препринт ФЭИ-2977. – 2003. – 36 с.
11. Юферов А.Г. К задаче идентификации интегральных уравнений кинетики // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – № 4. – С. 25-34.
12. Литицкий В.А., Кутин Б.В., Паршутин В.С. Комплекс программно-технических средств для измерения нейтронно-физических характеристик в период пуска и освоения мощности энергоблока № 3 Калининской АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 2. – С. 74-79.
13. Юферов А.Г. Передаточные функции и коэффициенты чувствительности реактиметра // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2007. – Вып. 1. – С. 43-50.

Поступила в редакцию 22.08.2006

УДК 539.125.5.03:621.039.512

Interval Estimation of Reactivity \A.G. Yuferov, R.L. Ibragimov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 7 pages, 2 illustrations. – References, 13 titles.

The algorithms of an estimation of an interval of uncertainty for a reactivity meter are described on the basis of an integral equation of a kinetics.

УДК 504.064

Management of Remediation Measures on Radioactively Contaminated Territories with the use of Multiobjective Optimization \S. Gritsyuk, B. Yatsalo, V. Didenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 11 pages, 3 tables, 2 illustrations. – References, 35 titles.

Optimization of the countermeasure structure on remediation of radioactively contaminated territory is considered. Multiobjective optimization is based on implementation of modified genetic algorithms and treatment of uncertain/fuzzy criteria. Geographic information system (GIS) of contaminated territory is used within the case study analysis on countermeasure optimization. This study demonstrates effectiveness of integration of multiobjective methods, genetic algorithms and GIS within the problems on environmental protection and remediation of contaminated sites.

УДК 504.45: 546.027

Up-to-date Content of Long-Lived Artificial Radionuclides in the Area of the Tom and Ob Rivers Impacted by the Siberian Chemical Combine Discharges \A.I. Nikitin, I.I. Kryshev, N.I. Bashkurov, N.K. Valetova, G.E. Dunaev, A.I. Kabanov, I.Yu. Katrich, A.O. Krutovsky, V.A. Nikitin, G.I. Petrenko, A.M. Polukhina, G.N. Selivanova, V.B. Chumichev, V.N. Shkuro; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 11 pages, 5 illustrations. – References, 9 titles.

Data are presented and discussed on content of ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ and other artificial radionuclides in water, bottom sediments and flood-plain soils of the Tom and Ob rivers part from Tomsk to the region of their confluence (through which the radioactive effluents of the Siberian Chemical Combine are transported). Data received in 2008-2009 in frames of the ISTC Project No.3547 «Analysis of radionuclide transport and assessment of radiation risk for population and environmental objects in the Ob-Irtysh river basin».

УДК 621.039.51: 621.039.58

Numerical-Experimental Analysis of Emergency Shut Down Cooling of VVRC Reactor at Loss of ELECTRICAL Supplying of the Circulating Pumps \O.Yu. Kochnov, V.V. Sergeev, A.A. Kazantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 13 pages, 8 tables, 12 illustrations. – References, 6 titles.

Based on the experiment performed on the pool type research reactor VVRC during operation at emergency condition of shut down cooling and the data obtained on reactor IS RY RBT-6, post-test calculations of dynamics at shut down cooling of facility are carried out at loss of power supply of circulating pumps. In the paper are presented the results of calculations at shut down cooling of reactor VVRC at natural circulation mode, starting from maximal acceptable power. Calculations were carried out with using the international thermal hydraulic code TRAC designed for the analysis of technical safety for water-cooled nuclear power plants.

УДК 621.039.5

Simulation of Transients in the Circuits of Nuclear Power Plants with BN-type Reactors Involving Variable-Speed Drives of Reactor Coolant Pumps \E.Yu. Anishev, V.S. Gorbunov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 4 illustrations. – References, 4 titles.

Based on the simulation of thermal hydraulic transients, the paper analyzes the advantages of smooth variation of coolant flow in the primary circuits of nuclear power plants with fast neutron reactors.

Maintenance of optimal turbine steam parameters and “softer” transients help to increase power unit cost effectiveness and reduce thermal stresses and temperature gradients in reactor plant vessel structures.

УДК 621.039.5

Parameters of Fluctuations of the Working Body at Pulse Indignations on Pressure in the Second Contour of the Atomic Power Station with VVER-1000 \R.O. Katereev, K.N. Proskurjakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 7 pages, 6 tables, 3 illustrations. – References, 5 titles.