

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ДИАГНОСТИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 621.039.58

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ С ВЫХОДА ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА АЭС

Ю.А. Грибанов, В.И. Мелешко, И.Ю. Езлов, А.В. Присяжнюк
Совместная Украинско-Российская фирма ИНЭК, г. Харьков, Украина;
E-mail: ingol@t42.inec.com.ua; факс +38 (057) 719-49-48 (доб.102),
тел. +38 (057) 719-49-48 (доб. 118)

Рассматриваются методы математической обработки импульсных сигналов с выхода первичных преобразователей датчиков при измерении параметров радиационного контроля на АЭС. Время измерения рассчитывается с учетом случайной погрешности. Для выполнения требований нормативных документов для АЭС в части точностных и временных характеристик используется метод «скользящего окна», позволяющий обновлять информацию, полученную с датчиков радиационного контроля, с тактом 1 с. Для увеличения точности измерения параметров радиационного контроля предварительно применяется фильтрация, которая позволяет отфильтровать одиночные выбросы длительностью не более 100 мс, обусловленные наличием импульсных помех. Моделирование аварийных выбросов с АЭС производится с помощью генератора случайных чисел.

Радиационный контроль на АЭС представляет собой развитую систему, в которой с помощью специальных первичных преобразователей ведется постоянное наблюдение за радиационной обстановкой в производственных помещениях, на промплощадке и в районе размещения АЭС.

Основной целью радиационного контроля является недопущение переоблучения персонала АЭС и населения, проживающего в районе её размещения. В процессе нормальной эксплуатации не происходит превышение расчетных допустимых доз облучения персонала и загрязнения радиоактивными веществами помещений и окружающей среды. Однако в процессе работы реактора происходит накопление радиоактивных веществ в теплоносителе первого контура, что, в свою очередь, приводит к изменению радиационной обстановки в помещениях, где размещено технологическое оборудование первого контура. Отклонения от нормальной работы технологического оборудования (протечки, аварийные ситуации и т. д.) могут привести к появлению радиоактивных веществ в необслуживаемых помещениях АЭС, следовательно, и их распространение в обслуживаемые помещения. В связи с этим в процессе эксплуатации АЭС необходимо осуществлять непрерывный радиационный контроль, который дает возможность своевременно выявлять ухудшение радиационной обстановки вследствие появившихся неисправностей технологического оборудования.

В действующих в настоящее время нормативных документах [1] приведен перечень параметров радиационного контроля, увеличение которых может быть

признаком возникновения аварийной ситуации на АЭС.

Часть этих параметров радиационного контроля можно определить как дозообразующие характеристики облучения персонала. Другая часть участвует в расчете дозовых нагрузок на население. Параметры, определяющие дозовые нагрузки на персонал АЭС и население, являются важными для безопасности. Для измерения параметров радиационного контроля разработана автоматизированная система контроля радиационной безопасности [2], удовлетворяющая всем требованиям нормативных документов для АЭС.

Для автоматизированных систем контроля радиационных параметров согласно [1] устанавливаются требования к временным характеристикам для каждой выполняемой функции в виде отдельно допустимых значений. Так, обновление измеренных данных на рабочей станции должно производиться с тактом 1 с.

Так как при нормальной работе АЭС измеряемые параметры радиационного контроля малы, то для уменьшения случайной погрешности, обусловленной статистическим характером процесса измерения, необходимо рассчитать время измерения ($t_{изм}$). Оно рассчитывается исходя из формулы определения случайной погрешности δ [3]:

$$\delta = 2 \frac{\sqrt{1 + 2 \frac{n_{\delta}}{N} - n_{\delta}}}{\sqrt{\left(\frac{N}{t_{\delta ci}} - n_{\delta}\right) \cdot t_{\delta ci}}}, \quad (1)$$

где n_ϕ – среднее значение собственного фона устройства измерения; N – число зарегистрированных импульсов; $t_{изм}$ – время измерения.

Проведя преобразования, формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$\delta = 2 \frac{\sqrt{1 + 2 \frac{n_\phi}{\bar{N} - n_\phi}}}{\sqrt{(\bar{N} - n_\phi) \cdot t_{изм}}}, \quad (2)$$

где $\bar{N} = \frac{N}{t_{изм}}$ – среднее значение измеренных импульсов (частота импульсов, с-1).

Исходя из заданной случайной погрешности можно рассчитать время измерения $t_{изм}$:

$$t_{изм} = \frac{4(\bar{N} + n_\phi)}{(\bar{N} - n_\phi)^2 \cdot \delta^2} \quad (3)$$

Как видно из формулы (3), $t_{изм}$ зависит от частоты измеренных импульсов \bar{N} . При увеличении частоты время измерения уменьшается.

Но время измерения радиационных параметров при работе реактора не может быть неограниченно большим, так как при этом могут быть потеряны некоторые динамические характеристики протекающих процессов. Поэтому необходимо рационально выбирать $t_{изм}$ исходя из динамики протекающих процессов. В разработанных ранее методиках измерения радиационных параметров использовался Т-режим измерения, т. е. максимальное время измерения было фиксировано и не превышало 100 с [4].

Расчет среднего значения импульсов за время измерения $t_{изм}$ производится по формуле:

$$\bar{N} = \frac{\sum n}{t_{изм}}, \quad (4)$$

где n – количество импульсов, измеренное за 1 с; \bar{N} – среднее значение импульсов за время измерения.

Последующее среднее значение импульсов будет рассчитано по прошествии времени $t_{изм}$, т. е. расчет среднего значения импульсов проводится с тактом $t_{изм}$.

На рис. 1 приведена зависимость \bar{N} от времени, полученная при моделировании потока импульсов от датчика радиационного контроля с помощью генератора случайных чисел.

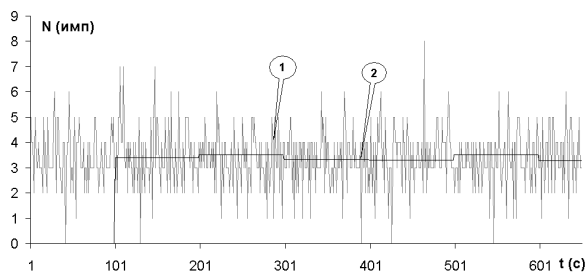


Рис. 1. Зависимость количества измеренных импульсов от времени при моделировании потока импульсов от датчика радиационного контроля с помощью генератора случайных чисел

Генератор реализован функцией:

$$Y_i = \bar{Y} + y_i \cdot \sigma, \quad (5)$$

где Y_i – сгенерированное количество импульсов; \bar{Y} – математическое ожидание; σ – среднее квадратичное отклонение.

Математическое ожидание \bar{Y} и среднее квадратичное отклонение σ генератора являются входными величинами и выбираются экспериментально. Коэффициент, определяющий величину отклонения сгенерированного количества импульсов от математического ожидания, рассчитывается по формуле:

$$y_i = \sqrt{2 \ln \left(\frac{1}{V_i} \right) \sin(2\pi \cdot V_{i-1})}, \quad (6)$$

где V_i – ключ генератора.

$$V_i = \text{FRAC}(V_{i-1} \cdot 37 + 1), \quad (7)$$

где $\text{FRAC}(V_{i-1} \cdot 37 + 1)$ – дробная часть от аргумента (7).

На рис. 1 кривой 1 показана зависимость числа смоделированных импульсов от времени с тактом 1 с без математической обработки, а кривой 2 приведена зависимость усредненного значения импульсов, моделируемых генератором случайных чисел, за время $t_{изм}$, равное 100 с.

Такая методика математической обработки импульсов не удовлетворяет требованиям, предъявляемым нормативной документацией к временным характеристикам измерения. Для устранения этих недостатков нами был использован метод "скользящего окна", позволяющий получать усредненное значение импульсов с тактом 1 с на временной базе $t_{изм}$ [5].

Данные о количестве импульсов хранятся в массиве "скользящее окно", размерность которого соответствует величине $t_{изм}$. Каждый элемент массива содержит количество импульсов, измеренных в течение одной секунды. Сумма всех элементов массива составляет количество импульсов, измеренных за время $t_{изм}$.

При последующем измерении импульсов за время $(t_{изм} + 1)$ с новое значение количества импульсов прибавляется к сумме всех элементов массива, а первый элемент из этого массива вычитается. Все элементы нового массива заново индексируются. После этого производится усреднение элементов нового массива за время $t_{изм}$. Такая процедура расчета и обновления усредненного результата производится постоянно с тактом 1 с.

На рис. 2 приведены кривые зависимости количества импульсов от времени, усредненные на времени $t_{изм}$ методом "скользящего окна":

кривая 1 – зависимость количества импульсов, усредненного на базе $t_{изм}$ без использования методики "скользящее окно", от времени;

кривая 2 – зависимость количества импульсов, усредненного на базе $t_{изм}$ с использованием методики "скользящее окно", от времени.

Импульсы, измеренные за 1 с, предварительно проходят процедуру фильтрации методом "медианный фильтр" [6] и только потом прибавляются к сумме всех элементов массива. Как следует из обработки полученных результатов, усреднение импульсов N за $t_{изм}$, равное 100 с, производится с относительной погрешностью $\pm 2\%$ (см. рис. 1, кривая 2).

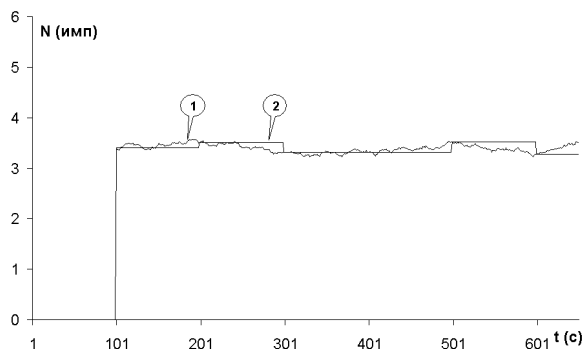


Рис. 2. Зависимость количества измеренных импульсов от времени при моделировании потока импульсов от датчика радиационного контроля с помощью метода "скользящего окна"

При использовании методики "скользящее окно" обновление результатов происходит не реже 1 с и погрешность усреднения составляет меньше 2%. При применении предварительной фильтрации методом "медианный фильтр" погрешность усреднения импульсов падает до 1%.

На рис. 3 приведена зависимость числа импульсов от времени, моделирующая аварийный выброс с АЭС с помощью генератора случайных чисел.

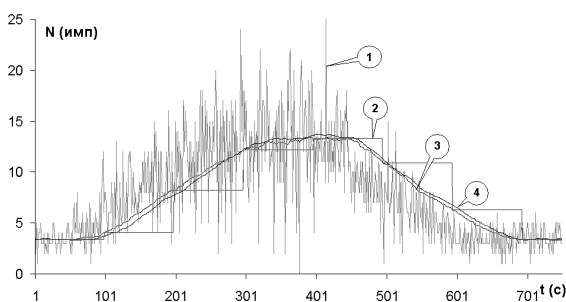


Рис. 3. Зависимость количества измеренных импульсов от времени, моделирующая аварийный выброс с АЭС с помощью генератора случайных чисел

Кривая 1 моделирует аварийный выброс с АЭС с помощью генератора случайных чисел; кривая 2 — значение импульсов, усредненное за время $t_{изм}$, равное 100 с. Как видно из рисунка, максимум импульсов смещен во времени на $t_{изм}$.

Кривая 3 показывает значение импульсов, усредненное на базе $t_{изм}$ с использованием метода "скользящее окно". Смещение от реального значения по времени составляет $0,5 t_{изм}$.

Кривая 4 отличается от кривой 3 предварительным использованием фильтрации.

Проведенный анализ математической обработки полученных кривых показал, что метод "скользящего окна" позволяет улучшить динамику измерений на участках с резким изменением активности. При использовании метода "скользящего окна" время задержки относительно реального сигнала составляет $0,5 t_{изм}$. Использование дополнительного медианного фильтра позволяет увеличить точность измерений на участках с одиночными выбросами малой длительности, обусловленными наличием импульсных помех. Медианный фильтр позволяет уменьшить среднеквадратичное отклонение в несколько раз. Анализ среднеквадратичных отклонений приведен в таблице.

Значения среднеквадратичных отклонений

Применяемые методы математической обработки	Значение среднеквадратичного отклонения	Примечание
"Скользящее окно"	7,5	Длительность помехи не более 1 с
"Скользящее окно" + "медианный фильтр"	0,5	Амплитуда помех 80 импульсов.

ВЫВОДЫ

1. Использование методики "скользящее окно" позволяет обновлять измеренные результаты радиационных параметров с тактом 1 с и относительной погрешностью усреднения $\pm 2\%$.

2. Применение предварительной фильтрации измеренных радиационных параметров методом "медианный фильтр" позволяет увеличить точность измерений на участках с одиночными выбросами малой интенсивности, обусловленных наличием импульсных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. НП 306.5.02/3.025-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. Киев: ГАЯРУ, 2000.
2. Ю.А. Грибанов, В.И. Гребенник, В.Л. Дроздов, И.Ю. Езлов и др. Концепция построения автоматизированной системы контроля радиационной безопасности АЭС Украины с реактором ВВЭР-1000 // Сб. научных трудов Радиационная и экологическая безопасность предприятий ядерного топливного цикла. Одесса, 1988, в. 2, с. 31–39.
3. Аппаратура контроля радиационной безопасности АЭС с ВВЭР и РБМК / Под ред. В.В. Матвеева. М.: «Энергоатомиздат», 1987.
4. Ю.А. Грибанов, А.И. Лебедкин, И.Ю. Езлов. Автоматизированная система контроля газо-аэрозольных выбросов АЭС и анализ работы после

одного года эксплуатации // *Материалы IV Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов»*. 31 января – 1 февраля 2007. Харьков. С. 59–62.

5. Ю.А. Грибанов, В.С. Рингис, В.Г. Скоромный и др. Перспективы использования полупроводниковых материалов из CdTe (CdZnTe) при ре-

конструкции АЭС Украины // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые материалы и сверхпроводники»*. 2000, №4, с.74-76.

6. Т.С. Хуанга. *Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. Преобразования и медианные фильтры*. М.: «Радио и связь», 1984.

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ З ВИХОДУ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ НА АЕС

Ю.О. Грибанов, В.І. Мелешко, І.Ю. Єзлов, А.В. Присяжнюк

Розглядаються методи математичної обробки імпульсних сигналів з виходу первинних перетворювачів датчиків при вимірюванні параметрів радіаційного контролю на АЕС. Час вимірювання розраховується з урахуванням випадкової похибки. Для виконання вимог нормативних документів для АЕС в частині точностних і часових характеристик використовується метод «змінного вікна», що дозволяє обновляти інформацію, отриману з датчиків радіаційного контролю, з тактом 1 с. Для збільшення точності вимірювання параметрів радіаційного контролю заздалегідь застосовується фільтрація, яка дозволяє відфільтрувати одиночні викиди тривалістю не більше 100 мс, обумовлені наявністю імпульсних перешкод. Моделювання аварійних викидів з АЕС проводиться за допомогою генератора випадкових чисел.

METHODS OF MATHEMATICAL PROCESSING OF IMPULSE SIGNALS FROM OUTPUT OF INITIAL TRANSFORMERS AT MEASURING OF RADIATION CONTROL PARAMETERS AT NPP

Yu.A. Gribanov, V.I. Meleshko, I.Yu. Ezlov, A.V. Prisyajnyuk

Methods of mathematical processing of impulse signals from the output of initial transformers of sensors while measuring radiation control parameters at NPP are considered in this article. Time of measuring is calculated taking into account a random error term. For implementation of requirements of norm documents for NPP in the sphere of precise (accurate) and time characteristics the “moving window” method is used. It allows to renew the information got from the radiation control sensors with 1 s tact. For the increase of accuracy (precise) of measure of radiation control parameters, filtration is applied preliminary. It allows to filter the single troop landing. Its duration is no more than 100 ms. They are caused by the presence of impulse interference. The emergency troop landing modeling from NPP is produced with a random number generator.