

УДК 504.064.3; 502: 621.039

ã С. Н. Брыкин, В. И. Тарханов, В. В. Петухов, А. В. Храмов

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В статье рассмотрены основные требования к системам измерения характеристик радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Показана необходимость совершенствования алгоритмов обработки данных измерений в силу специфики измеряемых характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими элементами обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации являются современные автоматизированные системы учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. В настоящее время в России частично создана система учета и контроля ядерных материалов как составная часть обеспечения нераспространения ядерного оружия в страны, которые им еще не обладают, и от попадания его в руки субнациональных групп во избежание национальной или всемирной ядерной катастрофы.

Государственная система учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, созданная в России, должна предотвратить возможные потери, хищения, несанкционированное использование радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, обеспечить информационную поддержку принятия государственных, ведомственных и региональных управленческих решений по безопасному обращению с радиоактивными веществами и радиоактивными отходами и тем самым содействовать снижению вероятности возникновения экологических катастроф и радиологического риска для населения, препятствовать радиоэкологическому терроризму, что особенно актуально в настоящее время. Функционирование полномасштабной системы учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов возможно лишь при условиях наличия интегрированной системы.

Характер применения контрольно-измерительного оборудования зависит как от вида излучения измеряемого вещества, так и от самого объекта измерения. Приборы, измеряющие общий радиоактивный фон, уровни радиации и индивидуальную дозу облучения, относятся к системе защиты персонала и окружающей среды и в силу своей специфики не входят в автоматизированную систему учета и контроля. В нормативных докумен-

тах, регламентирующих учет радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, отсутствует понятие системы измерения характеристик. В других направлениях обеспечения ядерной и радиационной безопасности такие системы уже есть или создаются. В качестве примера можно привести АСКРО — автоматизированную систему контроля радиационной обстановки.

Общие проблемы измерения характеристик радиоактивных веществ и радиоактивных отходов рассмотрены в статье [1]. Данная статья посвящена требованиям к системам измерения характеристик радиоактивных веществ.

ПАРАМЕТРЫ, ИЗМЕРЯЕМЫЕ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Вещества, испускающие ионизирующее излучение, характеризуются не только массогабаритными величинами, но и в первую очередь значениями активности и радионуклидным составом. Объекты, наблюдаемые в системе учета и контроля радиоактивных веществ, обычно не меняют свои массогабаритные характеристики в процессе эксплуатации; необходимо лишь в течение этого времени проверять их активность для последующей фиксации в учетной и отчетной документации, соответствующих реестрах и базах данных.

Более сложная ситуация с твердыми и жидкими радиоактивными отходами. Их массовые характеристики определяются взвешиванием, объемные характеристики жидкостей — с помощью расходомеров, т. е. контактным способом. Даже слабо-радиоактивные отходы способны загрязнять измерительное оборудование, что требует дезактивации и даже замены приборов. Однако для радиоактивных отходов эти параметры также не являются определяющими.

Критичным является значение активности отходов. Современные нормативные документы [2]

требуют также и определения радионуклидного состава. Активность радиоактивных отходов уменьшается со временем из-за радиоактивного распада, а радионуклидный состав изменяется согласно цепочке превращений. Разные радионуклиды имеют разный период полураспада. Различают короткоживущие и долгоживущие изотопы. Знание радионуклидного состава позволит правильно организовать надежное и безопасное хранение отходов при соблюдении требований экономичности.

Методы измерения активности вещества в настоящее время апробированы. Процесс получения результата измерений связан с большими временными затратами. Различают интегральные и дифференциальные методы измерений по характеру регистрации взаимодействия частиц с датчиком. В настоящее время дифференциальные методы практически вытеснили более простые, но менее информативные интегральные методы, хотя последние еще находят применение в ряде специальных случаев.

Замеры удельной активности радиоактивных отходов как жидких, так и твердых в зависимости от вида излучений наиболее часто осуществляются сцинтилляционными и полупроводниковыми приборами. Их использование для уточнения активности предполагает проведение спектрального анализа, что требует значительных временных затрат. Это является тормозом для внедрения автоматизированной системы учета радиоактивных отходов, т. к. не позволяет вести регистрацию удельной или общей активности в режиме реального времени.

НЕСТАНДАРТНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Традиционные методы спектрального, корреляционного и дисперсионного анализов сигналов дают удовлетворительные результаты при обработке сигнала в условиях малого шума. Однако при обработке нестационарных сигналов с высоким уровнем шума они практически перестают работать. [3].

Различные технологии время-частотной и динамической фильтрации часто наводят ложные сигналы (фантомы) и тем самым затрудняют обработку реального сигнала. Но главный недостаток всех этих методов — их большая трудоемкость.

Некоторые преимущества в эффективности обработки сигналов исследователи получили, перейдя от спектральных методов к локально связным методам типа методов конечных и ограниченных элементов и опытов. Однако и здесь в задачах большой размерности возникают проблемы трудо-

емкости и устойчивости, которые до сих пор не преодолены.

Хорошие результаты по повышению устойчивости решений дают методы интегральных соотношений, разрабатываемые школой А.А. Дородницына и О.М. Белоцерковского, однако и здесь проблема трудоемкости обработки остается неразрешимой [4] — быстрые процедуры обработки сигналов могут быть реализованы только на выборках, если эти выборки не очень большие и информативно представительны. В этом смысле выборки, построенные на множестве экстремальных точек сигнала, являются практически минимальными, т. к. множество экстремумов является множеством меры нуль в полном множестве точек сигнала.

Эти технологии имеют примерно линейный рост трудоемкости от объема сигнала, тогда как традиционные методы, основанные на анализе разных квадратичных форм и парных сравнениях, имеют кубический и более высокий рост трудоемкости от размерности решаемой задачи.

В условиях зашумленного сигнала возникает проблема разделения его детерминированной и индетерминированной составляющих. Это одна из центральных проблем в технологиях фильтрации сигнала. Граница между этими составляющими неопределенна и проблематична. Здесь требуется некоторый прагматичный подход.

Одним из таких подходов является технология статистической фильтрации, являющаяся одной из разновидностей технологий метода замещающих точек, в которой инвариантами выступают статистические моменты. Реализуемые в режиме самоорганизации, они удовлетворяют критериям полноты, эффективности и устойчивости описания сигнала в пространстве замещающих точек. При этом технология описания такова, что детерминированная и индетерминированная составляющие сигнала ортогональны. Следовательно, статистический фильтр, построенный таким образом, является помехоустойчивым.

Следующей отличительной особенностью совокупности выборочных точек является возможность их иерархической организации. В этой технологии множества, построенные по инвариантам первичного замещения, вновь замещаются по инвариантам вторичного, третичного и так далее замещений. Такую организацию физики называют ультраметрической. Именно она, эта технология, позволяет практически реализовать условия А.Н. Колмогорова линейного роста трудоемкости обработки сложного сигнала с ростом его размерности.

Технология ультраметрической организации множества замещающих точек может быть реализована как снизу вверх, так и сверху вниз. Именно эта возможность позволяет эффективно осуществ-

лять компрессию и декомпрессию сигнала с глубоким коэффициентом компрессии — от ста и выше.

КОНСТРУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

Конструктивный анализ является составной частью конструктивной теории функций, которая, по определению С.Н. Бернштейна, есть "направление теории функций, которое ставит себе целью дать возможно более простую и удобную основу для качественного изучения и вычисления как эмпирических функций, так и всяких функций, являющихся решениями естественно поставленных задач математического анализа".

Конструктивный анализ, по определению, предполагает выполнение двух основных требований [5].

1. Нестандартное построение фрагментов, элементов и процедур анализа, основанное на их физической интерпретируемости, инструментальной измеримости и технологической локализуемости.

2. Разработка нестандартных процедур эффективного обнаружения, проявления, распознавания, классификации и анализа как проявленных, так и непроявленных объектов анализа, описываемых выборочными кластерами данных с измеримыми признаками их локализации.

Конструктивный анализ данных базируется на самих данных, организованных в последовательность или процесс по характерному для них параметру порядка. При этом даже не требуется вводить базисные функции описания процесса, т. к. эти функции конструируются самими данными.

Аппроксимация выполняется либо в спектральном, либо в локальном исполнении. Одна аппроксимирующая функция является огибающей максимумов первого порядка, а другая — огибающей минимумов первого порядка.

Такие огибающие, с одной стороны, выделяют интервалы периодичности (максимумов или минимумов), которые анализируются по вышеизложенным технологиям, а с другой стороны, сами становятся предметами анализа на следующем рекурсивном шаге.

Таким образом строится вложенная иерархическая (ультраметрическая) совокупность огибающих, каждая из которых является разбиением на скрытые периодичности, технология обработки которых изложена выше.

Пусть данные упорядочены параметром порядка t в некоторый статистический процесс $x(t)$. В общем виде случайный процесс при наличии в нем скрытой периодичности можно представить в виде

$$x_1(t) = c_1(t) f_1(t + n_1 T_1(t)), \quad n_1 = [1, N_1] \subset Z, \quad (1)$$

где $\chi_1(t)$, $T_1(t)$ — случайные величины, зависящие

от параметра t ; f_1 — аппроксимирующая функция.

Под скрытой периодичностью понимается функция

$$\bar{x}_1 = c_1 f_1(t + n_1 T_1), \quad (2)$$

где $c_1(t) = M(c_1(t))$, $T_1 = M(T_1(t))$, M — операция математического ожидания по параметру t .

В общем виде исходный процесс первого порядка $x_1(t)$ и его аппроксимирующий процесс скрытой периодичности первого порядка $\bar{x}_1(t)$ отличаются друг от друга. Невязку такой аппроксимации можно рассматривать как случайный процесс второго порядка

$$\begin{aligned} x_2(t) &= x_1(t) - \bar{x}_1(t) = \\ &= c_2(t) f_2(t + n_2 T_2(t)), \quad n_2 = [1, N_2] \subset Z. \end{aligned} \quad (3)$$

Этот процесс содержит в себе процесс скрытой периодичности второго порядка

$$\bar{x}_2 = c_2 f_2(t + n_2 T_2), \quad (4)$$

где $c_2(t) = M(c_2(t))$, $T_2 = M(T_2(t))$.

Такую процедуру выявления скрытых периодичностей можно продолжить до требуемой разрешающей способности описания исходного процесса как по точности, так и по прогностической устойчивости описания.

На шаге k такого описания имеем процесс порядка k :

$$x_k(t) = x_{k-1}(t) - \bar{x}_{k-1}(t), \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_k(t) &= c_k(t) f_k(t + n_k T_k(t)), \\ \bar{x}_k(t) &= c_k f_k(t + n_k T_k), \end{aligned} \quad (6)$$

где $c_k = M(c_k(t))$, $T_k = M(T_k(t))$.

Такой способ описания является спектральным, т. к. он аппроксимирует на всем множестве параметры порядка $t \in J_1$. Спектральный способ описания изначально присущ стандартному классическому анализу, который ограничивается описанием первого порядка одной аппроксимирующей функцией или разложением в аппроксимирующие ряды базисных функций.

В конструктивном анализе скрытых периодичностей наблюдается иерархическая (ультраметрическая) рекурсия. Это одна из принципиальных особенностей нестандартного спектрального анализа.

Качество конструктивного описания процесса на каждом шаге ультраметрической рекурсии зависит от выбора амплитуд $c_k(t)$ и весовых периодических функций $f_k(t + n_k T_k(t))$, а также от способа их определения (c_k, T_k) на множестве параметра порядка J_k .

В классическом анализе выбираются, как правило, базисные функции, либо аппроксимирующие функции типа полиномов Лагранжа. В конструктивном анализе эти функции вообще могут быть не обозначены. Они могут быть "выращены" в процессе самоорганизующегося обучения либо частично, либо полностью.

Полное описание возникает тогда, когда реальный процесс является чисто однопериодическим на каждом рекурсивном шаге. Это чрезвычайно редкое событие. Поэтому, как правило, в конструктивном анализе встречается частичное описание этих функций по некоторой выборке на периоде T , по которой строятся (конструируются) распознающие признаки каждого периода nT .

ВЫВОДЫ

1. Переход на современные методы измерения активности радиоактивных веществ и радиоактивных отходов должен включать в себя и применение современных методов обработки информации, в частности — данных измерений, позволяющих кардинальным образом ускорить процесс измерения.

2. Внедрение системы измерений позволит повысить оперативность и достоверность учетных и отчетных данных в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарханов В.И., Петухов В.В., Храмов А.В. Проблемы использования измерительной аппаратуры в учете ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов // Научное приборостроение. 2007. Т. 17, № 2. С. 67–71.
2. НП-067-05 "Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации". Москва, 2005.
3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М.: Мир, 1990. 344 с.
4. Рациональное численное моделирование в нелинейной механике. Сборник / Под ред. акад. О.М. Белоцерковского. М.: Наука, 1990. 294 с.
5. Гершанский В.Ф., Данилов В.Н., Ланцев И.А., Нестеров М.М., Тарханов В.И. О философии научных исследований в физике. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 240 с.

ФГУП ВНИИХТ, Москва (Брыкин С.Н.)

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (Тарханов В.И.)

ФГУП ЦНИИ ТС, Санкт-Петербург (Петухов В.В.)

ФГУП ЦНИИ КМ "Прометей", Санкт-Петербург (Храмов А.В.)

Материал поступил в редакцию 9.11.2007.

REQUIREMENTS FOR RADIOACTIVE SUBSTANCES AND RADIOACTIVE WASTES MONITORING SYSTEMS

S. N. Brykin, V. I. Tarkhanov¹, V. V. Petukhov², A. V. Khramov³

FSUE ARRICT, Moscow

¹*Saint-Petersburg State Polytechnic University*

²*FSUE CRIST, Saint-Petersburg*

³*FSUE CRISM "Prometey", Saint-Petersburg*

The paper considers basic requirements for systems designed to monitor radioactive substances and radioactive wastes. The necessity to improve data processing algorithms according to peculiar features of measured characteristics is shown.