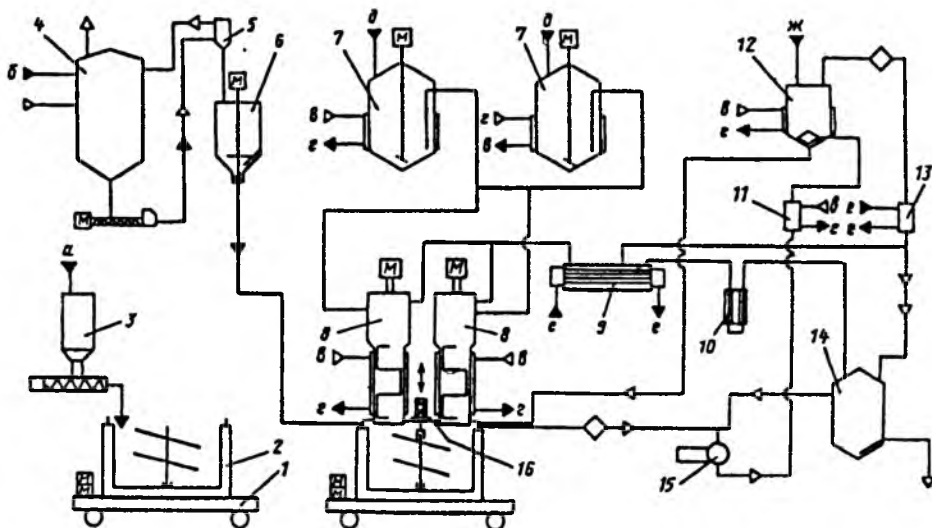




Р и с. 6. Схема установки отверждения отходов АЭС с НП-500: 1 — тележка; 2 — контейнер; 3, 4 — бункер; 5 — циклон; 6 — мерник; 7 — сосуд; 8 — роторный пленочный конденсатор; 9 — конденсатор; 10, 11, 13 — теплообменники; 12 — концентратор-сушилка ионообменных смол; 14 — сборник; 15 — газодувка; 16 — узел заполнения; а — добавки; б — цемент; в — пар; г — конденсат; д — кубовый остаток; е — холодная вода; ж — пульпа ионообменных смол

ность переработки низкоактивной пульпы ионообменных смол, подготовка которых к цементированию совместно с жидкими отходами проводится в сушилке 12. В случае переработки жидких отходов низкого уровня активности, например, отходов спецпрачечной, возможно их глубокое упаривание в роторных пленочных концентраторах и цементирование.

В ближайшие годы будут созданы и испытаны установки цементирования среднеактивных отходов с дистанционным управлением [3]. Появится возможность сравнения и выбора установок битумирования или цементирования для переработки среднеактивных отходов конкретного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров А.С., Борзунов А.И., Вотищев А.Ф. и др. Установка для битумирования жидких радиоактивных отходов Ленинградской АЭС. — Атомная энергия, 1985, т. 61, вып. 3, с. 162—165.
2. Якушев М.Ф., Фоминых Ю.К., Давыдов В.И. и др. Практика битумирования жидких радиоактивных отходов на установке периодического действия. — Атомная энергия, 1980, т. 49, вып. 6, с. 370—373.
3. Давыдов В.И., Вотищев А.Ф., Савин Л.Н. и др. Установка отверждения среднеактивных отходов. — Труды Свердл. НИИ хим. маш., Центральный НИИ управления, экономики и информации, 1993, с. 141—151.

Поступила в Редакцию 15.06.95

УДК 621.039.514.25

ОПИСАНИЕ ПУАССОНОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Галушка А.Н., Фоминых В.И. (НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)

Описание радиационных процессов в конечном итоге после сложной цепи физических преобразований заканчивается определением случайных процессов, среди которых одним из наиболее важных является пуассоновский.

Классическим методом описания пуассоновского процесса является счет числа событий (N) на выбранном интервале измерения (T). Исходя из этих двух величин определяют такой общеизвестный параметр, как средняя скорость счета (R):

$$R = N/T. \quad (1)$$

Физический смысл понятия скорости счета — это интенсивность случайного процесса на наблюдаемом интервале времени. Очевидно, что в основу формулы (1) положено предположение о стационарности (неизменности во времени) интенсивности процесса на интервале времени T . Во всяком случае, зная среднюю скорость счета R , можно считать справедливым это значение в любой точке времени на интервале T . Соответственно можно сказать, что формула (1) не способна реагировать на какие-либо изменения (модуляцию) интенсивности случайного процесса внутри интервала T .

Естественным будет допущение, что интенсивность процесса может произвольно меняться в любой точке времени. При этом известно, что события пуассоновского процесса имеют свойство появляться в любой точке временной оси. Таким образом, следует допустить, что каждому моменту появления случайного события может соответствовать своя интенсивность случайного процесса. Если исходить из этого допущения, то надо признать целесообразность получения информации о том, какой же именно текущей (мгновенной) интенсивностью случайного процесса обусловлено (сгенерировано) каждое отдельное событие. Для этого элементарным объектом измерения надо сделать каждое событие случайного процесса, т.е. процесс надо организовать так, как показано на рис. 1.

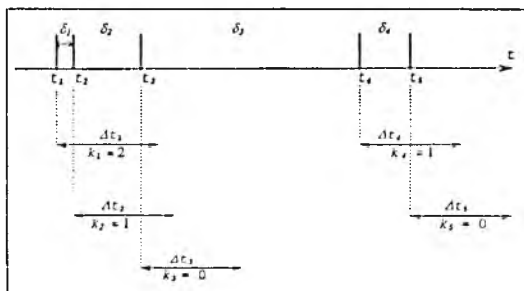


Рис. 1. Схема появления случайного события (интервальные измерения)

От момента появления (t_i) каждого i -го события откладывается малый интервал времени (Δt_i) и определяется (подсчитывается) число событий (k_i), попавших в интервал от t_i до $t_i + \Delta t_i$. Очевидно, что количество k_i предопределяется интенсивностью случайного процесса в окрестности точки времени t_i . Если на интервале от t_i до $t_i + \Delta t_i$ интенсивность не отличается существенно от мгновенной R_i (а чем меньше Δt_i , тем

больше вероятность, что это условие выполняется), то ожидаемое число k_i находится как $k_i = R_i \Delta t_i$. Величина k_i — это индикатор мгновенной интенсивности случайного процесса на момент появления i -го случайного события. На малом интервале Δt величина k может принимать лишь малое целочисленное значение ($k = 0, 1, 2 \dots$), поэтому отдельно взятое значение k_i является статистически неопределенным.

Но совокупность элементарных значений k_i позволяет получить обобщенный параметр, дающий статистически достаточную количественную характеристику процесса, т.е. элементарные акты измерений можно обобщить по следующей формуле:

$$\rho = \sum_{i=1}^{i=N} k_i / \sum_{i=1}^{i=N} \Delta t_i, \quad (2)$$

где N — количество случайных событий на интервале измерения. Величина ρ — это усредненный индикатор мгновенной интенсивности, в физическом смысле она означает интенсивность случайного процесса, при котором появляется (генерируется) единичное событие. Или, другими словами, ρ — это средняя интенсивность случайного процесса

в окрестности единичного события. Далее условно назовем результат по формуле (2), дифференциальной интенсивностью (дифференциальный метод), по формуле (1) — интегральной (интегральный метод).

Если интенсивность процесса неизменна на интервале измерения, то каждое i -е событие возникает при мгновенной интенсивности $\rho = R$. Следовательно, при стационарном процессе должно выполняться статистическое равенство:

$$N/T = \sum_{i=1}^{i=N} k_i / \sum_{i=1}^{i=N} \Delta t_i. \quad (3)$$

В частности, если при стационарном процессе принять $\Delta t_i = T/N$, то $\sum_{i=1}^{i=N} k_i = N$

(равенство статистическое). Формула (3) является условием стационарности пуассоновского процесса. Таким образом, при стационарности наблюдается статистическая эквивалентность результатов по формулам (1), (2). Но при этом по формуле (1) получается одно единственное значение, по формуле (2) появляется возможность иметь результат при различных заданных Δt и, следовательно, более гибко и многовариантно измерять случайный процесс. И надо отметить еще одно частное свойство — с ростом Δt дифференциальный метод сходится с интегральным.

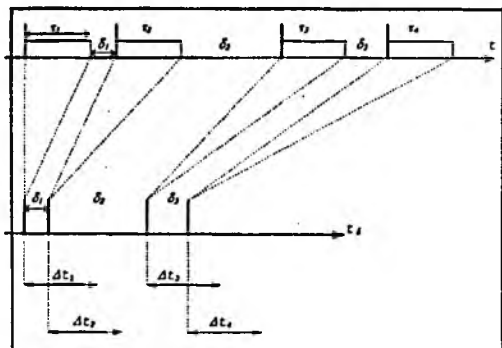
В случаях же нестационарности процесса дифференциальное измерение, будучи функционально связанным с ходом интенсивности случайного процесса во времени, дает всегда более высокое значение, чем значение интегральной интенсивности (т.е. $\rho > R$). Дифференциальная интенсивность всегда стремится к амплитудной, так как дифференциальное измерение учитывает лишь «действующий» процесс и игнорирует «пустое» время (т.е. время прерывания действия генератора случайного процесса), а интегральный метод, наоборот, пересчитав события в действующей зоне процесса, их усреднит и на пустое время.

Из этого свойства следуют некоторые важные метрологические возможности и прежде всего в тех ситуациях, когда обнаружение отклонений от стационарности излучения является целью измерения. К подобным задачам можно отнести, например, обнаружение полезного сигнала на фоне помех (особенно в движении) или момента нарастания («разгона») ядерного процесса, или нахождение экстремумов интенсивности и т.п. Повышенная чувствительность метода к перепаду интенсивности позволяет контрастировать радиационные изображения (особенно это эффективно, если изображение формируется малоинтенсивным потоком излучения).

В спектрометрии вместо счета числа событий, попавших в канал, можно измерять дифференциальную интенсивность потока событий, поступающих в данный канал. Тогда спектр получается зависимым от динамики поступления в различные каналы, что позволит выявлять присутствие даже малоинтенсивных короткоживущих излучателей (например, в активационном анализе). И, наоборот, идентичность спектров по дифференциальному и интегральному методам будет однозначно свидетельствовать о неискаженной стационарности процесса во всех каналах.

Вообще варианты использования дифференциального метода — это отдельный и обширный вопрос. В частности, варьируя Δt (а также направление во времени вперед-назад) можно исследовать процесс на плавность, неразрывность и т.п. Или, например, комбинируя дифференциальное измерение с интегральным, получаем следующую информацию: если $\rho = R$ (в пределах допустимого статистического разброса), то процесс стационарен, если $\rho > R$ (более чем на допустимый статистический разброс), то процесс нестационарен, если $\rho < R$, то процесс не является пуассоновским, и т.п.

Кроме того дифференциальный метод дает простое и универсальное решение проблемы мертвого времени, т.е. если интервалы между событиями состоят из интервалов мертвого (τ_f) и живого времени (δ_f), то дифференциальному измерению подвергается



Р и с. 2. Схема организации дифференциального метода измерений

Так как $\rho\delta$ является дифференциальной интенсивностью процесса (а значит, ход интенсивности во времени учтен), то формула (4) справедлива и для нестационарного процесса. При стационарности же процесса формула (4) является полным эквивалентом общеизвестной классической коррекции по живому времени, но отличается тем, что позволяет многовариантно исследовать процесс в зависимости от выбора Δt . Некоторые аспекты дифференциального решения проблемы мертвого времени проанализированы в работе [1].

Одним из практических вариантов дифференциального решения проблемы мертвого времени является восстановление в реальном времени пуассоновского потока событий по искаженному мертвым временем потоку событий, поступающих с выхода детектора. В случае применения такого преобразования диапазон линейной регистрации расширяется в 100—1000 раз. Так, узел детектора, состоящий из типового счетчика Гейгера—Мюллера и дифференциального преобразователя, позволяет измерять интенсивность импульсов на выходе свыше 10^6 имп./с при отклонении от линейности не более 10%. При этом интервалы между импульсами выходного (восстановленного) потока имеют строго экспоненциальное распределение, что свидетельствует о пуассоновской природе восстановленного потока событий.

Близкие результаты по проблеме мертвого времени получены в работе [2], базирующейся на идее [3]. Здесь пуассоновский поток восстанавливается способом, имеющим существенное сходство с описанным дифференциальным решением задачи мертвого времени, и восстановленный поток также имеет экспоненциальное распределение интервалов, кроме того, показана почти «мгновенная» реакция на скачок интенсивности. Там же показано, как классический (интегральный) метод «съедает» спектральный пик, созданный короткоживущими (а значит, нестационарными) излучателями. Поэтому данное решение используется на практике как наиболее эффективное при спектрометрии нестационарных потоков [4, 5].

Что касается статистической погрешности дифференциального измерения, то здесь погрешность зависит как от выбранного Δt , так и от числа событий N на измеряемом участке случайного процесса. Этот вопрос не имеет еще математически строгого исследования, но те многочисленные физические и математические эксперименты, которые однозначно подтверждают справедливость метода, показывают, что если выполняется условие $\sum k_i \geq N$, то статистическая погрешность оказывается не хуже, чем при интегральном методе.

В заключение можно сформулировать несколько принципиальных выводов. Во-первых, отличие дифференциального метода заключается в том, что он оперирует с временными координатами появления событий, а не с числом событий. Результат измерения зависит не от числа событий, а от того, как они «разбросаны» по оси времени.

поток, составленный только из интервалов δ (как показано на рис. 2). При этом в качестве Δt_i можно, в частности, принять τ_i . Тогда число событий (N) исходного (неискаженного мертвым временем) процесса определяется следующим образом:

$$N = N_0 + \rho \delta \sum_{i=1}^{I=N_0} \tau_i, \quad (4)$$

где N_0 — число событий в искаженном мертвым временем процессе на интервале измерения T ; $\rho\delta$ — дифференциальная интенсивность потока интервалов δ .

Во-вторых, если по интегральному методу предполагается, что процесс стационарен, то дифференциальный метод исходит из противоположного предположения, что процесс всегда нестационарен (в особенности локально нестационарен). В-третьих, дифференциальный метод не «верит слепо», что измеряемый процесс является пуассоновским (да еще и стационарным), а по выполнению соотношения (3) позволяет в реальном времени проверить, действительно ли мы имеем дело с пуассоновским процессом (и проверить на стационарность). Или, наоборот, если точно известно, что регистрируемый процесс пуассоновский, то по сходимости результатов при различных Δt , а также в сочетании с интегральным измерением можно тестировать нормальность функционирования аппаратуры.

В качестве важнейшего вывода следует отметить, что дифференциальный метод не является альтернативой интегральному, наиболее справедливо будет рассматривать эти методы как органически взаимодополняющие, поэтому использование на практике дифференциального метода не входит в противоречие со сложившейся методологией измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muller J. Some Remarks on the Galushka Method. Rapt B/PM-93/2 Bureau Intern. des Poids et Mesures, 1993, p. 1—7.
2. Westphal G. On the performance of loss-free counting a method for real-time compensation of dead-time and pile-up losses in nuclear spectroscopy. — Nucl. Instrum. Meth., 1979, v. 163, p. 189.
3. Point J., Blave A. Methodes originales de correction continue des pertes de comptage dues aux temps de paralysie des detecteurs et de leur electronique associee. — In: Proc. Conf. «Nuclear Electronics II». Vienna: IAEA, 1962, p. 345.
4. Акимов Ю.К., Игнатьев О.В., Калинин А.И., Кушнирук В.Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат, 1989, с. 312.
5. International Commission on Radiation Units and Measurements. Particle Counting in Radioactivity Measurements, ICRU Rept 52, 1994.

Поступила в Редакцию 19.09.95

УДК 621.039

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, ОБРАЗУЮЩИМИСЯ ВНЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

*Соболев И.А., Дмитриев С.А., Баринов А.С., Польский О.Г., Турлак Е.А.,
Ожован М.И. (МосНПО «Радон»)*

К настоящему времени в России накоплено ~ 200 тыс. м³ радиоактивных отходов суммарной активностью около 2 млн Ки, образовавшихся вне ядерного топливного цикла [1]. Для обращения с ними создана система специализированных предприятий «Радон». Цель настоящей статьи — дать ее краткую характеристику.

Управление и правовая регламентация. Органом федерального управления деятельностью специализированных комбинатов «Радон» является Минстрой РФ. Исключением является МосНПО «Радон», входящее в структуру Департамента инженерного обеспечения правительства Москвы. Кроме того, специализированные комбинаты имеют территориальную подчиненность органам исполнительной власти. Их деятельность финансируется за счет местных бюджетов, а также средств федерального бюджета и поставщиков радиоактивных отходов.

Деятельность специализированных комбинатов «Радон» контролируется территориальными органами (отделениями) Госатомнадзора РФ, Госсанэпиднадзора РФ, министерств экологии и внутренних дел, научно-методическое руководство осуществляется МосНПО «Радон».