

пониманию механизма ядерных реакций и его связи со структурой атомного ядра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левковский В. Н. «ЖЭТФ», 1957, т. 33, с. 1520.
2. Левковский В. Н. Там же, 1963, т. 45, с. 305.
3. Левковский В. Н. «Ядерная физика», 1973, т. 18, вып. 4, с. 705.

4. Bayhurst B., Prestwood R. «J. Inorg. Nucl. Chem.», 1962, v. 23, N 3/4, p. 173.
5. Pearlstein S. «J. Nucl. Energy», 1973, v. 27, N 2, p. 81.
6. Левковский В. Н. «ЖЭТФ», 1956, т. 31, с. 360.
7. Gardner D. «Nucl. Phys.», 1962, v. 29, p. 373.

Поступило в Редакцию 09.10.78

УДК 621.039.514

Реактиметр с импульсным измерительным каналом

ЛИТИЦКИЙ В. А., КОСТРОМИН А. Г., БОНДАРЕНКО В. В., БРЫНДИН Ф. Б.

При реализации метода измерения глубокой подкритичности [1, 2] часто интенсивность внешних нейтронных источников оказывается недостаточной для обеспечения тока камеры (обычно КНК-56), превышающего ток утечки камеры или чувствительности входного усилителя. Очевидно, что это обстоятельство существенно ограничивает диапазон измеряемой реактивности.

Для измерения меньших подкритичностей использовали импульсный измерительный канал на основе высокоэффективного счетчика и линейного интенсиметра, собранного по схеме с дозирующим ключом [3]. Такой канал позволял проводить измерения подкритичности, соответствующей скорости счета 100—10 000 имп./с.

При отработке методики работы с импульсным измерительным каналом особое внимание уделялось его частотной характеристике, так как она определяет область частот, где выполняется условие инверсии передаточных функций реактиметра и реактора, необходимое для корректного измерения реактивности [4]. В рассматриваемом измерительном канале (рис. 1) входным сигналом является случайная последовательность импульсов, соответствующая числу зарегистрированных нейтронов в единицу времени (просчетами регистрирующей схемы пренебрегаем), а выходным — напряжение, пропорциональное скорости счета. Кроме этого, реакцией формирователя на каждый зарегистрированный нейтрон является прямоугольный импульс напряжения (дозирующий импульс) с постоянной амплитудой a_0 и длительностью τ_0 , последовательность которых преобразуется интегрирующим контуром интенсиметра в соответствующий аналоговый сигнал, поступающий через согласующее устройство на вход реактиметра.

Пользуясь теорией случайных импульсных процессов [5], можно показать, что спектральная плотность случайной последовательности прямоугольных импульсов напряжения на выходе формирователя, число которых за время T распределено по закону Пуассона, равна

$$S(\omega) = \bar{n} (a_0 \tau_0)^2 \left(\sin \frac{\tau_0}{2} \omega / \frac{\tau_0}{2} \omega \right)^2, \quad (1)$$

где \bar{n} — среднее число зарегистрированных импульсов в секунду.

Спектральную плотность флуктуаций напряжения на выходе интенсиметра можно получить из соотношения

$$S_u(\omega) = |K(\omega)|^2 S(\omega), \quad (2)$$

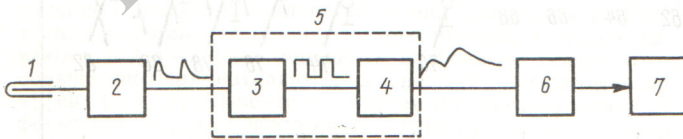


Рис. 1. Структурная схема импульсного измерительного канала: 1 — счетчик СНМ-18; 2 — усилитель-дискриминатор; 3 — формирователь; 4 — интегрирующий контур; 5 — интенсиметр; 6 — согласующее устройство; 7 — реактиметр

где $|K(\omega)|^2$ — квадрат модуля передаточной функции интенсиметра, которую легко определить, если воспользоваться преобразованием Фурье уравнения

$$\tau \frac{dU_{\text{ВЫХ}}(t)}{dt} + U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{\text{ВХ}}(t),$$

описывающего зависимость выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}(t)$ от входного $U_{\text{ВХ}}(t)$ в интенсиметре [3].

После преобразования

$$|K(\omega)|^2 = \varepsilon^2 / (\varepsilon^2 + \omega^2), \quad (3)$$

где $\varepsilon = 1/\tau$ (здесь τ — постоянная времени интегрирующего контура интенсиметра).

Поскольку входной импульсный процесс предполагался пуассоновым, спектральная плотность выходного сигнала, определяемая формулами (1—3), пропорциональна квадрату модуля передаточной функции $|Z(\omega)|^2$ всего импульсного измерительного канала, т. е.

$$S_u(\omega) = \frac{\bar{n} [a_0 (\tau_0/\tau)]^2}{\varepsilon^2 + \omega^2} \left(\sin \frac{\tau_0}{2} \omega / \frac{\tau_0}{2} \omega \right)^2 \sim |Z(\omega)|^2. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что в общем случае передаточная функция импульсного измерительного канала зависит как от параметров дозирующих импульсов (a_0 , τ_0), так и от постоянной времени интегрирующего контура τ . Однако обычно $\omega \tau_0 \ll 1$ и, как нетрудно убедиться, в этом случае формула (4) преобразуется к виду

$$|R(\omega)|^2 \sim \text{const} / (\varepsilon^2 + \omega^2). \quad (5)$$

Из этого выражения видно, что для частот $\omega \ll \varepsilon$ квадрат модуля передаточной функции $|R(\omega)|^2$ не зависит от частоты, т. е. в этой области частот импульсный измерительный канал не вносит погрешности в результат измерения реактивности.

Для сравнения приведем выражение для квадрата модуля передаточной функции токового измерительного канала с ионизационной камерой с BF_3 -наполнением, полученное в работе [6]:

$$|\Phi(\omega)|^2 \sim \text{const} / (\xi^2 + \omega^2), \quad (6)$$

где ξ — величина, обратная времени собирания ионов в камере. Формулы (5) и (6) имеют одинаковую зависимость от частоты, и в этом смысле импульсный измерительный канал не отличается от токового. Однако если для токового измерительного канала частота «излома» квадрата модуля передаточной функции определяется временем собирания ионов, то в импульсном канале — постоянной времени интегрирующей RC -цепочки интенсиметра.

Заметим, что, когда измерение малых интенсивностей достигается увеличением длительности дозирующих импульсов, спектр, определяемый формой дозирующих импульсов, смещается в низкочастотную область частотной характеристики измерительного канала. Относительная величина вклада этого спектра $\delta(\omega, \tau_0) = [|Z(\omega)|^2 -$

— $|R(\omega)|^2/|Z(\omega)|^2$, или

$$\delta(\omega, \tau_0) = 1 - \left(\tau_0 \omega / 2 \sin \frac{\tau_0 \omega}{2} \right)^2.$$

С помощью этой формулы можно выбрать диапазон анализируемых частот, где при выбранном значении τ_0 вклад нежелательного спектра будет незначительным.

На рис. 2 приведена измеренная спектральная плотность флуктуаций напряжения на выходе импульсного измерительного канала при постоянных времени интенсиметра 0,01 (1) и 0,05 с (2). Из рис. 2 видно, что спектральные плотности, полученные в эксперименте, хорошо описываются формулой (5). Длительность дозирующих импульсов составляла $1,5 \cdot 10^{-6}$ с, а амплитуда 6 В; P_n — Вейнтроновый источник и счетчик СМ-18 помещались в графитовой призме.

В заключение приведем результаты измерений, выполненные с помощью реактиметра с импульсным каналом на уран-водном подкритическом стенде. В этих измерениях применялся метод «стреляющего» источника [4]. Использование описанного измерительного канала обеспечивало измерение подкритичности до $10^{-14} \beta_{эф}$ — эффективных долей запаздывающих нейтронов, что соответствовало скорости счета ~ 200 имп./с при введенном нейтронном источнике интенсивностью 10^6 нейтр./с, в то время как ток камеры КНК-56 в тех же условиях составлял лишь $\sim 1,5 \cdot 10^{-12}$ А, что сравнимо с током утечки для этой камеры.

Следует отметить, что измерения при более низкой интенсивности нейтронного потока сопряжены с увеличением постоянной времени интегрирующего звена интенсиметра, что в свою очередь ограничивает диапазон измеряемой подкритичности из-за ухудшения быстродействия измерительного канала.

Авторы благодарны Ю. А. Прохорову за постоянное внимание к настоящей работе, а также Р. Э. Багдасарову, В. И. Козлову и Ю. В. Волкову за помощь, оказанную при проведении экспериментов и при обсуждении их результатов.

УДК 577.3.539.12.04

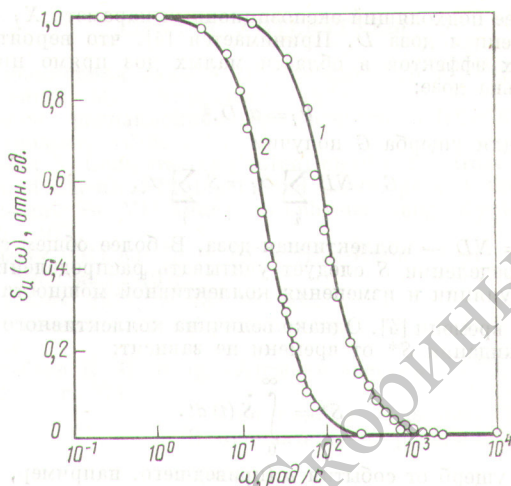
Об оценке риска комбинированного воздействия радиации и химических агентов

ЛЫСНОВ В. Н., КНИЖНИКОВ В. А.

Управление средой обитания становится неотложной практической задачей нашего времени. Для ее решения в первую очередь необходимо знать, к каким последствиям для человеческой популяции приводит воздействие того или иного фактора окружающей среды даже при достаточно низком уровне экспозиции.

Появление радиационного фактора, например, ведет к увеличению риска стохастических вредных эффектов (злокачественных новообразований и наследственных болезней), которые при определенных допущениях можно количественно оценить [1]. Эти оценки позволяют сформулировать нормы радиационной безопасности как для населения в целом, так и для лиц, подвергающихся профессиональному облучению [2]. Гораздо сложнее оценить комбинированное воздействие радиации и химических агентов когда риск вредных эффектов может оказаться значительно выше суммы рисков для каждого из этих факторов в отдельности. Кроме того, возникает задача количественного выражения риска в таких единицах, которые можно суммировать [3].

Введем понятия риска R и ущерба G , следуя методологии, разработанной в докладе Научного комитета ООН



Р и с. 2. Спектральная плотность флуктуаций напряжения на выходе импульсного измерительного канала: — — расчет; O — эксперимент

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В. В. и др. «Атомная энергия» 1976, т. 44, вып. 4, с. 238.
2. Бондаренко В. В. и др. «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 5, с. 375.
3. Брагин А. А., Федорин Р. Ф. Аналоговые преобразователи импульсных потоков. М., Атомиздат, 1969.
4. Смирнов Н. А. В кн.: Теория и средства автоматизации. М., «Наука», 1968, с. 305.
5. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. М., «Наука», 1966.
6. Osborn R., Nieto J. «Nucl. Sci. Engng», 1966, N 4, p. 515.

Поступило в Редакцию 23.10.78

по действию атомной радиации (НКДАР) [4]. Пусть P_i — вероятность гибели индивидуума от i -го заболевания. Тогда

$$R = \sum_i P_i. \quad (1)$$

Ущерб для популяции из N индивидуумов

$$G = NR. \quad (2)$$

Тщательный анализ общего вреда для здоровья популяций, вызываемого различными факторами, показывает, что именно смертность определяет подавляющую долю вреда и, кроме того, уровень заболеваемости связан с уровнем смертности закономерным образом. Проблема состоит теперь в том, чтобы связать уровень экспозиции * X_i для i -го фактора окружающей среды с R . В случае радиации

* Термин «экспозиция» употребляется здесь в широком смысле слова и относится к любой физической величине, адекватно характеризующей уровень любого фактора в окружающей среде.