

УДК 539.1.074.55:539.1.074.3:550.379

## Применение Ge(Li)-детекторов

### для гамма-спектрометрического анализа проб внешней среды

ТЕРТЫШНИК Э. Г., БОЧКОВ Л. П., ВАКУЛОВСКИЙ С. М.

Чувствительность спектрометрической установки с полупроводниковым Ge(Li)-детектором (ППД) типа ДГДК-60А (относительная эффективность 4,4%) сравнивается с чувствительностью сцинтилляционного спектрометра (детектор БДЭГ2-23) на основе монокристалла NaI(Tl) размером 63 × 63 мм. Энергетическое разрешение гамма-спектрометра с ППД составляло 6,5 кэВ на линии 1332 кэВ, а выбранный для сравнения экземпляр сцинтилляционного блока обеспечивал разрешение 59 кэВ на  $\gamma$ -линии 662 кэВ. Для снижения фона оба детектора помещали в защитные камеры из чугуна с толщиной стенки 200 мм. Эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов для диапазона энергий от 100 до 1600 кэВ определяли с помощью образцовых радиоактивных растворов (ОРР) и комплекта образцовых спектрометрических  $\gamma$ -источников (ОСГИ).

Показано, что при энергии от 200 до 1600 кэВ спектрометр с ППД не уступает сцинтилляционному по величине фактора качества  $\varepsilon(E)/\sqrt{n}$ , где  $\varepsilon(E)$  — эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией  $E$  в пике полного поглощения;  $n$  — скорость счета фона в энергетическом интервале, равном удвоенной ширине пика на половине его высоты.

При сопоставлении детекторов по величине  $\varepsilon(E)/\sqrt{n}$  продолжительность измерения препарата не ограничивается. Поскольку при массовых измерениях проб необходимо учитывать продолжительность экспозиции, для каждого спектрометра была рассчитана минимальная активность, т. е. активность, измеренная за данное время (чтобы относительная статистическая погрешность  $\delta$  не превышала заданного значения). Проведенные оценки для  $\delta = 0,5$  и времени измерения 120 мин показали,

что минимально измеримая активность для исследуемого ППД в среднем на 12% выше, чем при использовании сцинтилляционного блока БДЭГ2-23. Однако некоторое преимущество в чувствительности сцинтилляционного детектора может быть реализовано только при  $\gamma$ -радиометрии, когда измеряют препарат, содержащий лишь один  $\gamma$ -излучатель. При анализе проб с несколькими  $\gamma$ -излучателями наложение пиков в аппаратурном спектре сцинтилляционного спектрометра приводит к тому, что ошибки, возникающие при обработке этих спектров, в несколько раз превышают величину статистической погрешности.

На установке с ППД анализировали отобранные в 1975 г. пробы атмосферного аэрозоля, радиоактивных выпадений и донных отложений. В 1975 г. уровень радиоактивного загрязнения внешней среды составлял минимальную величину за последние 15 лет. При объеме проб воздуха  $3,6 \cdot 10^5$  м<sup>3</sup> и времени измерения 2 ч относительная погрешность определения концентрации <sup>144</sup>Ce, <sup>137</sup>Cs и <sup>106</sup>Ru не превышала 6—10%, для <sup>95</sup>Zr составляла 25%.

За 120 мин в пробах почвы или донных отложений объемом 1 л детектор ДГДК-60А позволяет измерять с 50%-ной относительной погрешностью концентрацию <sup>137</sup>Cs, равную  $4 \cdot 10^{-11}$  Ки/кг при наличии мешающих излучений от естественных радиоактивных элементов U, Th, K.

(№ 959/9335. Поступила в Редакцию 8/VI 1977 г. В окончательной редакции 25/XI 1977 г. Полный текст 0,9 а. л., рис. 4, табл. 4, список литературы 7 наименований.)

УДК 537.311.22.539.12.04

## Особенности изменения электропроводности органических диэлектриков при импульсном гамма-нейтронном облучении

ШКУРПЕЛОВ А. А., ЕЛОХИН А. П., МАКЕЕВ С. И.

Известно, что при облучении диэлектриков токами меньшими 50 Мрад [1] их электрофизические свойства (например, проводимость) изменяются обратимым образом, т. е. закон изменения сохраняется при неоднократном облучении. Это позволяет радиационные эффекты, возникающие в облучаемых диэлектриках, использовать для регистрации импульсного ионизирующего излучения.

В настоящей работе получена зависимость между изменением напряжения на обкладках конденсатора ( $\Delta V = [V(0) - V(t)]$ ) и мощностью дозы падающего излучения  $\dot{D}(t)$ . При  $V(0) \geq 10^3$  В и  $\dot{D}(t) \geq 10^7$  Р/с эта зависимость для конденсатора с диэлектриком из полиэтилена и полистирола определяется только изме-

нением проводимости, так что если пренебречь емкостью внешней цепи, то  $\Delta V \approx \Delta \sigma(t) R V(0)$ , где  $R$  — сопротивление нагрузки, изменение проводимости  $\Delta \sigma(t)$

подчиняется закону  $\Delta \sigma(t) = \gamma [\dot{D}(t)] \Delta$  [2],  $\gamma$  и  $\Delta$  — константы, зависящие от материала диэлектрика. При мощности дозы  $< 10^7$  Р/с регистрируемый сигнал имеет более сложный характер, что обусловлено влиянием дополнительного вклада — возникающей в диэлектрике радиационной поляризации.

На основании анализа экспериментальных и теоретических работ [3, 4] показано, что эффект радиационной поляризации не может быть объяснен как изменение диэлектрической проницаемости. Установлено, что вектор электростатической индукции имеет вид



$\mathbf{D} = \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$ , где  $\mathbf{P}$  — радиационная поляризация — удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} = a \dot{\mathcal{D}}(t) \mathbf{E} - b \dot{\mathcal{D}}(t) \mathbf{P}, \quad (1)$$

Здесь  $a, b$  — постоянные, характеризующие процессы накопления и распада элементарных диполей в диэлектрике за счет захвата электронов в ловушки с образованием связанной пары и нейтрализации этой пары свободными носителями. Полученное в настоящей работе уравнение для тока  $I(t)$ , идущего во внешнюю цепь, имеет вид:

$$I(t) = -\gamma [\dot{\mathcal{D}}(t)]^{\Delta} V(t) - \epsilon \epsilon_0 \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t} = a \dot{\mathcal{D}}(t) V(t) - b \dot{\mathcal{D}}(t) \mathcal{P}(t),$$

$$V(0) = \mathcal{E}, \quad \mathcal{P}(0) = \mathcal{P}_0.$$

Справедливость такого подхода для интерпретации радиационных эффектов в диэлектрике была подтверждена экспериментально в условиях импульсного  $\gamma$ -нейтронного облучения. В работе приводятся полученные экспериментально значения параметров  $b, \gamma$  и  $G_0 = a\mathcal{E} - b\mathcal{P}_0$  для полиэтилена и полистирола.

(№ 960/9375. Поступила в Редакцию 6/VII 1977 г., в окончательной редакции 20/XII 1977 г. Полный текст 0,5 а. л., рис. 6, табл. 1, список литературы 10 наименований.)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев Б. С., Франкевич Е. Л. «Журн. физ. химии», 1966, № 6, с. 1327.
2. Fowler J. «Proc. Roy Soc.», 1956, v. 236A, p. 464.
3. Gross B. «J. Appl. Phys.», 1965, v. 36, N 5, p. 1635.
4. Франкевич Е. Л. «Химия высоких энергий», 1967, т. 1, № 6, с. 567.

## Новые книги

Овчинников Ф. Я., Голубев Л. И., Добрынин В. Д., Ключков Д. И., Семенов В. В., Цыбенко В. И. **Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических ядерных реакторов**. М., Атомиздат, 1977. 280 с. 3 р. 10 к.

Значительная часть программы развития ядерной энергетики СССР базируется на АЭС с ВВЭР. В связи с этим приобретает особое значение обобщение их опыта эксплуатации. Хотя книга называется «Эксплуатационные режимы...», авторы это понятие предельно расширили, представив его как комплекс решений (проектных и эксплуатационных), которые обеспечивают надежность, безопасность и экономичность АЭС. Ни одна из проблем ВВЭР не оставлена авторами без внимания. По широте рассмотренных вопросов книга смело может быть отнесена к справочным изданиям.

В книге 12 глав. В первых четырех главах в простой и доступной форме излагаются ядерно-физические основы работы ВВЭР, их нейтронно-физические характеристики в пусковых и нормальных режимах эксплуатации. Отмечено изменение физических характеристик реактора, связанное с особенностями системы управления, рассмотрены вопросы маневренности установки, важные для работы в условиях энергосистем.

В гл. 5 и 6 анализируются теплогидравлические режимы работы ВВЭР на номинальной мощности, в переходных режимах и при остановке реактора.

В гл. 7 рассмотрены вопросы внутриреакторного использования топлива: режимы перегрузки реактора, формирование начальной топливной загрузки. Подробно описаны расчетные программы, используемые при выборе топливных загрузок и прогнозировании топливных характеристик реактора в процессе эксплуатации.

Гл. 8 и 9 посвящены работоспособности твэлов и элементов конструкции реактора. Представлены подробные физические, механические и коррозионные свойства материала оболочек твэлов — сплава циркония

с 1% ниобия. Рассмотрены методы оценки работоспособности твэлов в работающем и остановленном реакторе. Приведены особенности водно-химического режима первого контура.

В гл. 10 излагается общая концепция безопасности ВВЭР и описываются мероприятия, обеспечивающие ядерную безопасность в нормальных и аварийных режимах эксплуатации реактора.

Гл. 11 посвящена ВВЭР-1000, который является новым этапом на пути развития и совершенствования ВВЭР. Приведены сравнительные характеристики ВВЭР трех поколений, показывающие поэтапное улучшение теплогидравлических и физических параметров этих реакторов. Рассмотрены изменения системы регулирования реактора, обусловленные спецификой ВВЭР-1000 по сравнению с предшествующими реакторами, в частности, обеспечивающие подавление пространственных ксеноновых колебаний мощности в объеме активной зоны. В заключительной главе обсуждается экономичность эксплуатации АЭС с ВВЭР.

Недостатками, о которых можно упомянуть, но которые не снижают общей высокой оценки книги, являются использование предельной методики при определении допустимого уровня мощности твэлов, кассет и реактора (§ 5.3) и некоторая неопределенность и неточность в формулировках рекомендаций авторов по методике расчета топливной составляющей вырабатанной электроэнергии (§ 12.1).

Четкость, последовательность изложения материала, ссылки на литературные источники (123 наименования), максимальное физическое обоснование поставленных проблем делают рецензируемую книгу весьма полезной при подготовке эксплуатационного персонала АЭС с ВВЭР. Следует отметить, что подобные книги было бы целесообразно выпустить и по энергетическим реакторам других типов.

ПУШКАРЕВ В. И.