

Моделирование на ЭВМ процессов радиоактивного распада

УДК 543.53

Г. Г. АКАЛАЕВ

Математические методы обработки результатов измерений начинают широко применяться в практике акти-
вационного анализа [1, 2].

Возможности этих методов проверяют на искусствен-
ных смесях, т. е. смесях известного качественного
и количественного составов. Приготовление искусствен-
ных смесей разной концентрации связано с техниче-
скими трудностями. При измерениях радиоактивных
характеристик распада смеси в натурном эксперименте
кроме ошибки, связанной с вероятностной природой
как радиоактивного распада, так и процессов взаимо-
действия излучения с веществом детектора, вносятся
дополнительные ошибки, обусловленная работой кон-
кретной регистрирующей электроннофизической аппа-
ратуры. Моделирование процессов радиоактивного распада
на ЭВМ позволяет устранить дополнительные
ошибки и снизить трудоемкость эксперимента.

Рассмотрим отдельные вопросы моделирования на
ЭВМ процессов радиоактивного распада смеси изотопов,
используя терминологию работы [3].

Получение кривой радиоактивного распада

Содержательное описание процесса. В моменты вре-
мени t_k ($k = 1, 2, \dots, m$) в течение интервала вре-
мени длительностью Δt_k производится регистрация
количества распавшихся ядер N_k ; полученные числа N_k
представляют кривую радиоактивного распада.

Математическая модель процесса. Имеется смесь
радиоактивных изотопов (всего n изотопов), отличаю-
щихся друг от друга параметром λ_i — постоянной
распада. В начальный момент времени $t = 0$ число
радиоактивных ядер i -го изотопа ($i = 1, 2, \dots, n$)
равно N_{0i} . Каждое ядро любого изотопа распадается
в момент времени t ($0 < t < \infty$). Вероятность распада
конкретного ядра i -го изотопа за время $t, t + dt$ задается
плотностью вероятности $f_i(t)$ по закону радиоактивного
распада:

$$f_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t} \quad (1)$$

Алгоритм. Определяем время распада каждого ядра
смеси изотопов путем выборки случайных чисел из сово-
купности случайных чисел, распределенных по закону
(1). Фиксируем те случаи, когда распад ядра происходит
в интервале времени $t_k, t_k + \Delta t_k$. Полученный набор
чисел N_k будет искомым кривой распада.

Таким образом, при реализации моделирующего
алгоритма на ЭВМ необходим генератор случайных
чисел с заданным законом распределения. Существует
несколько способов получения на ЭВМ так называемых
псевдослучайных чисел с произвольным законом рас-
пределения [4]. Поскольку на любой ЭВМ имеется
датчик псевдослучайных чисел, равномерно распреде-
ленных в интервале $[0, 1]$ и удовлетворяющих крите-
риям статистической проверки на случайность и равно-
мерность, для получения случайных чисел с произволь-
ным законом распределения в нашем случае наиболее
удобен метод замены переменных (метод обратных
функций). Согласно этому методу случайному числу ξ
из совокупности случайных чисел, равномерно рас-
пределенных в интервале $[0, 1]$, ставится в соответствие
случайное число η из совокупности случайных чисел,

распределенных по закону (1), по формуле

$$\eta = -\frac{1}{\lambda_i} \ln \xi. \quad (2)$$

Вопросы получения на ЭВМ псевдослучайных чисел
со статистическим анализом подробно рассмотрены
в работе [4]. Меняя величины N_{0i} и длительность изме-
рения Δt_k , получим кривые распада смеси радиоактив-
ных изотопов произвольной концентрации с желаемой
статистической точностью.

Получение γ -спектра смеси радиоактивных изотопов на спектрометре с многоканальным анализатором

Содержательное описание процесса. Гамма-кванты,
испускаемые смесью изотопов, распределяются по кана-
лам анализатора. В результате измерения получаем
набор чисел N_k — спектр анализируемой смеси изо-
топов, или число импульсов в k -м канале анализатора
($k = 1, 2, \dots, l$, где l — число каналов анализатора).

Математическая модель процесса. Имеется смесь
радиоактивных изотопов, испускающих γ -кванты.
Общее число радиоактивных изотопов равно n , актив-
ность i -го изотопа равна A_i . Вероятность регистрации
 γ -кванта i -го изотопа в k -м канале анализатора опре-
деляется плотностью распределения $f_i(k)$. Функция
распределения $F_i(k)$ выражает вероятность регистра-
ции γ -кванта i -го изотопа в любом из каналов анализа-
тора от 1 до k :

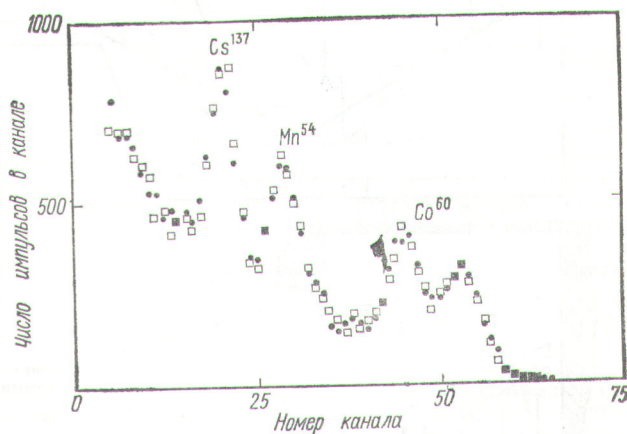
$$F_i(k) = \sum_{j=1}^k f_i(j). \quad (3)$$

Алгоритм. Число γ -квантов, испущенных i -м изо-
топом за время t , равно

$$N_i = A_i t.$$

Используя метод обращения, номер канала k , в который
попадает γ -квант i -го изотопа, определяем из неравен-
ства

$$F_i(k-1) < \xi \leq F_i(k). \quad (4)$$



Моделирование на ЭВМ γ -спектра трехкомпонентной смеси:

● — эксперимент; □ — моделирование.

Повторив операцию N_i раз, получим спектр зарегистрированных γ -квантов i -го изотопа. Перебрав и просуммировав все изотопы, получим γ -спектр многокомпонентной смеси.

Функция распределения $f_i(k)$ получается из так называемого эталонного спектра, или стандарта. Для этого с хорошей статистикой снимают γ -спектры отдельных изотопов, а затем нормируют на суммарную площадь спектра:

$$f_i(k) = N_i(k) / \sum_{j=1}^l N_i(j). \quad (5)$$

Очевидно, что возможные погрешности при моделировании по вышеприведенным формулам определяются качествами конкретного датчика псевдослучайных чисел. Например, если отрезок аperiodичности L сравним с количеством выбранных при моделировании случайных чисел ($L \approx \sum_{i=1}^n N_{oi}$ при моделировании кри-

вой распада, или $L \approx \sum_{i=1}^n N_i$ при моделировании γ -спектра), то в полученные результаты будет внесена систематическая ошибка.

Оценка аварийных доз на мощных гамма-установках

Е. Д. ЧИСТОВ, И. Ф. СПРЫГАЕВ, И. П. КОРЕНКОВ;
А. В. ТЕРМАН, А. В. СЕДОВ

Эксплуатация мощных гамма-установок, как показывает практика, связана с возможностью возникновения аварий (или аварийных ситуаций). Одной из причин возникновения аварий является отказ системы блокировки входной защитной двери установки и сигнализации о положении облучателя и уровнях мощностей доз [1, 2]. Серьезные последствия подобных аварий вызывают необходимость оценки и прогнозирования доз внешнего облучения, воздействующего на пострадавшего.

При типовой планировке в составе помещений мощной гамма-установки предусматривают рабочую камеру и лабиринт. В случае неисправной системы блокировки и сигнализации пострадавший, открыв дверь в лабиринт, следует к облучателю по маршруту, приведенному на рис. 1.

Суммарная доза D облучения пострадавшего может быть определена по соотношению

$$D = D_1 + D_2 + D_3, \quad (1)$$

где $D_1 = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt \approx \sum_{i=1}^n P_i t_i$ — доза облучения при подходе к облучателю за время $t_2 - t_1$; D_2 — доза, которую получит пострадавший, находясь около облучателя в течение

$$\text{времени } t_3 - t_2; D_3 = \int_{t_3}^{t_4} P \cdot dt \approx$$

$$\approx \sum_{i=1}^n P_i t_i \text{ — доза, которую получит}$$

пострадавший при выходе из рабочей камеры за время $t_4 - t_3$. Для определения указанных величин необходимо знать распределение полей доз вдоль оптической длины лабиринта (пути пострадавшего).

В общем виде доза в любой точке лабиринта может быть определена как сумма доз, создаваемая прямым и обратно рассеянным (отраженным)

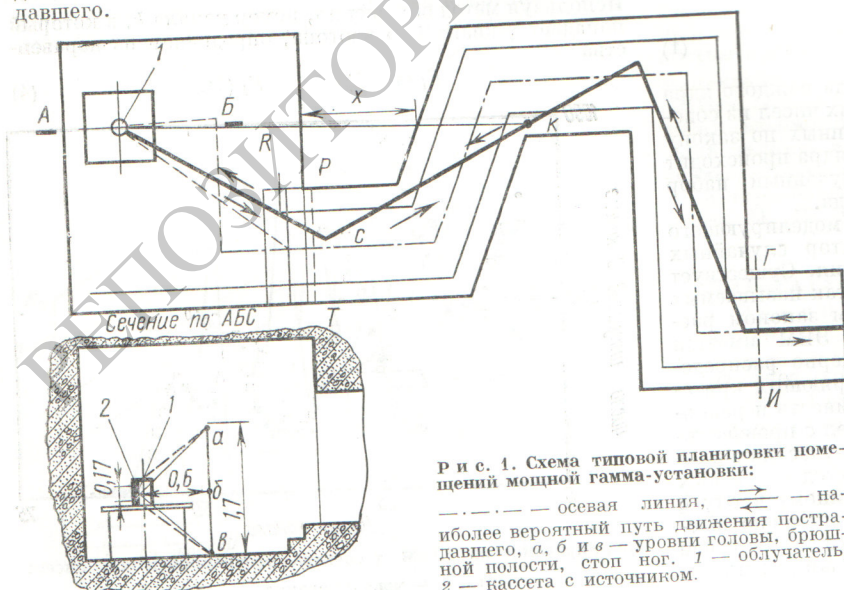


Рис. 1. Схема типовой планировки помещений мощной гамма-установки:
— — — — — осевая линия, $\Rightarrow$ — наиболее вероятный путь движения пострадавшего, а, б и в — уровни головы, брюшной полости, стоп ног. 1 — облучатель; 2 — кассета с источником.