

О расширении экспериментальных возможностей методов, основанных на исследовании нейтронных шумов ядерного реактора

В. В. БУЛАВИН

УДК 621.039.512.2

Предлагается метод анализа нейтронных шумов реактора «нулевой» мощности, разработанный в предположении односкоростной «точечной» модели кинетики. В отличие от существующих статистических методов, основанных на такой же модели, данный метод дает возможность получить в независимом эксперименте исчерпывающую информацию о физических параметрах реактора. Это достигается за счет искусственного разбиения актов регистрации нейтронов в детекторе, расположенном в стационарном реакторе, на две группы событий, оказывающих различное влияние на последующее развитие цепной реакции.

Рассматривается подкритический реактор, внутри которого расположены два физически различных типа детектора: детектор абсорбционного типа (например, борный счетчик) и камера деления. Предполагается, что стационарный поток нейтронов в реакторе поддерживается источником с интенсивностью S (λ нейтр/сек) и пуассоновским распределением испущенных нейтронов. Запаздывающие нейтроны не учитываются. В рамках указанной модели каждый нейтрон, находящийся в реакторе, может исчезнуть в результате утечки или утки; вызвать деление в активной зоне с образованием ν нейтронов с вероятностью $f(\nu)$; поглотиться в первом детекторе (борный счетчик); поглотиться с делением во втором детекторе (камера деления) с образованием ν нейтронов с вероятностью $f_2(\nu)$. Вероятности перечисленных выше процессов, относенные к единице времени, обозначим через λ_c , λ_l , λ_f и λ_{d_2} соответственно. Полная вероятность исчезновения нейтрона в реакторе в единицу времени есть $\lambda = \lambda_c + \lambda_f + \lambda_{d_1} + \lambda_{d_2} = \frac{1}{l}$, где l — время жизни мгновенных нейтронов. В общем случае $f(\nu) \neq f_2(\nu)$, так как делящиеся изотопы реактора и детектора могут быть различными. Предлагаемый метод состоит в измерении для стационарного реактора вероятности регистрации нейтрона детектором j в интервале времени Δt при условии, что в момент $t = 0$ в детекторе произошла регистрация. Обозначим эту вероятность через $C_{ij}(t) \Delta t$, где индексы i и j могут принимать значения 1 и 2. В работе получены аналитические выражения, связывающие $C_{ij}(t)$ со свойствами среды в детекторах:

$$C_{1i}(t) = \lambda_{d_i} B + \lambda_{d_i} A \exp(-\alpha t) \quad (i=1, 2); \quad (1)$$

$$C_{2k}(t) = \lambda_{d_k} B + \lambda_{d_k} A \exp(-\alpha t) +$$

$$+ \lambda_{d_k} \bar{\nu}_2 \exp(-\alpha t) \quad (k=1, 2), \quad (2)$$

где

$$B = \frac{S}{\alpha}; \quad A = \frac{\lambda_f \bar{\nu}(\bar{\nu}-1) + \lambda_{d_2} \bar{\nu}_2(\bar{\nu}_2-1)}{2\alpha};$$

$$\alpha = \lambda_t - \lambda_f \bar{\nu} - \lambda_{d_2} \bar{\nu}_2; \quad \bar{\nu} = \sum_{\nu=0}^{\infty} \nu f(\nu);$$

$$\bar{\nu}(\bar{\nu}-1) = \sum_{\nu=0}^{\infty} \nu(\nu-1) f(\nu); \quad \bar{\nu}_2 = \sum_{\nu=0}^{\infty} \nu f_2(\nu);$$

$$\bar{\nu}_2(\bar{\nu}_2-1) = \sum_{\nu=0}^{\infty} \nu(\nu-1) f_2(\nu).$$

Вероятности $C_{ij}(t)$ можно измерить многоканальным временным анализатором, как в эксперименте по методу Росси-а. В результате можно определить величины α , λ_{d_1} , λ_{d_2} , S , λ_f , λ_t и λ_c , если известны значения $\bar{\nu}$, $\bar{\nu}_2$, $\bar{\nu}(\bar{\nu}-1)$ и $\bar{\nu}_2(\bar{\nu}_2-1)$. Используя эти данные, можно вычислить эффективный коэффициент

$$\text{размножения на мгновенных нейтронах } K_p = \frac{\bar{\nu} \lambda_f + \bar{\nu}_2 \lambda_{d_2}}{\lambda_t}.$$

Если делящиеся изотопы в активной зоне и детекторе одинаковы, то $f(\nu) = f_2(\nu)$ и, следовательно,

$$\text{но, } K_p = \frac{\bar{\nu}(\lambda_f + \lambda_{d_2})}{\lambda_t} = K_{\text{эфф}}(1 - \beta_{\text{эфф}}); \quad A = \frac{\bar{\nu}(\bar{\nu}-1)}{\bar{\nu}} \times$$

$$\times \frac{K_{\text{эфф}}(1 - \beta_{\text{эфф}})}{2\alpha l}, \quad \text{где } K_{\text{эфф}} - \text{эффективный коэффициент}$$

размножения нейтронов; $\beta_{\text{эфф}}$ — эффективная доля запаздывающих нейтронов. Проводя измерения вероятностей (1) и (2) в критическом реакторе ($K_{\text{эфф}} = 1$), можно определить величину $\beta_{\text{эфф}}$. Предлагаемый метод расширяет область применения статистических методов, так как позволяет исследовать физические свойства сред, не размножающих нейтроны, а также измерять среднее число вторичных нейтронов ($\bar{\nu}_2$), возникающих при делении различных изотопов.

(№ 509/6024, Поступила в Редакцию 20/VIII 1970 г. Полный текст 0,55 а. л., 15 библиографических ссылок.)