

источника соответственно; λ — постоянная распада; A^0 — активность источника; $t_{\text{выд}}$, $t_{\text{обл}}$, $t_{\text{изм}}$ — время выдержки, облучения и измерения детектора соответственно; W^D , W^O — выход γ -квантов соответствующей энергии для детектора и источника; $f_{\text{ф}}^D$, $f_{\text{ф}}^O$ — коэффициенты, учитывающие вклад импульсов от характерных γ -квантов в общее число импульсов с амплитудой выше пороговой и зарегистрированной в «окне»; $f_{\text{сз}}^D$, $f_{\text{сз}}^O$ — коэффициенты самоэкранирования и рассеяния γ -квантов в детекторе и источнике соответственно; $\epsilon_{\text{ф}}^{DO}$ — отношение фотоэффективностей регистрации γ -квантов детектора и источника.

Измеренные активности A_i пороговых детекторов приведены в табл. 2.

Общая погрешность измерений абсолютной активности детекторов A_i составляет $\pm 4-6\%$, а для родиевых детекторов — $\pm 10\%$.

На основании измеренных значений активационных интегралов методом эффективных пороговых сечений в местах измерений были определены интегральные спектры нейтронов (рис. 2):

$$F_i(E_{i \text{эфф}}) = \int_{E_{i \text{эфф}}}^{\infty} \Phi(E) dE = \frac{A_i}{\sigma_{i \text{эфф}}}$$

Использованные при этом значения $\sigma_{i \text{эфф}}$ и $E_{i \text{эфф}}$ приведены в табл. 2. Соответствующие величины $\sigma_i(E)$ взяты из работ [1-7].

Погрешность измерения интегральных спектров нейтронов $F_i(E_{i \text{эфф}})$ составляет $\pm 15-25\%$ и складывается из погрешности измерения A_i и погрешности определения $\sigma_{i \text{эфф}}$ (10-15%).

Измеренный спектр быстрых нейтронов в активных зонах реакторов первого и второго блоков Ново-Воронежской АЭС практически совпадает со спектром деления (см. рис. 2). За тепловым экраном и корпусом реактора спектр нейтронов жестче, чем спектр деления.

Измерения, проведенные на номинальной мощности каждого реактора, показали, что использование калиброванных с высокой точностью источников МАГАТЭ увеличивает надежность результатов. Применение родия в качестве детектора значительно расширяет исследуемый интервал в наиболее интересной мягкой области энергий. Используемая методика измерения с детекторами и калиброванными источниками с близкими к детекторам характеристиками γ -излучения обеспечивает измерения абсолютной активности с ошибкой, не превышающей для отдельных детекторов $\pm 4\%$.

Поступило в Редакцию 10/VII 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Batler, D. Santri. Neutron Cross Section, 11, 803 (1968).
2. H. Menloxe et al. Phys. Rev., 163, 1308 (1967); 165, No. 4, 1298 (1968).
3. J. Tompson et al. Neutron Cross Section, 1, 206 (1968).
4. J. Batler, D. Santri. Canad. J. Phys., 41, 352 (1963).
5. J. Batler, D. Santri. Canad. J. Phys., 42, 1030 (1964).
6. I. Kando, Nakasimo. Neutron Cross Section, 1, 193 (1968).
7. А. А. Л а п е н а с и др. «Изв. АН Латв. ССР», № 4, 32 (1968).

Применение токовых камер деления в реакторах ВВЭР

С. С. ЛОМАКИН, Е. К. МАЛЫШЕВ, В. Г. БЕЛОЗЕРОВ, Л. И. ГОЛУБЕВ, В. П. КРУГЛОВ,
В. А. КОСТЮШИН, В. И. ПЕТРОВ, А. В. ШЕЛЕНИН

УДК 621.039.512.45

В целях контроля, управления и защиты реакторов во многих из них устанавливаются датчики, измеряющие локальные значения мощности или плотности нейтронов.

Существующие способы контроля распределения тепловых нейтронов или мощности довольно разнообразны [1-3]. Активационные методы дают хорошую точность, но, как правило, довольно громоздки и требуют значительного времени для обработки результатов. Так, в системе контроля с движущейся проволокой на реакторе фирмы «Янки атомик» (США) затрачива-

лось несколько часов на получение распределений тепловых нейтронов и коэффициентов неравномерности. В то же время современные пневмошариковые системы позволяют снимать распределение нейтронов в активной зоне за несколько минут.

Маловыгорающие электронноэмиссионные датчики (датчики прямой зарядки) легки, просты по конструкции и могут иметь практически любые размеры. Детекторы с родиевым эмиттером имеют некоторую инерционность, их показания устанавливаются через 5-6 мин. С другой стороны датчики этого типа с эмит-

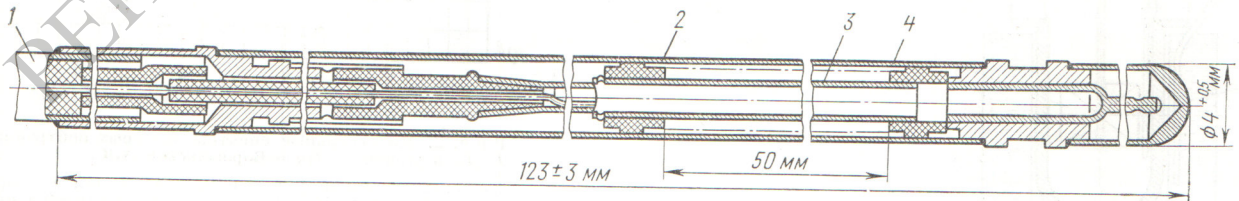
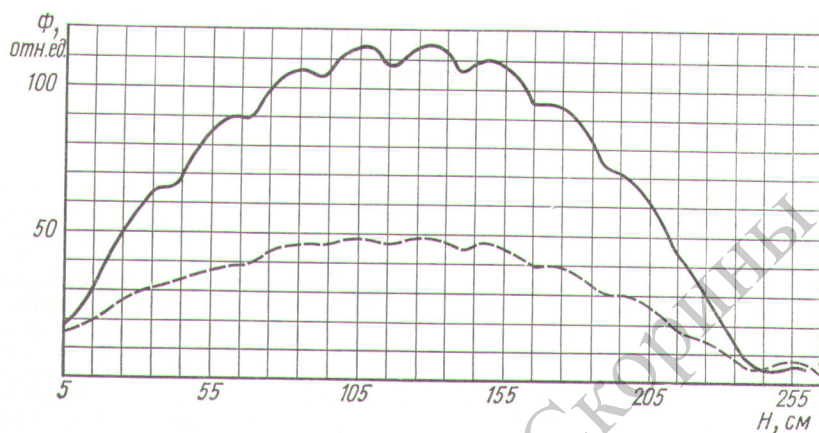


Рис. 1. Малогабаритная камера деления с U^{235} :

1 — кабель диаметром 3 мм; 2 — корпус диаметром 4 мм; 3 — электрод; 4 — радиатор активной длиной 50 мм.

Р и с. 2. Относительное распределение потоков тепловых нейтронов Φ в измерительных каналах, установленных в кассетах, с разным обогащением по U^{235} (H — расстояние от низа активной зоны).



тером из кобальта, гадолиния, кадмия и т. п. практически безынерционны.

В настоящее время на некоторых АЭС (США, ФРГ) успешно применяются малогабаритные ионизационные камеры деления (МИКД). Они практически безынерционны, просты и удобны в обращении, хотя промышленные образцы их довольно сильно выгорают за кампанию (15—30%). В последние годы у нас и за рубежом разработаны невыгорающие камеры деления, принцип работы которых основан на применении смеси радиоактивных изотопов [4, 5].

В данной работе приводятся характеристики камеры деления с U^{235} и результаты измерений потоков нейтронов на реакторе Ново-Воронежской АЭС. Конструкция камеры показана на рис. 1.

Электродная система образована двумя цилиндрами диаметром 2 и 4 мм. Второй цилиндр служит одновременно корпусом камеры. Покрытие из U^{235} с обогащением 90% наносится на внутреннюю поверхность корпуса плотностью $1,0 \text{ мг/см}^2$ электролитическим способом. Собирающий электрод укреплен на опорных изоляторах из чистой окиси алюминия; камера герметично соединена с термо- и радиационноустойчивым кабелем диаметром 3 мм длиной 22 м. Объем камеры отделяется от кабеля металлокерамическим изолятором из высокоглиноземистой керамики. Откачка и наполнение осуществляются через откачную трубу диаметром 2 мм, вваренную в нижний фланец. Все детали камеры, а также оболочка и токоведущая жила кабеля изготовлены из нержавеющей стали X18H9T.

Герметизация осуществляется с помощью аргодуговой сварки. Длина чувствительной части камеры составляет 50 мм. Камера заполнена смесью $Ar + 2\% N_2$ при давлении 2 атм. Конструкция камеры рассчитана на надежную работу при $300^\circ C$.

Измерения распределения потока тепловых нейтронов проводились в измерительных каналах реактора с внутренним диаметром 6 мм. Ток камеры измерялся миллиамперметром, который был соединен с самописцем Н-37. В качестве источника питания использовались высоковольтные батареи.

На рис. 2 изображено распределение потока тепловых нейтронов вдоль измерительных каналов, рас-

положенных в центре кассет с разным обогащением по U^{235} . Отчетливо видно «выедание» потока нейтронов в местах расположения дистанционирующих решеток.

Измерительная процедура состояла в протяжке камеры по каналу, фиксации ее через каждые 5 или 10 см и определении величины тока, соответствующего данному положению.

Определение чувствительности и линейности тока камеры проводилось по активности облученных золотых и кобальтовых фольг, с помощью которых измерялся абсолютный поток тепловых нейтронов. Чувствительность камеры в начальный период ее работы составляла $0,8 \cdot 10^{-16} \text{ а/нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$.

Как показали вольт-амперные характеристики камеры, область тока насыщения примерно 1—5 ма соответствует рабочему напряжению 400—500 в. Измерения тока камеры в зависимости от потока нейтронов показали, что в рабочем диапазоне ток камеры пропорционален потоку нейтронов.

Камера деления зарекомендовала себя как надежный и удобный датчик потока тепловых нейтронов в кратковременных измерениях. Она безынерционна и имеет высокую чувствительность.

Для непрерывных измерений можно применять камеру деления, использующую практически невыгорающую смесь радиоактивных изотопов. Токовая камера деления как детектор тепловых нейтронов может быть использована в системе контроля потока тепловых нейтронов на реакторах ВВЭР.

Поступило в Редакцию 10/VII 1970 г.
В окончательной редакции 14/X 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Forster. *Nucleonics*, 11, No. 2, 803 (1962).
2. J. Hilborn. *Nucleonics*, 22, No. 2, 69 (1964).
3. G. Porrer. *Power Reactor Technology*, 9, No. 1, 25 (1965—66).
4. А. Б. Дмитриев, А. С. Греков, Е. К. Малышев, «Атомная энергия», 22, 314 (1967).
5. Е. К. Малышев. «Приборы и техника эксперимента», № 5, 61 (1968).