



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»



Российский Федеральный Ядерный Центр
Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики
имени академика Е. И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»)

Эксперименты по исследованию температурного эффекта реактивности в плутониевых размножающих системах без отражателя

А.А. Вайвод, С.С. Бесов, А.А. Юдов

Выделение энергии при альфа-распаде изотопов плутония является причиной возмущения реактивности плутониевых РС при работе на “нулевой” мощности. Уменьшение реактивности РС при увеличении температуры происходит в результате увеличения утечки нейтронов вследствие увеличения геометрических размеров РС.

Цели и задачи исследования:

- оценить температурные коэффициенты реактивности плутониевых РС;
- экспериментально определить влияние температуры на критические параметры РС при работе на “нулевой” мощности;
- определить требования к постановке, проведению и описанию экспериментов с учетом температурного эффекта реактивности.

2 Постановка экспериментов



РОСАТОМ

Эксперименты с размножающими системами из плутония проводились стенде для критических сборок (СКС) с разбиением на верхнюю и нижнюю части.



Рисунок 1 – РС 395 на СКС в реакторном зале

2 Постановка экспериментов



Для определения скорости счета нейтронов утечки при различных значениях H между частями РС использовались всеволновые детекторы на основе счетчиков СММ-18. По полученным экспериментальным данным определялся критический зазор РС.

Для проведения корреляционных измерений использовались два сцинтилляционных пластиковых детектора. Корреляционным методом определялись корреляционные функции, по которым затем определялись постоянные спада α при различных значениях H .

Для регулирования температуры плутониевой РС применялась система воздушного охлаждения (СВО). Критические и корреляционные измерения проводились при различных установившихся температурах

Температура РС измерялась с помощью установленных в РС и на ее поверхности термопар.

Измерение скорости воздушного потока вблизи РС, при использовании СВО, производилось с помощью термо-анемометра testo 410-1 с погрешностью измерений $\pm 0,4$ м/с

2.1 Размножающая система сферической геометрии

Нижняя часть (неподвижная) сборки состояла из трёх деталей – полусферы и двух полушаров (рисунок 2). Верхняя часть состояла из ответной полусферы.



Рисунок 2 - Общий вид РС 395

2.2 Размножающая система цилиндрической геометрии

Цилиндрическая РС была собрана из 16 плутониевых дисков толщиной ~ 5 мм и диаметром ~ 120 мм, находящихся в герметичных чехлах из стали толщиной $\sim 0,2$ мм. Нижняя (4 диска) и верхняя (12 дисков) части были разделены зазором Н.



Рисунок 3 - Общий вид РС 366

3 Результаты измерений критического зазора РС 395 при разнице в температурах ~ 31 °C



Зазор, соответствующий критическому на запаздывающих нейтронах состоянию был определен экстраполяцией к нулю зависимости обратного коэффициента умножения от зазора $\frac{1}{Q}$ (H) при $Q \sim 100..500$, определенной по МНК.

Таблица 1 – Результаты измерения критического зазора

| | | $T_1=31\pm 5$ °C | $T_2=62\pm 5$ °C |
|-----------------------------------|-----|---------------------------|------------------|
| | | $\Delta T = 31,0\pm 1$ °C | |
| $H_{кр}$, мм (2σ) | ЧК1 | $0,41\pm 0,06$ | $0,18\pm 0,06$ |
| | ЧК2 | $0,41\pm 0,06$ | $0,18\pm 0,06$ |

4 Оценка температурных коэффициентов реактивности РС по экспериментальным данным



Было применено 3 способа оценки $\frac{\partial \rho}{\partial T}$ по экспериментальным данным:

- по изменению критического зазора РС:

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} = -\frac{\partial \rho}{\partial H} \cdot \frac{\partial H_{кр}}{\partial T} \approx -\frac{\partial \rho}{\partial H} \cdot \frac{(H_{крT_2} - H_{крT_1})}{\Delta T}, \quad (1)$$

- по изменению постоянной спада α при фиксированном зазоре Н между частями РС:

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} = \frac{\beta_{эф}}{\alpha_R} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial T} \approx \frac{\beta_{эф}}{\alpha_R} \cdot \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)}{\Delta T}, \quad (2)$$

- по изменению коэффициента умножения Q при фиксированном зазоре Н между частями РС:

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} = \left[\frac{\partial \rho}{\partial H} / \frac{\partial (Q-1)^{-1}}{\partial H} \right] \cdot \frac{\partial Q}{\partial T} \approx \left[\frac{\partial \rho}{\partial H} / \frac{\partial (Q-1)^{-1}}{\partial H} \right] \cdot \frac{(Q_{T_2}^{-1} - Q_{T_1}^{-1})}{\Delta T}. \quad (3)$$

ТКР РС366 был оценен с применением метода Монте-Карло (использовалась программа ПРИЗМА).

Вблизи критического состояния ТКР выражается формулой:

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} \approx \alpha_L \cdot \vartheta, \quad (4)$$

где $\vartheta = \frac{\partial K_{эф}}{\partial(\delta R = \delta H)}$ (для цилиндрической РС, $\delta H = \delta R = \alpha_L \cdot \Delta T$) - коэффициент чувствительности $K_{эф}$ модели РС к одновременным относительным изменениям её размеров, α_L - коэффициент линейного теплового расширения материала АЗ, ΔT – величина изменения температуры РС.

Использовалась упрощенная модель РС – сплошной цилиндр из α -плутония высотой $H_0 = 6,07$ см и радиусом $R_0 = 6,0$ см. Коэффициенты чувствительности вычислялись с использованием программы ПРИЗМА.

Таблица 2 – Результаты оценки ТКР

| | | Способ 1 | Способ 2 | Способ 3 | Расчет по упрощенной модели |
|-------------------|-----|--|---|--|--|
| Сферическая РС | ЧК1 | $-0,018 \pm 0,007 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,018 \pm 0,001 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,018 \pm 0,003 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | |
| | ЧК2 | $-0,018 \pm 0,007 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,018 \pm 0,001 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,019 \pm 0,003 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | |
| Цилиндрическая РС | ЧК1 | - | $-0,030 \pm 0,004 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,036 \pm 0,007 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,050 \pm 0,005 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) |
| | ЧК2 | - | $-0,030 \pm 0,004 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,037 \pm 0,007 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) | $-0,039 \pm 0,004 \frac{\beta_{эф}}{^{\circ}\text{C}}$ (2σ) (в предположении, что уменьшение реактивности происходит только из-за расширения по радиусу) |

1 По экспериментальным данным определены температурные коэффициенты реактивности компактных плутониевых систем при работе на «нулевой мощности». Значения, полученные для РС несколькими способами, неразличимы в пределах погрешности.

2 Экспериментально определена величина влияния температуры на критические параметры РС при работе на “нулевой” мощности: различие критических зазоров РС 395 при разнице в температурах в 31 °С составило ~ 0,23 мм при погрешности измерения критического зазора 0,06 мм (2σ).

3 При составлении описаний бенчмарк-экспериментов необходимо указывать температуру, при которой измерялись размеры деталей размножающей системы и температуру, при которой определялся критический зазор РС. Определение критического зазора при стабилизированном температурном режиме работы, при котором температура РС будет близка к температуре, при которой измерялись размеры деталей, позволит уменьшить неопределенность, связанную с незнанием размеров деталей во время проведения экспериментов.



Спасибо за внимание!