

чески отсутствуют радиоактивные продукты деления и продукты коррозии основных компонентов конструкционных материалов. Радиоактивность теплоносителя обусловлена активацией натрия, его примесей и избирательным выходом из стали в натрий серебра, цинка, сурьмы.

Поступило в Редакцию 31/I 1972 г.

Реактор с эксцентрично расположенной активной зоной

Л. А. МАРЦЫМОВА, Б. З. ТОРЛИН

УДК 621.039.51

При разработке проекта реконструкции экспериментального тяжеловодного реактора ИТЭФ активная зона была размещена эксцентрично относительно тяжеловодного бака (рис. 1). Такое решение обеспечивает существенное снижение фона быстрых нейтронов и γ -квантов в уже имевшихся экспериментальных каналах. Возникла необходимость оценить эффект перекоса нейтронного поля в связи с тем, что толщина тяжеловодного отражателя, окружающего активную зону реактора, оказалась переменной по азимуту. Так как при этом отражатель оставался все-таки достаточно толстым, перекося поля в активной зоне был незначительным. Наибольший интерес представлял перекося «всплеска» потока тепловых нейтронов в отражателе.

Для описания поля нейтронов в отражателе использовалось двухгрупповое диффузионное приближение. Учитывая однородность свойств среды по высоте обеих зон реактора, высотную зависимость потоков нейтронов можно считать пропорциональной $\sin(\alpha_2 z)$.

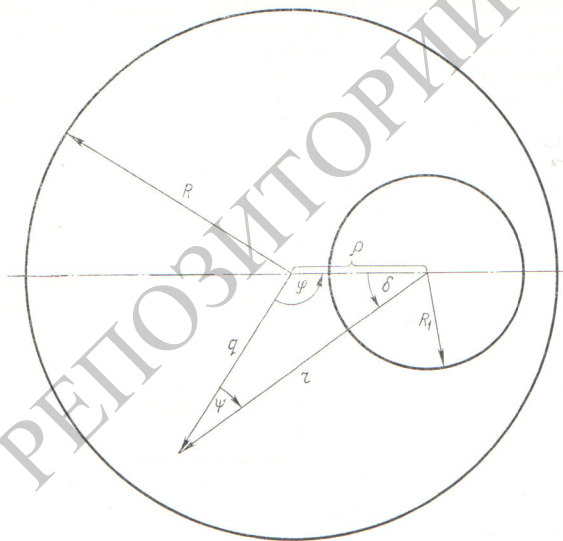


Рис. 1. Размещение активной зоны реактора ИТЭФ в тяжеловодном баке (по проекту реконструкции):

(q, φ) и (r, δ) — соответственно цилиндрические координаты произвольной точки отражателя относительно центра бака и центра активной зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Поляков, Ю. В. Четкин. «Атомная энергия», 31, вып. 2, 139 (1971).
2. А. И. Лейпунский и др. Препринт ФЭИ-187 (1969).
3. А. И. Лейпунский и др. «Атомная энергия», 23, вып. 6, 503 (1967).

Азимутально-радиальную зависимость потоков соответственно тепловых и замедляющихся нейтронов представим в виде

$$N(r, \delta) = \sum_{-\infty}^{\infty} N_k(r) e^{ik\delta};$$

$$n(r, \delta) = \sum_{-\infty}^{\infty} n_k(r) e^{ik\delta}$$

(приняты здесь обозначения геометрических величин показаны на рис. 1, а другие обозначения взяты из книги А. Д. Галанина [1]).

Введем в рассмотрение векторы $N(r)$ и $n(r)$, компонентами которых являются угловые гармоники плотностей соответственно тепловых и замедляющихся нейтронов $N_k(r)$ и $n_k(r)$. Тогда, рассматривая активную зону как размножающий и поглощающий нейтроны блок, можем заменить его граничными условиями вида

$$N'(R_1) = \hat{\lambda}N(R_1) + \hat{v}n(R_1);$$

$$n'(R_1) = \hat{\lambda}n(R_1) + \hat{v}N(R_1),$$

где $\hat{\lambda}$, \hat{v} , $\hat{\lambda}$ и \hat{v} — диагональные матрицы, элементы которых весьма просто могут быть выражены через двухгрупповые параметры активной зоны. На внешней поверхности реактора

$$N(R) = n(R) = 0.$$

В этом случае можно воспользоваться матричным гетерогенным уравнением А. Д. Галанина [2]

$$\hat{M}N(R_1) = N(R_1), \quad (1)$$

где \hat{M} — матрица, элементы которой могут быть выражены через параметры отражателя и эксцентриситет активной зоны с использованием указанных граничных условий. Процедура вычисления матричных элементов описана в книге [2].

Уравнение (1) позволяет найти условие критичности системы и перекося потока нейтронов на границе активной зоны и отражателя. Это уравнение решалось методом теории возмущения. Решение сравнивалось с точным решением, полученным численным методом. В качестве невозмущенной системы принималась система с бесконечным отражателем. В этом случае все недиагональные члены матрицы \hat{M} становятся нулями и решением уравнения

$$\hat{M}^{(0)}N^{(0)} = N^{(0)}$$

Физические характеристики реактора Таблица 1

Параметр *	Активная зона	Отражатель
k_{∞}	1,8156	0
L^2	37,0	3055
τ	190	141
w	0,389	0
δ	0,890	1
L_s	3,21	3,22
\bar{L}_s	3,66	4,26

* Здесь k_{∞} — коэффициент размножения; L^2 — квадрат длины диффузии; τ — квадрат длины замедления; L_s, \bar{L}_s — длины рассеяния для тепловых и надтепловых нейтронов; w и δ — соответственно поглощение и размножение нейтронов при замедлении.

является вектор $N^{(0)}$, который имеет только одну отличную от нуля нулевую компоненту N_0 . В первом приближении теории возмущения для компонентов вектора $N^{(1)}$ получим следующее выражение:

$$N_i^{(1)}/N_0 = M_{i0}/(1 - M_{ii}^{(0)}).$$

Для численного решения уравнения (1) была написана на «Алголе» и отлажена на ЭВМ М-220 программа ЭКСЦЕНТ. После решения уравнения (1), т. е. определения критического радиуса R_1 активной зоны и вектора N (R_1) амплитуд угловых гармоник потока тепловых нейтронов на границе активной зоны, программа ЭКСЦЕНТ позволяет вычислить распределение теплового потока в отражателе.

Вычисления проводились для системы с физическими параметрами, приведенными в табл. 1, и указанными ниже геометрическими размерами:

- Радиус бака R 100 см
- Радиус активной зоны R_1 (определяется из условия критичности) 22 см
- Расстояние между центром бака и центром активной зоны ρ 35 см
- Осевой лапласиан α^2 $6,85 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-2}$

Из табл. 2 видно соответствие значений амплитуд угловых гармоник на границе

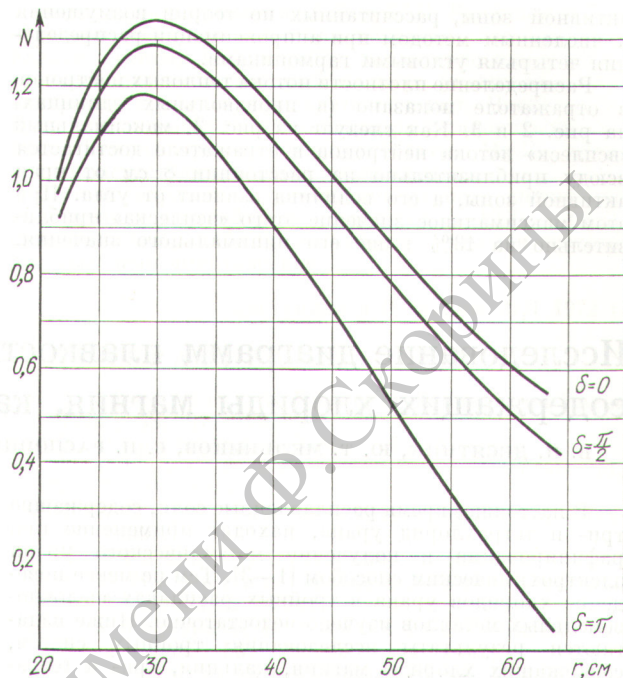


Рис. 2. Относительное распределение плотности потока нейтронов в отражателе как функция расстояния от центра активной зоны вдоль различных направлений (δ).

Некоторые результаты расчетов Таблица 2

Угловые гармоник потока на границе активной зоны	Теория возмущения	Программа ЭКСЦЕНТ
N_1	0,0205	0,0228
N_2	-0,0025	-0,0028
N_3	—	0,00025

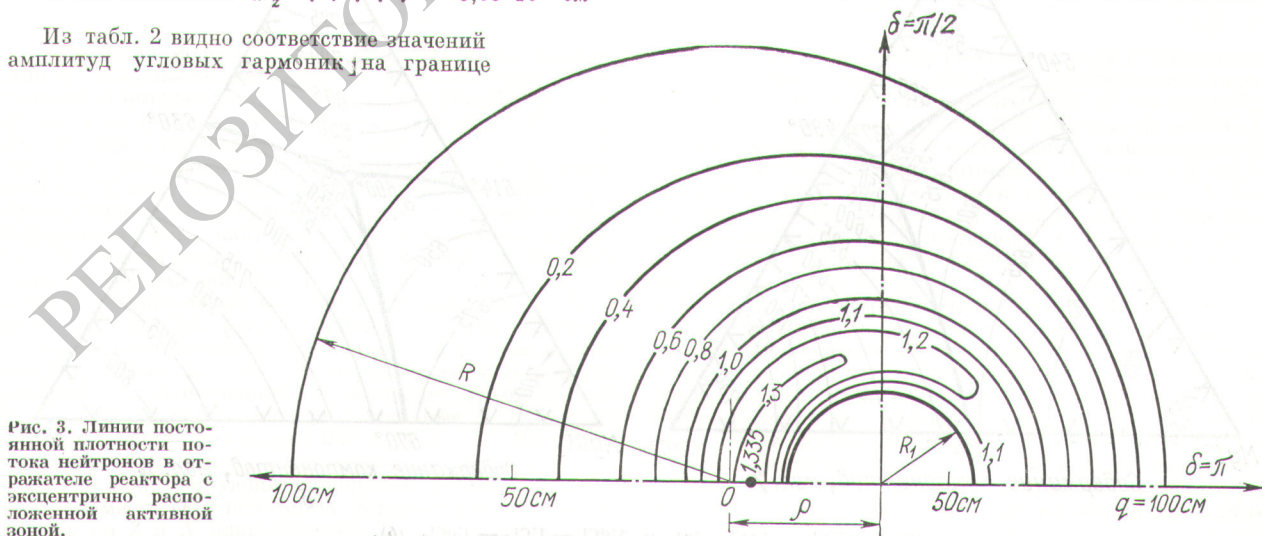


Рис. 3. Линии постоянной плотности потока нейтронов в отражателе реактора с эксцентрично расположенной активной зоной.

активной зоны, рассчитанных по теории возмущения и численным методом при аппроксимации распределения четырьмя угловыми гармониками.

Распределение плотности потока тепловых нейтронов в отражателе показано (в произвольных единицах) на рис. 2 и 3. Как следует из рис. 2, максимальный «всплеск» потока нейтронов в отражателе достигается всюду приблизительно на расстоянии 8 см от края активной зоны, а его величина зависит от угла. При этом максимальное значение этого «всплеска» приблизительно на 13% выше его минимального значения.

Авторы глубоко признательны А. Д. Галанину за ценные советы и постоянный интерес к работе.

Поступило в Редакцию 15/XI 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Г а л а н и н. Теория ядерных реакторов на тепловых нейтронах. М., Атомиздат, 1959.
2. А. Д. Г а л а н и н. Теория гетерогенного реактора. М., Атомиздат, 1971.

Исследование диаграмм плавкости тройных систем, содержащих хлориды магния, кальция три- и тетрахлорид урана

В. Н. ДЕСЯТНИК, Ю. Т. МЕЛЬНИКОВ, С. П. РАСПОПИН, И. И. ТРИФОНОВ

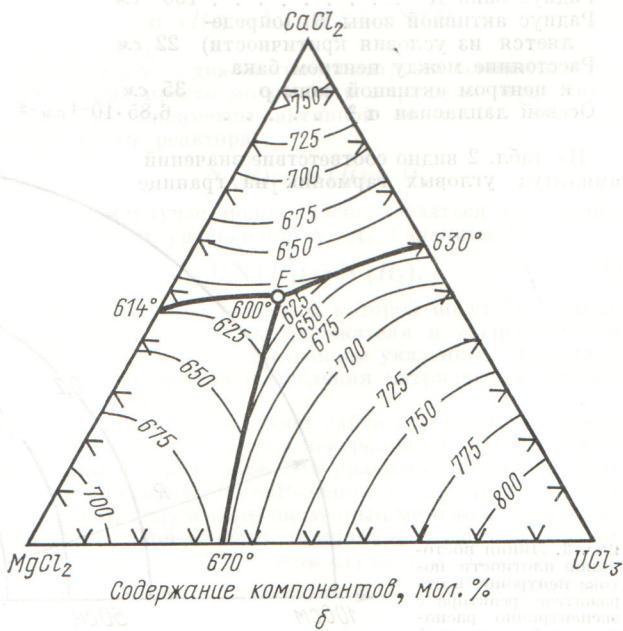
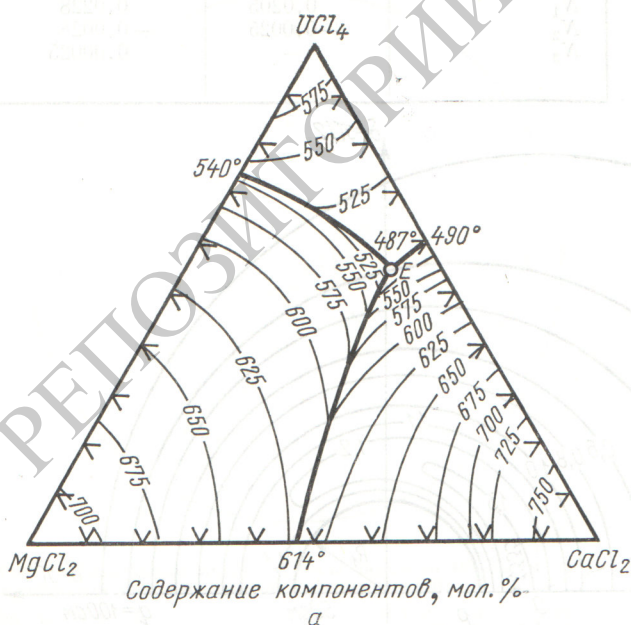
УДК 546.791.6

В настоящее время расплавленные соли, содержащие три- и тетрахлорид урана, находят применение при рафинировании и получении металлического урана электрохимическим способом [1—3]. Тем не менее поведение хлоридов урана в тройных расплавах щелочноземельных металлов изучено недостаточно. Ниже излагаются результаты исследования тройных систем, содержащих хлориды магния, кальция, три- и тетрахлорид урана.

Исследование проводили дифференциально-термическим методом [4—5] с использованием рентгеновского анализа. Хлориды щелочноземельных металлов марки ч. д. а. готовили по известной методике [6]. Тетрахлорид урана получали из свежеприготовленной UO_2 [7]. Для приготовления трихлорида урана брали ранее приготовленный тетрахлорид и восстанавливали в токе водорода по реакции $UCl_4 + 0,5H_2 \rightarrow UCl_3 + HCl$.

После восстановления полученный трихлорид урана вакуумировали при $850^\circ C$ в течение 3 ч. Приготовленные таким образом исходные вещества имели следующие температуры плавления: $MgCl_2$ $716 \pm 2^\circ C$; $CaCl_2$ $780 \pm 2^\circ C$; UCl_4 $590 \pm 2^\circ C$; UCl_3 $835 \pm 2^\circ C$. Эти значения хорошо согласуются с ранее опубликованными [8]. Атомное отношение хлора к урану (IV, III) для хлоридов урана соответственно равнялось 4,01 и 3,02. Полученные хлориды вследствие их высокой гигроскопичности хранились в сухой камере.

Для проведения дифференциально-термического анализа готовили навеску, которую загружали в тигель из нитрида бора, помещенный в кварцевую пробирку, плотно закрытую резиновой пробкой. Ячейку вакуумировали, заполняли очищенным аргоном, затем навеску сплавляли. Расплав выдерживали в течение 1 ч для полной гомогенизации, после чего охлаждали со ско-



Диаграммы плавкости систем $MgCl_2 - UCl_4 - CaCl_2$ (а) и $MgCl_2 - UCl_3 - CaCl_2$ (б).