

УДК 621.039.51.131

# О стационарном режиме работы ядерного реактора с газообразным циркулирующим горючим

ГРЕБЕНЩИКОВ С. В., ДЕНИСОВ В. А.

Приводится методика расчета стационарного режима работы реактора с циркулирующим горючим (РЦГ) в одногрупповом диффузионном приближении. Математическая модель активной зоны с учетом одной группы запаздывающих нейтронов описывается системой уравнений [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{v} \frac{\partial \Phi}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + [(1-\beta) v_f \Sigma_f(\rho) - \\ &\quad - \Sigma_a(\rho)] \Phi + \lambda C; \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (wC) + \lambda C &= \beta v_f \Sigma_f(\rho) \Phi; \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho w) &= 0; \\ \frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial P}{\partial t} + w \frac{\partial P}{\partial x} + \kappa P \frac{\partial w}{\partial x} &= (\kappa - 1) q S \rho \Phi; \\ P &= R \rho T; \quad 0 \leq x \leq H. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Сечение деления  $\Sigma_f$  и поглощения  $\Sigma_a$  зависят от плотности газа следующим образом:  $\Sigma_f = a\rho$ ;  $\Sigma_a = \Sigma_a^0 + \Sigma_{af}(\rho) = b + d\rho$ ;  $a, b, d = \text{const}$ . Здесь  $\Sigma_a^0 = b$  — сечение поглощения неактивных элементов, которое в дальнейшем считается постоянным по высоте активной зоны, что соответствует равномерному выводу регулирующих стержней из активной зоны.

Систему стационарных уравнений, которая получается из уравнений (1), приведем к безразмерному

виду и выделим, в частности, следующие параметры и переменные:

$$\alpha_1 = \frac{D}{v_f \Sigma_f(\rho_{bx}) H^2}; \quad \vartheta = \frac{\Sigma_{af}(\rho_{bx})}{\Sigma_a(\rho_{bx})}; \quad M = \frac{w_{bx}}{c_{bx}},$$

$$\tilde{N} = \frac{(\kappa-1)q}{P_{bx} c_{bx}} \int_0^H \Phi \rho_0 dx; \quad \tilde{\Phi} = \frac{(\kappa-1) \Phi_0 H q \rho_{bx}}{w_{bx} P_{bx}}; \quad \xi = \frac{x}{H},$$

которые характеризуют соответственно размеры реактора, коэффициент использования тепловых нейтронов, или, другими словами, положение регулирующих стержней, число Маха на выходе в активную зону, стационарную мощность реактора, поток нейронов. В качестве граничных условий принято равенство нулю нейтронного потока на границе активной зоны и излучателей запаздывающих нейтронов на входе в активную зону. Полученная нелинейная краевая задача сводится методом «стрельбы» к определению абсолютного минимума некоторой функции, который находится методом наискорейшего спуска [3].

Некоторые результаты расчетов приведены на рисунках. На рис. 1 показана пространственная форма потока мгновенных нейтронов при нескольких зна-

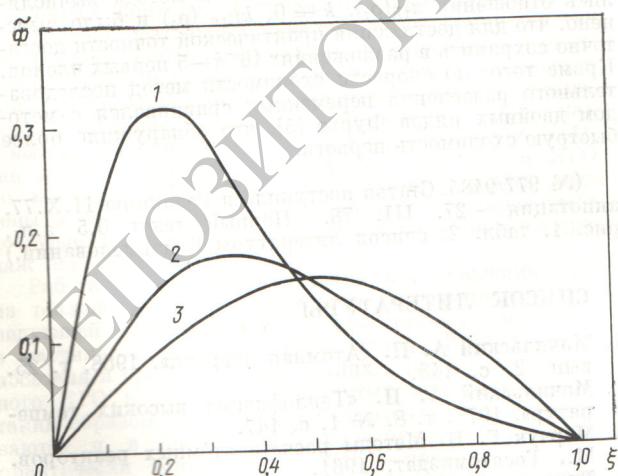


Рис. 1. Зависимость пространственного распределения потока мгновенных нейтронов от размеров реактора для РЦГ постоянной мощности при  $\alpha_1 = 4 \cdot 10^{-4}$  (1);  $4 \cdot 10^{-3}$  (2) и  $4 \cdot 10^{-2}$  (3)

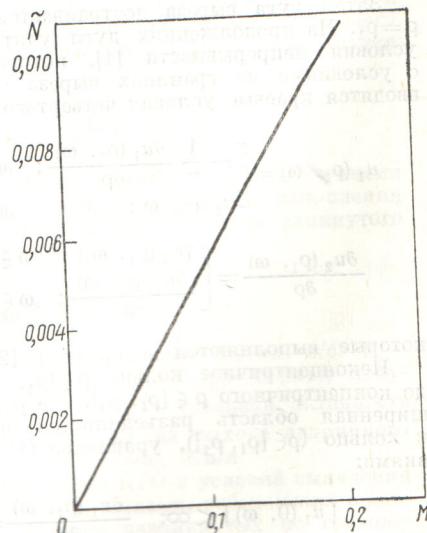


Рис. 2. Зависимость изменения стационарной мощности РЦГ от скорости циркуляции горючего

чениях параметра  $\alpha_1$ , который характеризует размеры реактора. Стационарная мощность реактора для всех случаев одинакова. Как видно из рис. 1, при  $\alpha_1 > 10^{-3}$  форма нейтронного поля практически синусоидальная, и в этом случае для некоторых расчетов можно использовать «точечное» приближение в описании кинетики нейтронов. Для реакторов больших размеров ( $\alpha_1 < 10^{-3}$ ) форма нейтронного поля существенно отличается от синусоидальной и такое упрощение неправомерно. На рис. 2 приведена зависимость стационарной мощности реактора от скорости циркуляции горючего при неизменном положении регулирующих стержней ( $\theta = \text{const}$ ). Как видно из рис. 2, эта зависимость практически линейна, что может представить

определенный интерес при решении проблемы регулирования мощности РЦГ.

(№ 978/9533. Статья поступила в Редакцию 23. XI. 77, аннотация — 16. III. 78. Полный текст 0,5 а. л., рис. 3, список литературы 7 наименований.)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мегрибlian P., Холмс Д. Теория реакторов. Пер. с англ. Под ред. П. А. Гаврилова. М., Госатомиздат, 1962.
2. Динамика и управление ядерным ракетным двигателем. Под ред. Б. Н. Петрова, М., Атомиздат, 1974.
3. Бахвалов Н. С. Численные методы. Т. 1. М., «Наука», 1973.

УДК 621.039.54

## Влияние дефектов контактного слоя на работоспособность оболочки

ЛИХАЧЕВ Ю. И., ЩЕРБАКОВА Ж. Н., РУМЯНЦЕВ В. Н., ЛЕВЧЕНКО В. Н.

Исследовано влияние дефектов контактного слоя в виде газового пузыря на работоспособность оболочки стержневых твэлов. Приведены методики и результаты расчетов температурных полей и напряженно-деформированного состояния оболочки твэла с дефектами в контактном слое. Задача определения температурных полей решалась численно с применением метода неполной факторизации с учетом системы уравнений для двумерного температурного поля и задания на поверх-

ности твэла граничных условий третьего рода (рис. 1). Напряженно-деформированное состояние оболочки определено численным методом на ЭВМ М-200 при помощи последовательных приближений из аналитического решения полной системы уравнений оболочки для одного приближения (рис. 2).

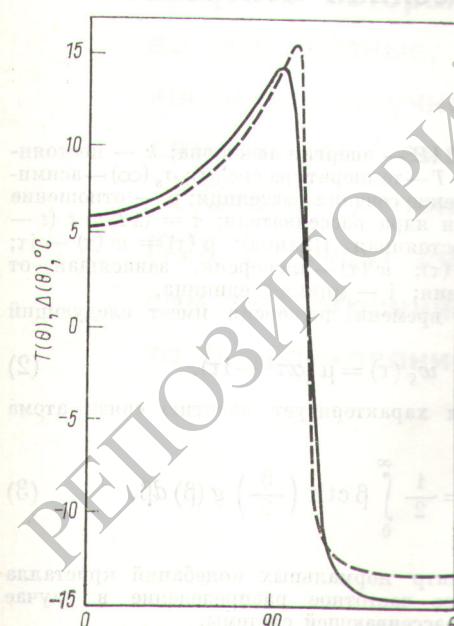


Рис. 1. Распределение отклонения от средней интегральной температуры, средней линии оболочки (—) и отклонения от среднего интегрального перепада по толщине (— — —) по окружной координате  $\theta$

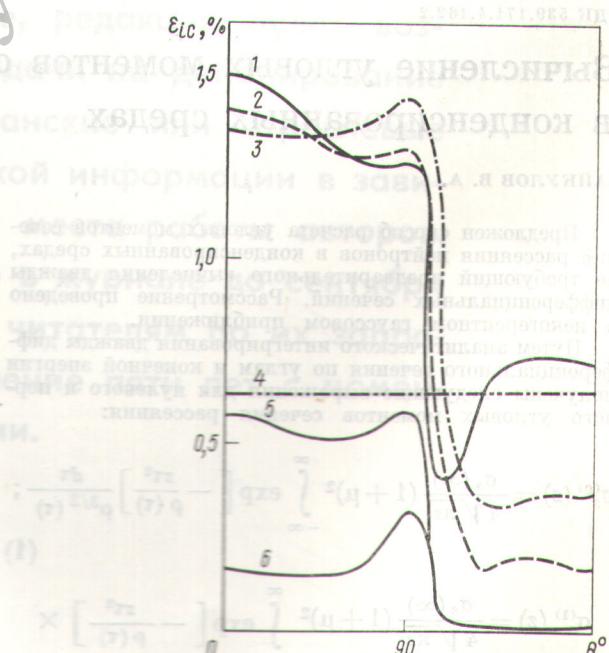


Рис. 2. Распределение неупругих накопленных деформаций на внутренней поверхности по периметру оболочки:

— появление дефекта через 1000 ч работы твэла; — — — через 5000 ч; — · — — через 7000 ч; — · · · — бездефектный случай; 1 — 4; 5 и 6 — распределения на момент времени работы твэла, равный 10 000, 7000 и 5000 ч соответственно