

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 612.039.524.46.034

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ТЯЖЕЛОВОДНЫХ РЕАКТОРАХ

Страхов Э.Б., Воробьев В.Н., Смирнов О.А. (ГНЦ РФ — ИТЭФ)

Результаты оценки влияния продувки на концентрацию ^3He и соответственно трития в тяжеловодном теплоносителе (замедлителе), на наш взгляд, требуют более подробного рассмотрения*.

Как было показано в предыдущей публикации, при полном сохранении гелия в тяжелой воде решение системы из двух линейных уравнений, описывающих накопление трития в реакторных условиях, имеет вид

$$N_T = \frac{\sigma_D N_D F \lambda}{(\sigma_{He} F + \lambda)^2} [1 - \exp(-(\sigma_{He} F + \lambda) t)] + \frac{\sigma_D N_D F \sigma_{He} F t}{\sigma_{He} F + \lambda}. \quad (1)$$

Для случая отбора гелия получаем систему из двух линейных уравнений первого порядка, описывающих накопление трития и гелия в тяжелой воде:

$$\begin{aligned} \frac{dN_T}{dt} &= -\lambda N_T + \sigma_D F N_D + \alpha \sigma_{He} F N_{He}; \\ \frac{dN_{He}}{dt} &= -\alpha \sigma_{He} F N_{He} + \lambda N_T, \end{aligned}$$

где N_D , N_T , N_{He} — концентрация дейтерия, трития и гелия в тяжеловодном теплоносителе ат./см³; λ — постоянная распада трития, с⁻¹; σ_D , σ_{He} — сечения захвата тепловых нейтронов атомами дейтерия и гелия, см²; F — плотность потока нейтронов, с⁻¹·см⁻²; αN_{He} — текущая концентрация гелия в тяжелой воде в условиях отбора гелия, выраженная как часть концентрации в безотборном режиме N_{He} с помощью коэффициента α , учитывающего влияние продувки.

Решение этой системы приводит к следующей зависимости накопления трития в тяжелой воде с учетом удаления гелия при продувке:

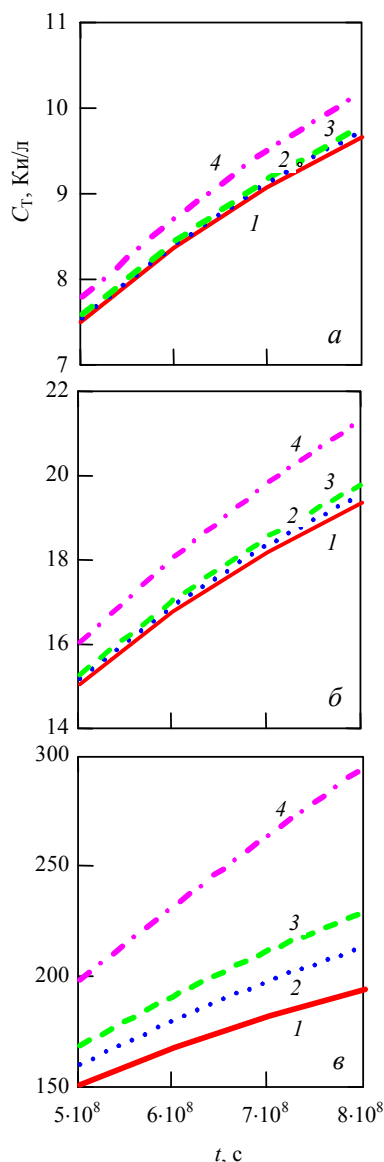
$$N_T = \frac{\sigma_D N_D F \lambda}{(\sigma_{He} \alpha F + \lambda)^2} [1 - \exp(-(\sigma_{He} \alpha F + \lambda) t)] + \frac{\sigma_D N_D F \sigma_{He} \alpha F t}{\sigma_{He} \alpha F + \lambda}. \quad (2)$$

Очевидно, что в безотборном режиме (доля замедлителя, поступающего на очистку, $\beta = 0$, $\alpha = 1$) эта зависимость превращается в зависимость (1). В условиях полного удаления гелия ($\beta = 1$, $\alpha = 0$) получим

$$N_T = \frac{\sigma_D N_D F}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda t)].$$

Как следует из решения уравнения, описывающего влияние продувки на концентрацию гелия в контурной воде, в случае отборного режима α не является постоянной величиной, а зависит от β и t следующим образом:

*Страхов Э.Б., Воробьев В.Н., Смирнов О.А. Влияние продувки на концентрацию трития в тяжеловодном теплоносителе ядерного реактора. — Атомная энергия, 2004, т. 97, вып. 2, с. 159—160.



Влияние продувки на концентрацию трития при плотности потока нейтронов $1,25 \cdot 10^{13}$ (а), $2,5 \cdot 10^{13}$ (б), $2,5 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ (в): 1 — полное удаление гелия; 2—4 — продувка 1, 0,5, 0,1% соответственно

$$\alpha = \frac{1}{\beta t} [1 - \exp(-\beta t)].$$

С учетом этого зависимость (2) принимает окончательный вид:

$$N_T = \frac{\sigma_D N_D F \lambda}{\{[(1 - \exp(-\beta t)) \sigma_{He} F / \beta t] + \lambda\}^2} \times \\ \times [1 - \exp(-\{[(1 - \exp(-\beta t)) \sigma_{He} F / \beta t] + \lambda\} t) + \\ + \frac{\sigma_D N_D (1 - \exp(-\beta t)) \sigma_{He} F t / \beta t}{[(1 - \exp(-\beta t)) \sigma_{He} F / \beta t] + \lambda}. \quad (3)$$

На рисунке приведены результаты расчетов N_T с использованием зависимости (3) для трех значений продувки: $2,78 \cdot 10^{-7}$, $1,39 \cdot 10^{-6}$ и $2,78 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ (0,1, 0,5 и 1% объема контура теплоносителя) и трех реальных значений плотности нейтронного потока при соотношении объема активной зоны и объема всего первого контура 0,25 и номинальной плотности нейтронного потока $5 \cdot 10^{13}$, 10^{14} и $10^{15} \text{ c}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. Как следует из полученных данных, уже при продувке ~1% влияние гелия на накопление трития в тяжелой воде несущественно для всех трех рассмотренных значений плотности нейтронного потока. К концу 30-летнего срока эксплуатации тяжеловодного реактора разница в концентрации трития между гипотетическим случаем полного удаления гелия из тяжелой воды и его удалением с 1%-ной продувкой составит 0,6, 1,2 и 11,2% для плотности нейтронного потока $1,25 \cdot 10^{13}$, $2,5 \cdot 10^{13}$ и $2,5 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ соответственно. Вследствие столь малых различий (0,6 и 1,2%) кривые 1—3 (см. рисунок а, б) малоразличимы.

Поступило в Редакцию 13.04.05

УДК 537.533.33 + 621.384.60-833

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ИОНОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Кобец В.В., Сидорин А.О. (ОИЯИ)

Линейные ускорители на основе коаксиальных четвертьволновых резонаторов, нагруженных емкостью, давно и успешно используются для получения сильноточных электронных пучков энергией несколько МэВ. Как правило, это ускорители прямого действия, в которых электронный пучок включается вблизи максимума электрического ВЧ-поля в зазоре и выполняется условие, согласно которому время его пролета через ускоряющий зазор намного меньше длительности плоской части вершины ускоряющего поля. Это условие определяет диапазон рабочей частоты таких ускорителей от единиц до 15—20 МГц. Соответственно и размеры резонаторов таких ускорителей составляют несколько метров. При ускорении ионов в таком режиме длина волны ускоряющего поля должна быть в не-