

Фізичні основи реактора на повільній хвилі ядерного горіння

О.М. Хотяїнцева¹, В.М. Павлович², В.Д. Русов³, В.М. Хотяїнцев⁴.

^{1,2}Інститут ядерних досліджень,

³Одеський національний політехнічний університет,

⁴Київський університет.

Реактор Феоктістова (РФ), що базується на виникненні хвилі повільного ядерного горіння (ХПЯГ) у сировинних матеріалах ^{232}Th або ^{238}U , не має ряду принципових недоліків існуючих ядерних реакторів. Мета цієї роботи — прояснити фізику процесів у стаціонарній ХПЯГ, без чого важко створювати обґрунтовані кількісні моделі.

Базова модель ХПЯГ включає в себе: 1) «паливо» ^{238}U , проміжний нуклід ^{239}Np і ефективний нуклід Pu , що ділиться; 2) дифузія, поглинання (захоплення) і виробництво нейтронів, що враховуються в одноруповому наближенні; 3) незалежний від паливного ланцюжка перетворень поглинач нейтронів, що забезпечує можливість регулювати швидкість хвилі. Розширена модель враховує поглинання нейтронів продуктами поділу і чотири ізотопа Pu .

Одержано рівняння дифузії для флюенса з функцією джерела G («функцією генерації флюенса»), що є лінійною функцією концентрацій ядер паливного ланцюжка і поглинача.

Оцінки швидкості хвилі для прийнятної густини енерговиділення дають значення біля 3 см/год. Якщо довжина дифузії нейтронів біля 10 см, то характерний час проходження хвилі L/V близько 3 років. Для такої хвилі можна знехтувати β -розпадами всіх нуклідів, за винятком ^{239}Np (час β -розпаду $\tau_{\beta} \approx 3,5$ діб). Можна також шукати всі концентрації ядер у вигляді розкладів по степенях малого параметра $w = \tau_{\beta} \cdot V / L$. Члени нульового порядку для концентрацій знаходяться аналітично як функції безрозмірного флюенса ψ , що приводить до нелінійного рівняння стаціонарної дифузії для $\psi(z)$ виду $\Delta \psi = -G(\psi)$, де $z = (x + V \cdot t) / L$, а G є s -подібною функцією ψ . Таким чином, фазові траєкторії легко знаходяться аналітично, і повний якісний аналіз ХПЯГ може бути виконаний.

Показано, що стаціонарні процеси істотно відрізняються у РФ і РШН, хоча як фізичні системи вони мають багато спільного. 1. Стаціонарну ХПЯГ визначають дві загальні балансні умови на відміну від однієї умови критичності для РШН. По-перше, повний баланс нейтронів після проходження хвилі має бути нульовим: $G(\psi_f) = 0$, де ψ_f — кінцеве значення флюенса. По-друге, площа під кривою $G(\psi) = 0$ має дорівнювати нулю. 2. В РФ значення ψ , що досягаються, істотно більші, ніж в РШН, перетворення палива заходить глибше, і значення багатьох процесів змінюється.