

В. М. Хотяїнцев^{1*}, В. І. Гулік², О. М. Хотяїнцева³, А. В. Аксьонов¹, В. М. Павлович³

¹ Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

² Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

³ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: vkhot@univ.kiev.ua

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНОЇ ХВИЛІ ЯДЕРНИХ ПОДІЛІВ МОНТЕ-КАРЛО КОДОМ SERPENT

У роботі режим стаціонарної хвилі ядерних поділів моделювався для ряду фіксованих значень потужності за допомогою Монте-Карло коду Serpent. Хвиля поширювалась у напрямку осі циліндричної активної зони реактора на швидких нейтронах із паливом на основі чистого ^{238}U довжиною 5 м. Режим стаціонарної хвилі встановлювався через деякий час після ініціалізації хвилі в зоні запалу і тривав достатньо довго, щоб з високою точністю визначити $k_{\text{эф}}$. Раніше нами було показано в межах одноступового дифузійного опису, що швидкісна характеристика реактора на хвилі ядерних поділів є двозначною, причому негативний температурний зв'язок впливає на неї лише кількісно за типових значень параметрів. Вигляд і параметри швидкісної характеристики є критично важливими для правильного вибору реалістичного дизайну реактора, оскільки стани нижньої гілки є нестійкими і не відповідають реальним хвилям у саморегульованому реакторі, такому як реактор CANDLE, зокрема. У цій роботі за результатами моделювання кодом Serpent (без урахування впливу температурного зворотного зв'язку) розраховано швидкісну характеристику реактора як залежність швидкості стаціонарної хвилі ядерних поділів від ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів. Показано, що одноступова дифузійна теорія правильно описує вигляд отриманої швидкісної характеристики.

Ключові слова: хвиля ядерних поділів, реактор на хвилі ядерних поділів, стійкість, CANDLE, Serpent.

В. Н. Хотяинцев^{1*}, В. И. Гулик², Е. Н. Хотяинцева³, А. В. Аксенов¹, В. Н. Павлович³

¹ Национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

² Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина

³ Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: vkhot@univ.kiev.ua

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТАЦИОНАРНОЙ ВОЛНЫ ЯДЕРНЫХ ДЕЛЕНИЙ МОНТЕ-КАРЛО КОДОМ SERPENT

В работе режим стационарной волны ядерных делений моделировался для ряда фиксированных значений мощности при помощи Монте-Карло кода Serpent. Волна распространялась в направлении оси цилиндрической активной зоны длиной 5 м в реакторе на быстрых нейтронах с топливом на основе чистого ^{238}U . Режим стационарной волны устанавливался спустя некоторое время после инициализации волны в зоне запала и длился достаточно долго, чтобы определить $k_{\text{эф}}$ с высокой точностью. Ранее нами было показано в рамках одноступового диффузионного описания, что скоростная характеристика реактора на волне ядерных делений является двузначной, а влияние отрицательной температурной обратной связи является лишь количественным для типичных значений параметров. Вид и параметры скоростной характеристики являются критически важными для выбора реалистического дизайна реактора, поскольку состояния нижней ветви являются неустойчивыми и не отвечают реальным волнам в саморегулируемом реакторе, таком как реактор CANDLE, в частности. В этой работе по результатам моделирования кодом Serpent (без учета влияния температурной обратной связи) рассчитана скоростная характеристика реактора как зависимость скорости стационарной волны ядерных делений от эффективного коэффициента размножения нейтронов. Показано, что одноступовая диффузионная теория правильно описывает вид полученной скоростной характеристики.

Ключевые слова: волна ядерных делений, реактор на волне ядерных делений, устойчивость, CANDLE, Serpent.

V. M. Khotyayintsev^{1*}, V. I. Gulik², O. M. Khotyayintseva³, A. V. Aksonov¹, V. M. Pavlovych³

¹ National Taras Shevchenko University, Kyiv, Ukraine

² Institute for Nuclear Safety Problems, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: vkhot@univ.kiev.ua

MONTE CARLO CODE SERPENT CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE STATIONARY NUCLEAR FISSION WAVE

In this work, propagation of the stationary nuclear fission wave was simulated for series of fixed power values using

Monte Carlo code Serpent. The wave moved in the axial direction in 5 m long cylindrical core of fast reactor with pure ^{238}U raw fuel. Stationary wave mode arises some period later after the wave ignition and lasts sufficiently long to determine k_{ef} with high enough accuracy. The velocity characteristic of the reactor was determined as the dependence of the wave velocity on the neutron multiplication factor. As we have recently shown within a one-group diffusion description, the velocity characteristic is two-valued due to the effect of concentration mechanisms, while thermal feedback affects it only quantitatively. The shape and parameters of the velocity characteristic critically affect feasibility of the reactor design since stationary wave solutions of the lower branch are unstable and do not correspond to any real waves in self-regulated reactor, like CANDLE. In this work calculations were performed without taking into account thermal feedback. They confirm that theoretical dependence correctly describes the shape of the velocity characteristic calculated using the results of the Serpent modeling.

Keywords: nuclear fission wave, breed-and-burn reactor, traveling wave reactor, CANDLE, Serpent.

REFERENCES

1. H. Sekimoto, K. Ryu, Y. Yoshimura. CANDLE: The New Burnup Strategy. *Nuclear Science and Engineering* 139 (2001) 306.
2. H. Sekimoto, N. Nakayama. Power level control of CANDLE reactor without control rods. *Annals of Nuclear Energy* 63 (2014) 427.
3. P. Hejzlar et. al. Traveling Wave Reactor Development Program Overview. *Nuclear Engineering and Technology* 45(6) (2013) 731.
4. J. Gilleland, R. Petroski, K. Weaver. The Traveling Wave Reactor: Design and Development. *Engineering* 2 (2016) 88.
5. M. Zheng et. al. Study of Traveling Wave Reactor (TWR) and CANDLE Strategy: A Review Work. *Progress in Nuclear Energy* 71 (2014) 195.
6. L.P. Feoktistov. The neutron-fission wave. *Doklady Akademii nauk SSSR* 309 (1989) 864. (Rus)
7. V. M. Pavlovich, V. M. Khotyayintsev, O. M. Khotyayintseva. Nuclear burning wave reactor: wave parameter control. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 11(1) (2010) 49. (Ukr)
8. D. Hartanto, Y.H. Kim. A compact breed and burn fast reactor using spent nuclear fuel blanket. PHYSOR 2012 – Advances in Reactor Physics – Linking Research, Industry, and Education (Knoxville, Tennessee, USA, April 15 - 20, 2012). *CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (2012)*.
9. H. Van Dam. Self-stabilizing criticality waves. *Annals of Nuclear Energy* 27 (2000) 1505.
10. X.-N. Chen, W. Maschek. Transverse buckling effects on solitary burn-up waves. *Annals of Nuclear Energy* 32 (2005) 1377.
11. S. Fomin et al. Initiation and propagation of nuclear burning wave in fast reactor. *Progress in Nuclear Energy* 50 (2008) 163.
12. B. Gaveau et al. Hybrid soliton nuclear reactors: A model and simulation (encapsulated long living accelerator driven system). *Nuclear Engineering and Design* 235 (2005) 1665.
13. A.G. Osborne, M.R. Deinert. Comparison of neutron diffusion and Monte Carlo simulations of a fission wave. *Annals of Nuclear Energy* 62 (2013) 269.
14. R. Shrestha, Rizwan Uddin. Modeling space–time evolution of flux in a traveling wave reactor. *Annals of Nuclear Energy* 70 (2014) 90.
15. S. Qvist. *Safety and Core Design of Large Liquid-Metal Cooled Fast Breeder Reactors*. Ph.D thesis (University of California, Berkeley, USA, 2013).
16. V.M. Khotyayintsev, V.M. Pavlovych, O.M. Khotyayintseva. Travelling-wave reactor: velocity formation mechanisms. In: *PHYSOR 2010, on CD-ROM*.
17. O. M. Khotyayintseva, V. M. Khotyayintsev, V. M. Pavlovich. Temperature feedback effect to stationary wave of nuclear fusion. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 15(1) (2014) 26. (Rus)
18. O. M. Khotyayintseva et al. Study of the stability of the stationary wave of nuclear fissions. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 15(3) (2014) 253. (Rus)
19. V.M. Khotyayintsev et al. Velocity characteristic and stability of wave solutions for a CANDLE reactor with thermal feedback. *Annals of Nuclear Energy* 85 (2015) 337.
20. O. M. Khotyayintseva, V. M. Khotyayintsev, V. M. Pavlovich. Reactivity in the theory of the stationary nuclear fission wave. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 17(2) (2016) 157. (Ukr)
21. A.E. Walter, A.B. Reynolds. *Fast Breeder Reactors* (New York: Pergamon Press, 1981) 853 p.
22. J. Leppaenen. SERPENT Monte Carlo reactor physics code. In: *Proc. of the Twentieth Symposium of Atomic Energy Research*. (2010) p. 790.
23. V. Gulik, V. Pavlovych, A.H. Tkaczyk. Using SERPENT Monte Carlo and Burnup code to model Traveling Wave Reactors (TWR). In: *Proc. of Joint Intern. Conf. on Supercomputing in Nuclear Applications & Monte Carlo (SNA&MC2013)* (Paris, France, 27 - 31 Oct. 2013).

Надійшла 15.06.2017

Received 15.06.2017