ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЖНЕГИБРИДНОГО ТОКА УВЛЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОГО КОДА FRTC И КОДА ASTRA [[1]](#footnote-1)\*)

1,2Хавин В.Э., 1Трошин Г.А., 1Теплова Н.В., 1Гусаков Е.З., 1Лашкул С.И.

1Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург,  
 [post@mail.ioffe.ru](mailto:post@mail.ioffe.ru)  
2Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
 [office@spbstu.ru](mailto:emal2@email.ru)

Численное моделирование генерации тока увлечения в токамаке с помощью волн нижнегибридного (НГ) диапазона вызывает большой интерес и активно ведется в течение последних двух декад [1 - 4]. Параметры, по которому можно сравнить экспериментальные и теоретические данные, – напряжение на обходе, синхротронное, SXR и HXR излечение. Моделирование этих параметров довольно сложная задача. Численные коды позволяют рассчитать НГ ток, который генерируется в плазме, распределение его плотности по малому радиусу, распределение вводимой мощности и ее поглощение, отслеживание лучевых траекторий для волн НГ диапазона, напряжение на обходе плазмы в зависимости от времени.

В данной работе мы сравниваем экспериментальные и расчетные значения напряжения на обходе, полученные в результате нестационарного моделирования НГ тока. Равновесие плазмы рассчитывалось с использованием транспортного кода ASTRA [5], трассировка лучей рассчитывалась с помощью кода FRTC [4, 6], ток увлечения был рассчитан с помощью функции распределения, полученной в ходе решения уравнения Фоккера-Планка с учетом электрического поля. Для расчета спектра продольного показателя преломления НГ волны была использована программа Grill3D [7].

Моделирование с использованием неявной разностной схемы показало, что рассчитанное напряжение на обходе падает медленнее, чем в эксперименте, вследствие недостаточной точности данного численного метода. В данной работе впервые показаны результаты моделирования НГ тока увлечения с использованием схемы Ченга-Купера [8] для неявной дискретизации второго порядка по пространству и первого порядка по времени с добавлением специальных весовых коэффициентов, которые не допускают возникновения отрицательных значений функции распределения и с высокой точностью сохраняют консервативность системы в отличие от метода Кранка-Николсона [9] и обычной разностной неявной схемы второго порядка. Моделирование выполнялось для параметров разрядов в токамаках ФТ-2 и Глобус-М2.

Литература

1. Smirnov A.P., Harvey R.W. The GENRAY Ray Tracing Code - 2003.
2. Xie H.S., PDRF: A general dispersion relation solver for magnetized multi-fluid plasma // Computation Phys. Comm. – 2014. – Vol. 185. – P.670.
3. Harvey R W and McCoy M G 1992 The CQL3D Fokker–Planck code AEA Technical Committee on Advances in Simulation and Modeling of Thermonuclear Plasmas pp 489–526
4. A.R. Esterkin and A.D. Piliya 1996 Nucl. Fusion 36 1501
5. G.V.Pereverzev and P.N. Yushmanov, Automated System for TRansport Analysis IPP-Report IPP 5/98, (2002).
6. A.N. Saveliev, EPJ Web of Conferences 157, 03045 (2017).
7. M. A. Irzak and O. N. Shcherbinin, Nucl. Fusion 35, 1341 (1995)
8. S. Chang, G. Cooper. A practical difference scheme for Fokker–Planck equations. Journal of Computational Physics, 6(1): 1–16, 1970
9. Crank, J.; Nicolson, P. A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat conduction type.Proc. Camb. Phil. Soc. — (1947) —. 43 (1): 50–67.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLIX/Mu/en/BC-Khavin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)