МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

01, январь 2016

УДК 533.952

Разработка методики вычислительного эксперимента для моделирования плазменного потока

Шарова Ю. С., студентка Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Физика»

Научный руководитель: Горев В.В., д.ф-м.н, профессор Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Физика» <u>bauman@bmstu.ru</u>

Разработка методики проводилась для экспериментов по изучению динамики имплозии и мощности выхода потока плазмы Z-пинчевого разряда конусных проволочных сборок проводились на установке Ангара 5-1 с током до 3 МА.

В опытах использовались осесимметричные конусные лайнеры, которые состояли их вольфрамовых проволок диаметром 6 мкм, с углом между осью и образующей поверхностью конуса в диапазоне 15 – 45°.

При использовании конусных сборок токонесущие проволоки между анодным и катодным электродами генератора тока располагаются по поверхности усеченного конуса с вершиной, расположенной со стороны катода. При имплозии конусной сборки в процессе производства плазмы из проволок формируются плазменные потоки, направленные по нормали к проволокам, образуя плазменный поток, направленный вдоль оси конуса от катода к аноду.

Схема взаимного расположения образца вещества в виде металлической фольги для облучения ее фронтальной поверхности потоком плазмы и импульсом мягкого рентгеновского излучения (МРИ), которые формируются при имплозии конусной проволочной сборки, показана на рисунке 1. При сжатии Z- пинча конусной сборки на оси образуется Z-пинч, характерная высота которого меньше в зависимости от величины угла при вершине конусной поверхности ширины промежутка между катодным и анодным электродами.



Рис. 1. Схема взаимного расположения образца вещества в виде металлической фольги для облучения ее фронтальной поверхности потоком плазмы и импульсом мягкого рентгеновского излучения, которые формируются при имплозии конусной проволочной сборки

Толщина анодного электрода - 3 мм; диаметр на входе конического отверстия в аноде - 4 мм; расстояние от нижней поверхности анода до фольги – (5±1) мм

Ограниченный по высоте пинч показан в виде прямоугольника черного цвета, нижняя сторона которого начинается на катодном электроде. На верхней стороне изображения пинча в виде исходящих с нее стрелок показано направление распространения плазменного потока, облучающего фронтальную поверхность фольги. Плазменный поток и поток МРИ, исходящие из пинча, ограничены коническим отверстием с диаметром 4 мм на нижней поверхности анодного электрода. Расстояние от нижней поверхности анодного электрода до облучаемой фольги изменялось в пределах (5±1) мм. Диаметр облучаемой поверхности на фронтальной стороне исследуемой фольги равен 5 мм.

Разработка методики проводилась в программе Salome. Результаты трехмерного моделирования установки Ангара-5-1 представлены на рисунке 2.



Рис. 2. САД-модель мишенного узла установки Ангара-5-1

Расчетная сетка строилась в секторе 45°, и позволяет производить расчеты с периодическими граничными условиями при $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi/4$. Сектор соответствует 1/8 части разрядной камеры. Для установки было построено две расчетные сетки.

Гибридная расчетная сетка состоит из тетраэдральной сетке на сопле с характерным размеров треугольника в плоскости $(x,y) \approx 80$ мкм и характерной высотой тетраэдра 80 мкм, и из призматической сетки на цилиндре с шагом $hx = hy \approx 80$ мкм и hz = 150 мкм. Такая сетка содержит примерно 2 миллиона расчетных ячеек и состоит из 300 тысяч тетраэдров и 1,5 миллиона призм. На рисунке 3 представлено схематичное изображение сетки, более крупной, чем реальная. Ее срез изображен на рисунке 4.



Рис. 3. Гибридная расчетная сетка для 1/8 части установки



Рис. 4. Срез гибридной сетки

Тетраэдральная сетка с характерным размеров треугольника в плоскости $(x,y) \approx 80$ мкм и характерной высотой тетраэдра 80 мкм представлена на рисунке 5. Она состоит из 6 миллионов расчетных ячеек. На рисунке 6 изображен ее срез.



Рис. 5. Тетраэдральная расчетная сетка для 1/8 части установки



Рис. 6. Срез тетраэдральной сетки

В итоге можно сделать следующие выводы о качестве сеток. Тетраэдральная сетка имеет большее количество элементов, чем гибридная, и хуже воспроизводит симметрию установки; тетраэдральная сетка имеет больший разброс значений объемов ячеек, длин ребер и минимальных углов, таким образом, гибридная сетка более предпочтительна, так как является квазиравномерной.

Список литературы

- [1] Александров В.В., Гасилов В.А., Грабовский Е.В., Грицук А.Н., Лаухин Я.Н., Митрофанов К.Н., Олейник Г.М., Ольховская О.Г., Сасоров П.В., Смирнов В.П., Фролов И.Н., Шевелько А.П. «Об увелечении плотности энергии в плазме пинча при трехмерном сжатии квазисферических проволочных лайнеров» // Физика плазмы, 2014, Т. 40, № 11. С. 1-17.
- [2] Митрофанов К.Н., Грабовский Е.В., Олейник Г.М., Александров В.В., Грицук А.Н., Фролов И.Н., Лаухин Я.Н., Сасоров П.В., Самохин А.А. Исследование радиальнго распределения магнитного поля в плазме многопроволочных сборок на установке Ангара-5-1 // Физика плазмы. 2012. Т. 38, № 10. С. 866-889.
- [3] Грабовский Е.В., Александров В.В., Волков Г.С., Гасилов В.А., Грибов А.Н., Грицук А.Н., Дьяченко С.В., Зайцев В.И., Медовщиков С.Ф., Митрофанов К.Н., Я.Н. Лаухин, Г.М. Олейников, О.Г. Ольховская, А.А. Самохин, П.В. Сасоров. Использование конусных проволочных сборок для моделирования трёхмерных эффектов МГД-сжатия // Физика плазмы. 2008. Т. 34, № 10. С. 885-900.

[4] Фирсов Д.К. Метод контрольного объёма на неструктурированной сетке в вычислительной механике: учебное пособие. Томск: ТГУ, 2007. 72 с.