

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ ПЛАЗМЫ

MODELLING OF MAGNETODYNAMIC PLASMA FLOWS

A.V.Radenko, V.V.Radenko (MEC QUASAR Ltd) & M.V.Dolgoplov (Laboratory of Mathematical Physics, (Samara University)

E-mails: quasar_ltd@mail.ru , mikhaildolgoplov68@gmail.com

Аннотация: Для решения проблемы управляемого ядерного синтеза проработана методика и технология создания и формирования электронно-управляемых потоков ионов в магнитном поле путем группирования потоков – дискретизацией и заданием определенных законов следования для потоков ионов.

Ключевые слова: УПРАВЛЯЕМЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ, ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМЫЕ ПОТОКИ ИОНОВ, ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ИОНОВ, ОБРАБОТКА КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ.

1. Введение

В основе технологии электронно-управляемых ионно-плазменных генераторов лежит методика получения управляемых потоков ионов или плазмы. Задание для первичного ионного и электронного потока определенных законов изменения параметров: энергии E , тока частиц I , концентрации n , периода следования Tsl позволяет формировать первичные электронно-управляемые потоки заряженных частиц. Для каждого значения формируемых последовательностей ni однозначно определен интервал $E1...En$ с шагом изменения ΔE . Из дискретных последовательностей nik формируется множество E с распределением энергии $E1...En$ для каждой дискретной последовательности подмножеств. Данное множество E дискретных последовательностей nik задано в области Vn . Имея различные дискретные последовательности $nik, nik1...nikn$ с разбиением Tsl последовательности ni , получим совокупность подмножеств $E(nikn)$ в области Vn . В данном случае магнитооптический формирователь-накопитель предназначен для формирования линейных потоков плазмы требуемой концентрации и периода следования.

Магнитооптическая или электростатическая развертка предназначена для генерации требуемой формы и отклонений плазменного потока на выходе соплового аппарата. Для формируемой развертки $E(nikn)$ зададим квадратурную развертку по осям X, Y .

Изменение напряженности магнитного поля Vx, Vy или электрического Ex, Ey по заданному функциональному закону обеспечивает требуемую развертку для $E(nikn)$. Изменение напряженности магнитного поля Vx, Vy с шагом ΔB формирует последовательность $Vx1...Vxn, Vy1...Vyn$, так что имеет место совокупность $E(nikn), Vxn, Vyn$. Или для электростатического поля $E(nikn), Exn, Eyn$. То есть для отдельной дискретной последовательности определены конкретные значения Vx, Vy или Exn, Eyn .

Совмещенная магнитооптическая и электростатическая развертки предназначены для генерации требуемой специальной формы и объёмных отклонений плазменного потока на выходе соплового аппарата. Для формируемой развертки $E(nikn)$ также зададим квадратурную развертку по осям X, Y в скрещенных электрических и магнитных полях.

Изменение напряженности магнитного поля Vx, Vy и напряженности электрического поля Ex, Ey по заданному общему функциональному закону обеспечивает требуемую развертку для $E(nikn)$. Изменение напряженности магнитного поля Vx, Vy с шагом ΔB и изменение напряженности электростатического поля с шагом ΔE формирует последовательность $(Vx1...Vxn, Vy1...Vyn, Ex1...Exn,$

$Ey1...Eyn)$, так что имеет место совокупность $(E(nikn), Vxn, Vyn, E(nikn), Exn, Eyn)$. То есть для скрещенных полей для каждой отдельной дискретной последовательности определено совокупное и функционально связанное значение Vx, Vy или Exn, Eyn .

Таким образом, задавая требуемую форму плазменного потока параметрами магнитооптической или электростатической развертки, на выходе соплового аппарата формируется плазма требуемой объёмной конфигурации и квантованной дискретизации.

1. Экспериментальная процедура

На базе созданной методологии предполагается формирование нескольких направлений работ по созданию ПЭМРД - плазменных электрических магнитодинимических реактивных двигателей, в которых реактивная тяга в космосе формируется давлением на срезе магнитооптического соплового аппарата (МСА). Для этого на срезе МСА обеспечивается требуемая развертка плазменного потока с заданными параметрами давления и объёмной конфигурации.

Тяга двигателя $F=mWa+Fa(pa-ph)$, где m – массовый секундный расход топлива реактивного двигателя; Wa – скорость газовой струи на срезе сопла; Fa – площадь среза сопла; pa – давление на срезе сопла; ph – давление окружающей среды. Для атмосферного режима работы тяга двигателя в газодинамическом режиме определяется из условия $mWa=Fa(pa-ph)$. Для режима работы в космосе $F= Fa(pa-ph)$

При большом значении тяги двигатель переходит в режим работы с увеличенным расходом массы, и тяга двигателя становится близкой к $F=mWa+Fa(pa-ph)$. Требуемое значение энергетических характеристик двигателя достигается инжекцией продуктов термоядерного синтеза в магнитодинимическую камеру и последующем взаимодействием с плазмой двигателя. Значение энергетического вклада от прямой инжекции лежит в диапазоне 10÷25% процентов для двигателей малой тяги до 10 000 Н, 25 ÷50 % для двигателей средней тяги до 250 кН и до 75 % для двигателей с тягой до 1МН и выше.

Требуемая энергия двигателя при заданной массе летательного аппарата (ЛА) определяется как

$$dA = \frac{F^2 \times t}{m} \times dt, \tag{1}$$

где F - тяга двигателя, t - время полета, m - масса ЛА. Тогда

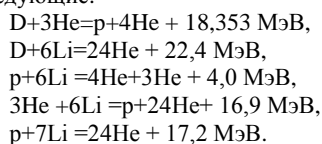
$$A = \frac{F^2 \times t^2}{2 \times m}. \tag{2}$$

В ходе проведения лабораторных испытаний на базе 4-цикловой магнитооптической камеры синтеза и электронно-управляемого формирователя дискретных потоков ионов

выявлена зависимость порога от кинетической энергии набегающего потока и кинетической энергии плотной мишени. В качестве набегающего потока использовался поток ионов водорода ^1H , а в качестве мишени плотный поток ^6Li . Экспериментально установлено, что устойчивость реакции синтеза наблюдается при энергии ионов водорода E_{H} от 180 кэВ до 200 кэВ и энергии мишени E_{Li} в интервале от 180 кэВ до 200 кэВ. Время удержания водородно-литиевой смеси в магнитооптической ловушке превышает несколько секунд, что обусловлено технической особенностью установки и необходимостью дальнейшего увода отработанного материала в квантовый энергетический преобразователь (КЭП) для преобразования потока высокоэнергетических продуктов синтеза в ВЧ- или СВЧ-колебания в зависимости от типа используемого прибора. КЭП - это пролетный ВЧ или СВЧ прибор, где в качестве источника частиц используются ионы продуктов реакции ядерного синтеза.

3. Результаты и обсуждение

Решена задача использования электронно-управляемых потоков ионов и электронов для формирования требуемых параметров плазмы в магнитооптическом сопловом аппарате. Формирование заданных тяговых и энергетических характеристик двигателя связано соотношением (2) и определяет требуемую концентрацию ядерного топлива для двигателя. В качестве основных ядерных реакций определены следующие:



4. Выводы

В процессе формирования электронно-управляемых потоков ионов и ядерного синтеза определяются перспективы использования разработанной технологии в различных областях и направлениях применения, от энергетических установок до двигателей летательных аппаратов, включая космические. Одним из вариантов предполагается использование данной технологии для разогрева ПЭМРД-двигателем потока CO_2 в нефтяной пласт и для генерации электрической и тепловой энергии, например, для объемной ВЧ-сушки. Использование модифицированного двигателя в установках типа МПУ возможно и уже применяется для переработки бытовых и промышленных отходов, в качестве источника плазмы и энергетической установки.

Литература

- [1] Физика и технология источников ионов. Под ред. Я. Брауна
Издательство: Мир Год: 1998. 496 с. ISBN: 5-03-002596-0
- [2] Импульсная энергетика и электроника / Г. А. Месяц. - М.: Наука, 2004. -704 с.
- [3] Интенсивные ионные пучки / А.Т. Форрестер. - Москва: Мир. 1992. – 358 с.