

## ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ НАГРЕВ АРГОН-ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА СТЕНДЕ ПН-3 <sup>\*)</sup>

Бунин Е.А., Ишков Т.А., Казеев М.Н., Камин Д.В., Козлов В.Ф., Сухов А.Е.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, [Sukhov\\_AE@nrcki.ru](mailto:Sukhov_AE@nrcki.ru)

На стенде ПН-3 проводятся исследования по вкладыванию высокочастотной (ВЧ) мощности в плазменный поток с целью нагрева ионов в рамках работ по отработке второй ступени безэлектродного плазменного ракетного двигателя. В качестве метода нагрева выбран ионный циклотронный резонанс (ИЦР) [1].

Система ИЦР нагрева состоит из генератора ВЧ мощности с номинальной мощностью до  $P_{ICR} = 10$  кВт на частоте  $f_{ICR} = 1,8$  МГц. Данная частота вместе с имеющейся магнитной системой стенда ПН-3 позволяет выполнить резонансное условие  $\omega = \omega_{ci}$  только для ионов водорода.

Источником плазмы служит геликонный плазменный разряд, работающий на частоте  $f_{HEL} = 10$  МГц с мощностью до  $P_{HEL} = 15$  кВт. Магнитная система стенда позволяет либо обеспечить эффективный геликонный разряд в водородной плазме в первой секции разрядной камеры, либо обеспечить резонансное условие ИЦР нагрева во второй секции. И в первом, и во втором случае так же наблюдается недостаток концентрации свободных заряженных частиц  $n_e = 10^{11} \text{ см}^{-3}$  для ввода электромагнитных волн на частоте генератора системы ИЦР нагрева [2].

Для разрешения данной проблемы было предложено в качестве рабочего тела использовать смесь аргона и водорода. Эмпирически были определены оптимальные значения расходов газов и конфигурация магнитного поля стенда для ввода ВЧ мощности системы ИЦР нагрева.

Критерием эффективности ввода мощности ИЦР нагрева служили измерения таких параметров плазменного потока, как электронная концентрация, тяга, средняя энергия ионов посредством диагностического комплекса стенда ПН-3. Также эффективность подтверждалась калориметрическими измерениями потока в магнитном сопле.

В работе представлены условия экспериментов и результаты измерений зависимости перечисленных параметров от конфигурации внешнего магнитного поля и вкладываемой ВЧ мощности. Для энергии ионов наблюдается резонансная зависимость энергии ионов от значения внешнего магнитного поля, и близкая к линейной зависимость от вкладываемой мощности. Полученные результаты свидетельствуют о вводе высокочастотной мощности на частоте ионного-циклотронного резонанса в линейной плазменной установке в плазменный поток смеси газов.

### Литература

- [1]. Тимофеев А. В. О ВЧ-нагреве неоднородной столкновительной плазмы в условиях ИЦР //Физика плазмы. – 2015. – Т. 41. – №. 11. – С. 946-954.
- [2]. Swanson D. G. Plasma waves. – CRC Press, 2020.

<sup>\*)</sup> [DOI – тезисы на английском](#)