

## **ВЫБОР СХЕМЫ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНИКА НЕЙТРАЛЬНОГО ПУЧКА ДЛЯ ИНЖЕКТОРОВ ТОКАМАКА Т-15МД<sup>\*)</sup>**

Бочарова Е.В., Баркалов К.Е., Ерёмин В.А., Никулин В.А.

*НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия*

Инжектор нейтрального пучка – система, используемая для нагрева и поддержания тока в термоядерных установках типа токамак с помощью ввода быстрых атомов водорода и его изотопов. Приемник нейтрального пучка является одним из элементов тракта инжектора. Он используется для принятия мощности пучка при настройке инжектора, выводе его на рабочий режим и диагностике параметров. В режиме ввода пучка в плазму токамака панели калориметра открываются [1].

Расчетная плотность мощности пучка, инжектируемого в токамак Т-15МД, достигает десятков МВт/м<sup>2</sup>, то есть приемник будет работать в режимах критических тепловых нагрузок, что требует использования трубчатой схемы и V-образной формы калориметра с двумя панелями, аналогично приемникам инжекторов токамака ИТЭР [2]. Наклон панелей относительно оси пучка позволяет снижать приходящую плотность мощности до величин не выше 10 МВт/м<sup>2</sup>. Каждая панель представляет из себя набор трубок из хромоциркониевой бронзы, расположенных в два слоя. Передние трубки частично перекрывают задние, предотвращая проникновение частиц пучка сквозь панели. Для турбулизации потока в трубки устанавливаются шнековые интенсификаторы.

Проведен анализ термомеханических параметров трубок различных диаметров. Тепловой расчет проводился методом адиабатических сечений с использованием аналитических формул, базирующихся на экспериментальных исследованиях [3]. Также, рассчитаны поля температур и напряжений в трубках и их деформация. В результате выбраны трубки с внешним диаметром равным 14 мм, так как они достаточно эффективно обеспечивают снятие всей приходящей мощности при наименьших расходах воды.

Для диагностики получаемого профиля мощности пучка в тени трубок переднего слоя устанавливается набор коллекторов, принимающий вторично-эмиссионные электроны [4]. Произведена численная оценка полного тока электронов на коллектор в зависимости от расстояния между слоями трубок. Было выбрано расстояние 5 мм, так как оно обеспечивает достаточный ток, позволяющий производить диагностику и настройку прицела оси пучка на вход токамака.

### **Литература**

- [1]. Семашко Н.Н., Владимиров А.Н., Кузнецов В.В. и др, Инжекторы быстрых атомов водорода, М.: Энергоиздат, 1981, 168 с.
- [2]. Hensworth R. S. et al. Overview of the design of the ITER heating neutral beam injectors, *New Journal of Physics*, 2017, Т. 19, № 2, 21 с.
- [3]. Ягов В.В. Теплообмен при развитии пузырькового кипении жидкостей, *Теплоэнергетика*, 1988, № 2, 4 с.
- [4]. Barkalov K.E., Barkalov E.E., Panasenkov A.A, Experimental investigation of a high power long-pulse neutral beam profile diagnostic based on secondary electron emission, *AIP conference proceedings*, 2018, Т. 2052, № 1, 7 с.

---

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