Разработка методики определения тяговых характеристик безэлектродного плазменного ракетного двигателя БПРД-100 по результатам измерений параметров плазменной струи [[1]](#footnote-1)\*)

Баркалов Е.Е., Веселовзоров А.Н., Камин Д.В., Свирский Э.Б.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия, [aveselov14@mail.ru](mailto:aveselov14@mail.ru)

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» ведутся работы по созданию макета безэлектродного плазменного ракетного двигателя БПРД-100. Расчётные параметры этого двигателя: мощность 100 кВт, тяга 3 Н, удельный импульс 5000 с, тяговый к.п.д ≈ 70%.

Как правило для измерения тяги электроракетные двигатели (ЭРД) размещались непосредственно на самом тягоизмерительном устройстве. Это было возможно в связи с относительно небольшим весом и компактностью разрабатываемых до настоящего времени моделей ЭРД, а также возможностью создания системы гибких токо - и газоподводов от стендового оборудования к двигателю, размещённому на тягоизмерительном устройстве. К сожалению, конструкция БПРД-100 не позволяет пойти по этому стандартному пути из-за большого веса и больших размеров двигателя, а также жёсткости системы коммуникаций от стендового оборудования к двигателю. Поэтому в данной работе была рассмотрена возможность определения тяги БПРД-100 по локально измеренным параметрам плазменной струи, вытекающей из двигателя, таким как энергия ионов, плотность ионного тока и т.д., для измерения которых был разработан соответствующий диагностический комплекс.

В состав комплекса вошли: тягоизмерительное устройство, разработанное по схеме крутильных весов с системой обратных связей, различного типа измерительные зонды (одиночные электростатические зонды Лэнгмюра, многосеточные зонды), электроизмерительные приборы, масс-спектрометр динамического типа МХ-7304, осциллография, вычислительная техника, а также система механических устройств для перемещения и фиксации положения зондов относительно плазменной струи двигателя и т.д. Для создания плазменной струи использовалась имеющаяся на стенде небольшая модель стационарного плазменного двигателя СПД-100. Двигатель СПД-100 устанавливался на тягоизмерительное устройство, и тяга измерялась при работе двигателя на разных рабочих газах (Ar,Kr,Xe) в широком диапазоне параметров. Одновременно с измерением тяги проводились измерения параметров плазменной струи, вытекающей из двигателя. Измерялись распределения ионного тока по сечению пучка, спектры ионов по энергии, наличие и количество многозарядных ионов и т.д. Затем на основе полученных данных рассчитывались значения тяги F для нескольких режимов работы двигателя СПД-100 по следующему эмпирическому соотношению: F = 1,13\*(√(M\*Ei)/e)\*Ii\*(n+ + n2+\*√2).

Здесь M и Ei – масса и средняя энергия однократно-заряженных ионов рабочих газов, Ii – величина ионного тока, n+,n2+ - доли однократно - и двукратно - заряженных ионов рабочих газов в плазменной струе двигателя.

Разница между значениями тяги, полученными с помощью тягоизмерительного устройства и рассчитанными на основе измеренных параметров плазменной струи, находится в пределах ±10%. Этот результат подтверждён данными испытаний модели СПД-100 на разных газах в широком диапазоне разрядных напряжений и подач рабочего газа. Поэтому рассмотренный выше подход представляется вполне обоснованным для определения тяги на основе измеренных параметров плазменной струи, по крайней мере, на первоначальном этапе испытаний макета двигателя БПРД-100. Кроме того, существенным является то, что измеренные параметры плазменной струи позволяют судить о процессах образования плазмы и её ускорения в рабочей камере двигателя и искать возможности для оптимизации этих процессов и соответственно самого двигателя.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Pt/en/HD-Veselovzorov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)