

ИЗМЕРЕНИЕ ТЯГИ И УДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО МИКРОДВИГАТЕЛЯ

П.В. Чекан¹, А.М. Петренко¹, А.Н. Чумаков¹, В.В. Шкурко²

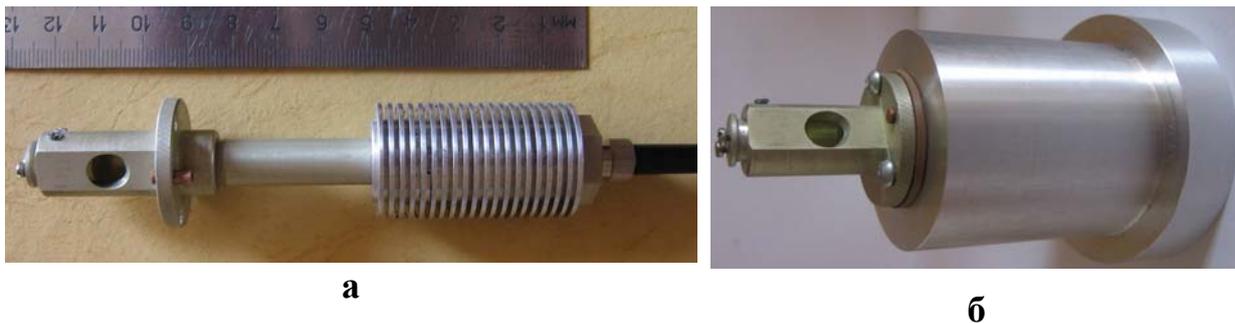
¹Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь,
chekan@imaph.bas-net.by, chumakov@imaph.bas-net.by

²Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси, ул. Кнорина 1, 220049 Минск,
Беларусь, shkurko@ipnk.basnet.by

New methods of measuring of thrust and specific impulse of laser plasma microthruster were developed. This methods were used to measure thrust and specific impulse on new laser plasma microthruster prototypes developed in Institute of physics. Results shows the perspective of application of this microthrusters for orbit correction and dimensional orientation on new microsatelites.

Лазерно-плазменный двигатель (ЛПД) малой тяги рассматривается в настоящее время в качестве перспективного средства для коррекции орбит микро- и наноспутников и их ориентации в пространстве /1 –4/. Важным преимуществом такого микродвигателя является возможность генерировать импульсы тяги с предельно малой и строго контролируемой величиной. Важнейшими параметрами реактивного двигателя, позволяющими оценить его эффективность, являются тяга в единичном импульсе и удельный импульс тяги, однако их определение для двигателя малой тяги является технически сложной задачей.

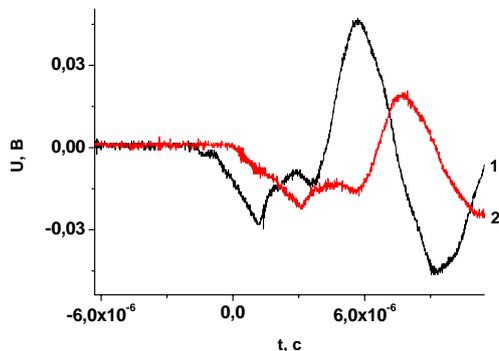
Экспериментальная установка и методы исследований. В основу экспериментальной установки, предназначенной для исследования характеристик ЛПД в вакууме, положена вакуумная система, обеспечивающая проведение экспериментов при давлении воздуха в вакуумной камере $\sim 3 \cdot 10^{-5}$ Торр. Лазерно-оптический и мишенный блок ЛПД монтировались в вакуумной камере на специальной платформе, излучение лазера заводилось в камеру снаружи. Два экспериментальных образца ЛПД (на основе Nd:YAG-лазера $\lambda = 1,064$ мкм и на основе эрбиевого лазера $\lambda = 1,5$ мкм), разработанные в Институте физики, испытывались с разными рабочими телами: сплавом жидких металлов Ga+In и высокомолекулярной жидкостью на основе вакуумного масла с наполнителем. Внешний вид экспериментального образца ЛПД представлен на рисунке 1.



а – общий вид, б – на платформе для установки в вакуумную камеру

Рисунок 1 – Экспериментальный образец лазерно-плазменного двигателя на основе импульсного мини лазера RL1.0Q

Проверка тяги в единичном импульсе ЛОМБ ЛПД осуществлялась при воздействии лазерного излучения на мишень, закрепленную на поверхности датчика давления в вакуумной камере и регистрации импульса отдачи. Общий вид сигнала отдачи при воздействии на мишень с высокомолекулярной жидкостью излучения эрбиевого лазера приведен на рисунке 2.



1 – в атмосфере, 2 – в вакууме

Рисунок 2 – Общий вид импульса отдачи при воздействии излучения эрбиевого лазера на мишень из сплава индия с галлием.

Регистрируемый датчиком электрический сигнал пропорционален импульсу отдачи и описывается формулой:

$$U_n = A \int p(t) dt, \quad (1)$$

где U_n – напряжение на датчике давления, регистрируемое осциллографом;

A – константа, определяемая при калибровке,

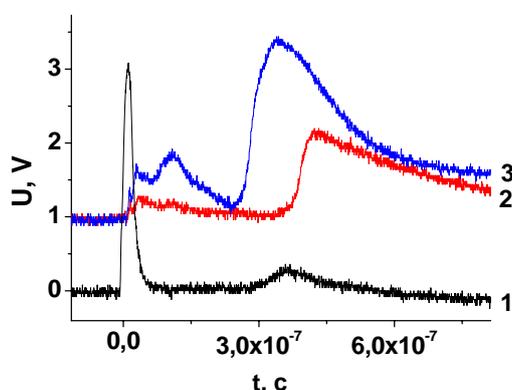
$p(t)$ – давление на поверхность датчика; t – текущее время.

Результаты измерений тяги в единичном импульсе приведены в таблице 1.

Таблица 1 Результаты измерений тяги в единичном импульсе экспериментальных образцов ЛПД.

	Рабочее тело на основе сплава (Ga+In)	Рабочее тело на основе высокомолекулярной жидкости
Блок ЛПД на основе Nd:YAG-лазера	$3 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \pm 5\%$	$4,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \pm 5\%$
Блок ЛПД на основе эрбиевого лазера	$2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \pm 5\%$	$4,7 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \pm 5\%$

Удельный импульс тяги ЛПД определялся комбинированным времяпролетным методом. Высокоскоростным фотодетектором HSP-IR6 регистрировалось свечение приповерхностной области факела для определения момента образования плазмы, а электрическим зондом, установленным на расстоянии $L = 20$ мм от поверхности мишени, – потенциал, передаваемый лазерной плазмой при контакте с ним. Общий вид осциллограмм электрического зонда и фотодетектора приведен на рисунке 3.



1 – сигнал фотодетектора (с использованием экрана шириной 3 мм на входе детектора), 2-3 – сигналы электрического зонда при разных плотностях мощности лазерного излучения ($q_2 = 2,5 \cdot 10^9 \text{ Вт/см}^2$, $q_3 = 2,63 \cdot 10^9 \text{ Вт/см}^2$)

Рисунок 3 – Общий вид осциллограмм сигналов:

Скорость плазменного сгустка определялась из соотношения

$$V = L/\Delta t, \quad (2)$$

где $L = 2$ см - расстояние от поверхности мишени до электрического зонда, Δt - интервал между сигналами фотодетектора и электрического зонда. Удельный импульс тяги определялся по формуле:

$$I_{sp} = V/g, \quad (3)$$

где $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 Результаты измерений удельного импульса тяги экспериментальных образцов ЛПД.

	Рабочее тело на основе сплава (Ga+In)	Рабочее тело на основе высокомолекулярной жидкости
Блок ЛПД на основе Nd:YAG-лазера	3160 с ±5%	4580 с ±5%
Блок ЛПД на основе эрбиевого лазера	3200 с ±5%	4000 с ±5%

Заключение

1. Разработаны методики определения тяги лазерно-плазменных микродвигателей космического назначения с использованием датчика импульсного давления и удельного импульса комбинированным времяпролетным методом.
2. Проведены измерения тяги в единичном импульсе и удельного импульса лазерно-плазменных двигателей, разработанных в Институте физики совместно ФГУП ЦНИИМАШ. Показана перспективность использования ЛПД для коррекции орбит и пространственной ориентации микроспутников.

Литература

1. **Phipps C.R., Luke J.R.** Laser plasma thruster. Patent 6530212 USA / 2003.
2. **А.Н. Чумаков** [и др.]. Лазерно-плазменный двигатель. Патент на изобретение 2338918 С1RU / 20.11.2008.
3. **Ф.Н. Любченко** и др. Новая концепция лазерно-плазменного двигателя // Космонавтика и ракетостроение. – 2009, №3 (56), С. 62.
4. **Phipps, C.** [et al.] Laser – Ablation Propulsion // J. of Propulsion and Power. 2010, Vol. 26 (4), P. 609.