

УДК 004.81

Экспериментальное исследование импульсных плазменных двигателей с помощью методов искусственного интеллекта

Егошин Денис Андреевич^(*)

egoshinda@bmstu.ru

Андрющенко Илья Сергеевич

ais21ea072@student.bmstu.ru

Телех Виктор Дмитриевич

telekh@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе представлено экспериментальное исследование потоков плазмы, образованных абляционным импульсным плазменным двигателем с целью определения угла расхождения и угла отклонения потока. Для детекции и обработки изображения использованы методы компьютерного зрения и авторские алгоритмы для пред- и постобработки изображений. По результатам работы написано десктопное приложение для обработки визуальных данных плазменных образований как в режиме реального времени, так и на основании ранее полученных результатах экспериментов.

Ключевые слова: абляционный импульсный плазменный двигатель, поток плазмы, компьютерное зрение, object detection

Введение. В последние годы все большую популярность обретают малые космические аппараты (МКА), особенно класса CubeSat [1] — так называемые наноспутники, которые обладают низкой стоимостью, малой массой и малыми геометрическими размерами. МКА подходят для тестирования в условиях космоса новых технологий, которые планируется применять на дорогостоящих спутниках, а также для выполнения самостоятельных миссий или миссий в составе группировки спутников. Для таких аппаратов актуальна разработка двигательной установки. На данный момент существует несколько вариантов [2, 3], один из перспективных — абляционный импульсный плазменный двигатель (АИПД).

Для применения АИПД в космосе необходимо проведение множества наземных испытаний, в том числе определение направленности вектора тяги. Его направленность определяется формированием и развитием потока плазмы в истекающего из АИПД, однако достижение высокой степени повторяемости параметров образываемого потока плазмы невозможно, поскольку этот процесс носит статистический характер. Проведение исследования направленности вектора тяги при работе АИПД в ручном режиме крайне затруднительно, поскольку требуется обрабатывать визуальную информацию с тысяч кадров потока плазмы, что актуализирует применение технологий компьютерного зрения.

Материалы и методы; результаты. Для определения направленности вектора тяги необходимо знать набор геометрических характеристик потока плазмы, таких как: угол расходимости потока и угол отклонения потока, ко-

торые можно получить в результате обработки фотографий потока плазмы с помощью искусственного интеллекта и алгоритмов постобработки изображений.

В данной работе продемонстрированы возможности детекции и классификации плазменных образований с использованием методов компьютерного зрения. В ходе проведенной серии экспериментов был сформирован датасет размером порядка 10 000 кадров. Также была проведена подготовка массива для обучения нейросети (разметка кадров, сжатие изображений и т. п.). На основании полученного массива была обучена сверточная нейросеть [4] позволяющая детектировать на кадрах поток плазмы и классифицировать в нем отдельные области. Разработан набор авторских алгоритмов постобработки изображений с целью облегчения интерпретации человеком полученных результатов. Также разработан отдельный модуль кода позволяющий проводить анализ кадров потока в реальном времени с удаленного компьютера.

Заключение. Таким образом в рамках данной работы сформирован и размечен уникальный датасет для обучения сверточной нейронной сети. Обучена Object detection модель позволяющая детектировать поток плазмы и классифицировать его отдельные области. А также подготовлен модуль кода вместе с пользовательским интерфейсом для удаленного взаимодействия с экспериментальным стендом с целью определения угла расходимости потока и угла его отклонения от горизонтальной оси двигателя в реальном времени.

*Работа выполнена на уникальной научной установке (УНУ) «Пучок-М»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, при поддержке Министерства науки
и высшего образования Российской Федерации
по государственному заданию FSN-2024-0007.*

Список источников

- [1] Федорова Д.К., Телех В.Д. Сравнительный анализ двигателей для наноспутников. *XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, т. 1, с. 261–264.
- [2] Shumeiko A.I., Telekh V.D., Mayorova V.I. Development of a novel wave plasma propulsion module with six-directional thrust vectoring capability. *Acta Astronautica*, 2022, vol. 191, pp. 431–437.
- [3] Shumeiko A.I., Telekh V.D. Direct thrust measurements of 2U-sized bi-directional wave plasma thruster. *AIP Advances*, 2023, vol. 13 (8). <https://doi.org/10.1063/5.0160582>
- [4] Kozłowski P.M., Kim Y., Haines B.M., Robey H.F., Murphy T.J., Johns H.M., Perry T.S. Use of computer vision for analysis of image datasets from high temperature plasma experiments. *Rev. Sci. Instrum.*, 2021, vol. 1, no. 92 (3), art. no. 033532.