

УДК 533.6.07:011.32

Моделирование движения свободнолетающей аэродинамической модели в дозвуковом набегающем потоке

Калугин Владимир Тимофеевич¹

kaluginvt@mail.ru

Луценко Александр Юрьевич¹

aulutsenko@mail.ru

Наумов Александр Владимирович¹

alexandr.naumov@gmail.com

Слободянюк Дмитрий Михайлович^{1, 2(*)}

dmitriy.slobodyanyuk@rsce.ru

Афонин Сергей Иванович²

sergey.afonin2@rsce.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² ПАО «РКК «Энергия», Королев, Московская обл., Россия

Аннотация. Работа посвящена исследованию безопасного отделения конструктивных элементов возвращаемого аппарата в дозвуковом набегающем потоке. В работе проведены экспериментальные исследования в аэродинамической трубе Т-500 и численное моделирование в программных пакетах ЛОГОС и FlowVision. Разработан алгоритм для определения кинематических параметров свободнолетающей аэродинамической модели.

Ключевые слова: свободнолетающая аэродинамическая модель, аэродинамическая труба, кинематические параметры траектории модели, обработка изображений, численное моделирование

Введение. На этапе спуска возвращаемого аппарата (ВА) происходит отделение его конструктивных элементов для последующего введения в действие парашютной системы. Отделение таких элементов от ВА в некоторых случаях происходит в сложных условиях, например, отделение крышки парашютного контейнера ВА может осуществляться в области отрывного течения с последующим ее выходом в набегающий поток [1]. В свободном полете отделяемые элементы ВА могут увеличивать угловую скорость вращения под действием аэродинамических моментов за счет близкого расположения центра масс и центра давления [2]. Все вышеперечисленные факторы оказывают влияние на безопасность полета ВА на этапах отделения его частей.

Материалы и методы; результаты. В данной работе проведены экспериментальные исследования процесса движения свободнолетающей модели в набегающем потоке аэродинамической трубы (АДТ) Т-500 (рис. 1), численное моделирование процесса отделения модели в программных комплексах (ПК) FlowVision и ЛОГОС. Объектом исследования являлась упрощенная и масштабная модель отделяемого от ВА элемента, изготовленная путем 3D-печати.

Экспериментальные исследования проводились в три этапа:

1) ввод исследуемой модели с помощью механизма отстрела в набегающий поток ($V_\infty = 22$ м/с);

2) исследование вращения модели относительно центра масс (ЦМ) в набегающем потоке;

3) весовое определение аэродинамических характеристик модели в стационарной постановке.

Для определения кинематических параметров движения [3] свободнолетящей модели разработан и реализован алгоритм на языке программирования Python с использованием библиотек: OpenCV, NumPy, Keras и интеграции с программным пакетом Blender.

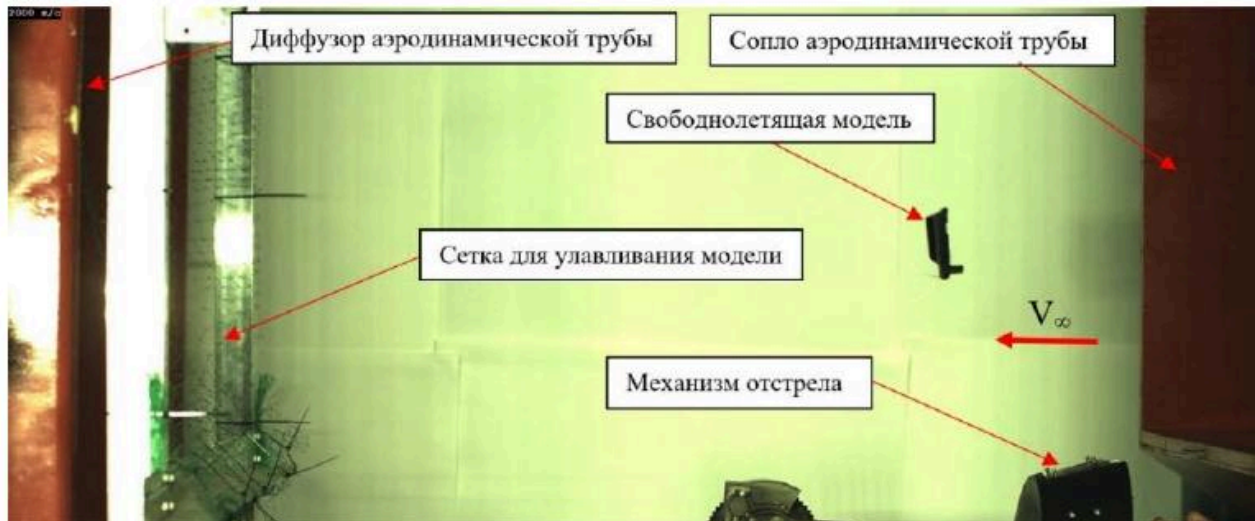


Рис. 1. Кадр из видеосъемки процесса движения модели в аэродинамической трубе с вращением против часовой стрелки

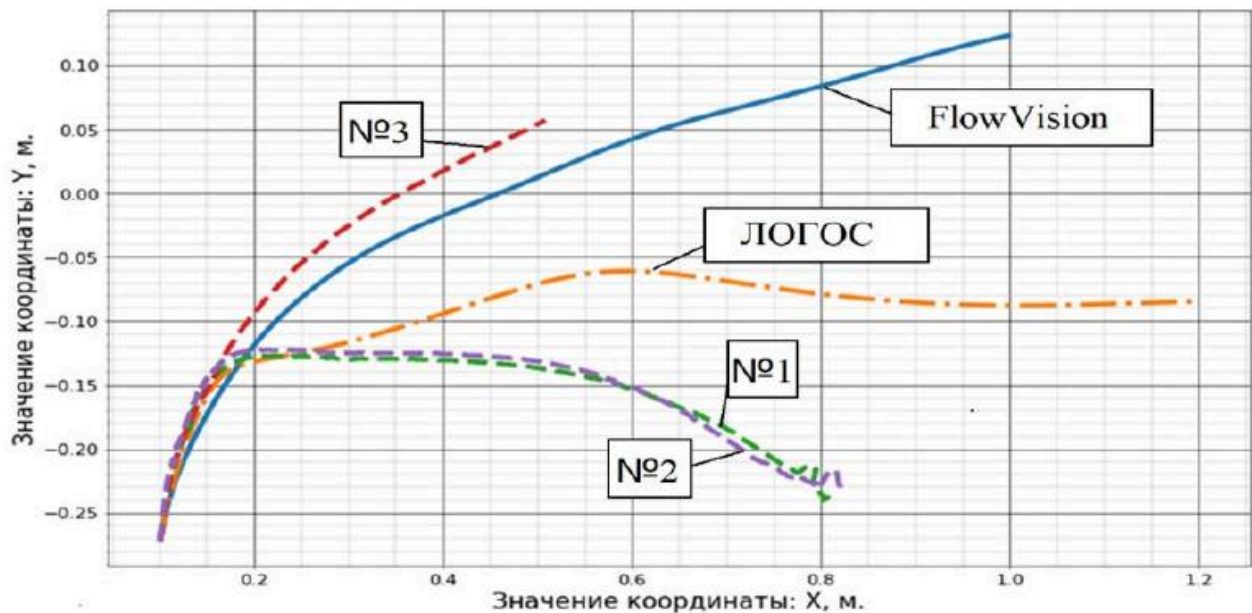


Рис. 2. Траектории полета модели при начальном угле атаки $\alpha = 15^\circ$:
эксперименты № 1, № 2 — вращение модели по часовой стрелке;
эксперимент № 3 — вращение модели против часовой стрелки

Заключение. Результаты, полученные в результате экспериментального моделирования, сравнивались с данными численного моделирования в ПК FlowVision и ЛОГОС. Следует отметить, что в эксперименте свободного движения модели в набегающем потоке было реализовано 2 группы траекторий (рис. 2), построенных в системе координат ОХУ (рис. 1), с вращением модели против и по часовой стрелке. Совпадение с 1 группой траекторий дало моделирование при помощи ПК FlowVision, совпадение с 2 группой — при помощи ПК ЛОГОС. По результатам проделанной работы созданы методика проведения исследований движения тел в набегающем потоке. Верифицированные численные модели планируется использовать в расчетах по определению параметров движения полномасштабных моделей.

Список источников

- [1] Калугин В.Т., Луценко А.Ю., Слободянюк Д.М. Влияние интерференционных эффектов на аэродинамические характеристики возвращаемого аппарата и конструктивные элементы парашютной системы при их разделении. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 10 (727), с. 54–64.
- [2] Хомяков М.К. и др. Методы моделирования и результаты анализа отделения крышки узлов подвески парашютного контейнера от возвращаемого аппарата с использованием современных программных комплексов. *Космическая техника и технологии*, 2023, № 1 (40), с. 130–140.
- [3] Sundermeyer M. et al. Implicit 3D Orientation Learning for 6D Object Detection from RGB. *Computer Vision – ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science*, 2019, vol. 11210, pp. 712–729. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.01275>