

УДК 629.783

Влияние аэродинамики на бескаркасный солнечный парус при отсутствии сил, стабилизирующих конструкцию

Попов Александр Сергеевич^(*)

popovas@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача полета в верхней атмосфере Земли малого космического аппарата с солнечным парусом, форма которого специальным образом не поддерживается. В программе MSC Adams смоделирована динамика конструкции при аэродинамическом воздействии. Конструкция паруса в модели представлена многозвенным механизмом, к каждому звену которого приложена аэродинамическая сила. Показано влияние динамики конструкции паруса на траекторию космического аппарата.

Ключевые слова: солнечный парус, динамика конструкции, верхняя атмосфера, «Парус-МГТУ», CubeSat, маневрирование космических аппаратов

Введение. Крупногабаритные разворачиваемые тонкопленочные конструкции могут иметь различные области применения. Так, например, изначально планировалось использовать двухлопастный бескаркасный солнечный парус, сформированный центробежными силами, для построения группировки аппаратов «Ярило» [1] за счет сил аэродинамического торможения. 26 октября 2023 г. с целью отработки технологии разворачивания солнечного паруса, с борта МКС во время ВКД-61 космонавтом был запущен космический микроаппарат «Парус-МГТУ» [2]. Планировалось отработать технологию разворачивания бескаркасного двухлопастного солнечного паруса гелиороторного типа. Динамика данной конструкции при аэродинамическом воздействии была рассмотрена в работе [3]. Однако во время запуска «Парус-МГТУ» произошла нештатная ситуация, в результате которой не были обеспечены необходимые условия для разворачивания паруса за счет центробежных сил.

Материалы и методы; результаты. В работе рассмотрена динамика конструкции для случая возможного нештатного разворачивания на «Парус-МГТУ» нежесткого солнечного паруса, при действии набегающего аэродинамического потока, при отсутствии вращения центрального тела. В данной модели светоотражающую поверхность паруса можно считать лентой, колеблющейся за аппаратом, подобно физическому маятнику. Лента моделировалась многозвенным механизмом, состоящим из цилиндрических звеньев, соединенных сферическими шарнирами. Задача была решена в программе Adams при аэродинамическом воздействии с плотностью атмосферы, соответствующей высоте 400 км. В рассмотренном случае аэродинамическое воздействие, оказываемое на солнечный парус, как на аэродинамический тормоз, является меньшим, чем в случае, если бы поверхность паруса была стабилизирована центробежными силами. При движении в плотных слоях атмосферы подобная

конструкция быстро бы пришла в равновесие и имела бы аэродинамическое сопротивление лишь за счет колебаний ленты со сравнительно небольшой амплитудой. Однако в сильно разреженной среде амплитуда колебаний ленты может быть значительной, и влияние аэродинамики на подобную конструкцию может оказаться заметной величиной. При этом аэродинамическое воздействие будет зависеть от высоты полета спутника, а следовательно, высота полета повлияет на динамику конструкции, которая, в свою очередь, влияет на баллистику и, как следствие, на высоту полета.

Заключение. В работе представлены результаты моделирования динамики конструкции и ее влияние на траекторию полета космического аппарата с неподкрепленным солнечным парусом, выполняющим функцию аэродинамического тормоза.

Список источников

- [1] Melnikova V.G., Borovikov A.A., Koretskii M.I., Smirnova Y.L., Timakova E.D., Yu Z., Kuznetsov A.O., Frolov K.A., Tenenbaum S.M., Rachkin D.A., Kotsur O.S., Nerovny N.A., Mayorova V.I., Grigorjev A., Goncharov N. Nanosatellite aerobrake maneuvering device. *arXiv:1708.07417*, 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.07417>
- [2] Mayorova V.I., Nerovny N.A., Rachkin D.A., Tenenbaum S.M., Popov A.S. Current status of BMSTU-Sail space experiment. *Proceedings of 66th International Astronautical Congress*. Jerusalem, Israel, 2015.
- [3] Попов А.С. Динамика конструкции солнечного паруса типа «гелиоротор» при движении его в верхней атмосфере Земли. *XLIV Академические чтения по космонавтике им. академика В.Н. Челомея: сб. тез.* Реутов, АО «ВПК «НПО машиностроения», 2021, с. 51–52.