

УДК 629.7.031.7

## Концепция малого космического аппарата для исследования динамики солнечного паруса неподкрепленной конструкции

Попов Александр Сергеевич<sup>(\*)</sup>

popovas@bmstu.ru

Гаулин Андрей Александрович

gaulinaa@student.bmstu.ru

Воронин Владимир Сергеевич

voroninvs@student.bmstu.ru

Галкин Александр Андреевич

galkinaa@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** В данной работе рассматривается конструкция бескаркасного солнечного паруса в виде свободной ленты, один конец которой закреплен на космическом аппарате (КА). Подобная схема отличается простотой и легкостью механизма разворачивания по сравнению с существующими каркасными и бескаркасными парусами. Предлагается использовать аппарат формата CubeSat для исследования динамики такого паруса, влияния его колебаний на угловую ориентацию КА в пространстве, а также измерения создаваемым парусом ускорения. Рассмотрены способы применения такой конструкции паруса для совершения перелетов и сведения КА с орбиты.

**Ключевые слова:** солнечный парус, CubeSat, перелет Цандера, малый космический аппарат, верхняя атмосфера, динамика конструкции

**Введение.** В настоящий момент, актуальной проблемой создания космических аппаратов (КА) с солнечным парусом является конструирование механизма его разворачивания. Так, в случае каркасных солнечных парусов, могут быть использованы треугольные рулонные складывающиеся стрелы. К примеру, данной конструкцией были оборудованы аппараты NanoSail-D2 [1] и LightSail 2 [2]. Основным недостатком такой конструкции является ее сложность и большая масса, что влияет на максимально достижимую парусность аппарата. В случае бескаркасного солнечного паруса, его форма поддерживается за счет внешних сил или сил инерции. Таким парусом были оборудованы, например, аппараты IKAROS [3] и Знамя-2 [4]. И этот тип паруса не совершенен вследствие необходимости раскручивать КА для создания центробежных сил, действующих на парус, причем, чем больше площадь паруса, тем больше требуется кинетический момент, который необходимо сообщить КА. Но, помимо этого, возможно применение и космического паруса с неподкрепленной конструкцией, представляющий собой ленту один конец которой свободный, а другой закреплен на КА. Механизм раскрытия такой конструкции паруса можно сделать достаточно простым и легким.

**Методы и материалы; результаты.** Не смотря на, простоту конструкции паруса в виде свободной ленты, очевидным остается факт невозможности управления положением паруса относительно Солнца. Предполагается, что средняя составляющая тяги, создаваемой парусом, будет направлена по направлению движения солнечных лучей. Такое направление тяги, например,

позволит КА совершить межпланетный перелет Цандера по касательному гелиоцентрическому эллипсу.

Под воздействием солнечных лучей парус будет совершать сложное колебательное движение, для изучения которого предлагается использовать малый космический аппарат типа CubeSat. Этот КА, разрабатываемый студенческим коллективом в МГТУ им. Н.Э. Баумана, будет оборудован системой выброса космического паруса, который будет смотан в рулон, один из концов которого будет закреплен на КА. В момент начала раскрытия солнечного паруса, рулон будет выталкиваться из КА с помощью пружинного механизма. Так как рулону сообщена начальная скорость и один из его концов закреплен на КА, то конструкция солнечного паруса начнет раскрываться.

Малый космический аппарат будет измерять создаваемое парусом ускорение и влияние колебаний паруса на угловое положение аппарата

Помимо давления солнечного света, на космический парус аппарата на низкой околоземной орбите, будут оказывать влияние еще и аэродинамические силы в верхней атмосфере Земли, которые будут замедлять аппарат, и уменьшать высоту его орбиты. Поэтому, в эксперименте предлагается исследовать возможность применения солнечного паруса в качестве аэродинамического тормоза для сведения КА с орбиты в конце срока его эксплуатации. Для этого в данной работе рассчитан темп снижения высоты орбиты КА со сложенным и с раскрытым парусом. Результаты расчета будут проверены в предлагаемом эксперименте, и будут сделаны соответствующие выводы о целесообразности использования предлагаемой конструкции в качестве аэродинамического тормоза.

**Заключение.** В докладе предложено устройство малого космического аппарата с бескаркасным космическим парусом с неподкрепленной конструкцией, а также рассмотрена конструкция раскрытия паруса. Предложены способы применения рассмотренного солнечного паруса для совершения орбитальных маневров и свода КА с орбиты.

#### Список источников

- [1] Katan C. NASA's Next Solar Sail: Lessons from NanoSail – D2. *26th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites: Enhancing Global Awareness through Small Satellites*, Logan, UT, USA, 2012.
- [2] Spencer D.A., Betts B., Bellardo J.M., Diaz A., Plante B., Mansell J.R. The LightSail 2 Solar Sailing Technology Demonstration. *Advances in Space Research*, 2020, vol. 67, iss. 9. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.06.029>
- [3] Mori O., Sawada H., Funase R. et al. First Solar Power Sail Demonstration by IKAROS. *The Japan society for aeronautical and space sciences*, 2010, vol. 8, no. ists27, pp. To\_4\_25-To\_4\_31. [https://doi.org/10.2322/tastj.8.To\\_4\\_25](https://doi.org/10.2322/tastj.8.To_4_25)
- [4] Райкунов Г.Г., Комков В.А., Мельников В.М., Харлов Б.Н. *Центробежные бескаркасные крупногабаритные космические конструкции*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2009, 448 с.