

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОННОГО ДВИЖИТЕЛЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ОРБИТЫ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Э.А. Губжев

gubzheveaa@student.bmstu.ru

SPIN-код: 5932-2446

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

До настоящего времени фотонную тягу не применяли для изменения параметров орбиты космических аппаратов, что было обусловлено малостью силы тяги. В данной работе выполнена оценка возможности использования фотонных движителей для поддержания орбиты малого космического аппарата, а также для сведения его с орбиты. Для этого оценено время существования спутника с учетом наличия фотонных движителей и без них. В результате работы обоснована возможность использования фотонных движителей для поддержания малого космического аппарата на примере спутника Flock-1. В результате исследования установлено, что рассмотренный способ поддержания высоты орбиты можно применять при разработке перспективных малых космических аппаратов. Основным достоинством способа является простота, а его недостатком — энергозатратность.

Ключевые слова

Фотонный движитель, космический мусор, низкоорбитальный аппарат, наноспутник, низкая орбита, коэффициент лобового сопротивления, атмосфера, время существования спутника на орбите

Поступила в редакцию 04.10.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. В связи с появлением спутников формата CubeSat и, как следствие, увеличением числа спутников и участников космической деятельности становится актуальной проблема космического мусора [1]. С этих позиций основную опасность представляет тенденция создания малых космических аппаратов классов нано-, пико- и фемто. Так, в 2017 г. индийской ракетой было запущено 104 космических аппарата, из них 101 — класса CubeSat [2]. Однако аппараты подобного типа, как правило, не обладают собственным реактивным двигателем для сведения их с орбиты по выработке ресурса. Поэтому запуск подобных спутников на орбиты, где время их нахождения будет существенным, способно привести к коллапсу [3]. В данной работе рассмотрена возможность поддержания расположения малого космического аппарата на орбите, где влияние аэродинамических сил существенно, за счет фотонной тяги.

Часть вырабатываемой на борту электрической энергии тратится на создание тяги, противодействующей силе аэродинамического сопротивления. В результате спутник может находиться на орбите неограниченно долго до тех пор,

пока на борту функционирует аппаратура. При выходе ее из строя спутник самопроизвольно будет сведен с орбиты в результате воздействия аэродинамических сил, не становясь таким образом космическим мусором. Помимо проблемы космического мусора существует необходимость создания низкоорбитальных аппаратов, например для изучения атмосферы и гравитационного поля Земли [4, 5]. Следовательно, проблема ограниченного существования на низкой орбите также является актуальной.

В настоящее время наиболее распространенными являются корректирующие двигательные установки на основе химической и электрической энергии [6, 7]. Например, в низкоорбитальном аппарате GOCE для поддержания орбиты использовались ионные двигательные установки [8].

Новым направлением развития способов коррекции орбиты является использование фотонной тяги. В качестве примера можно привести проект «Парус-МГТУ», в котором в качестве движителя используется солнечный парус, работа которого основана на эффекте давления электромагнитного излучения Солнца [9]. В данной работе проведена оценка возможности использования фотонных движителей для поддержания орбиты спутника. Здесь под фотонными движителями будем подразумевать не солнечный парус, а источник света, для работы которого необходимо затратить электрическую энергию.

Постановка задачи. Рассмотрим наноспутник типа CubeSat формата 3U на низковысотной орбите. Примером такого аппарата может быть спутник Flock-1 [10, 11]. Спутники этой серии размещаются на круговой орбите высотой 400 км и предназначены для дистанционного зондирования Земли с помощью фотокамеры видимого диапазона. Время существования спутника 3–5 месяцев, масса аппарата 5 кг. Солнечные батареи обеспечивают спутник мощностью 20 Вт. При запуске аппарата они располагаются вокруг его корпуса, а впоследствии раскрываются.

Для расчета в данной статье в качестве объекта исследования выбран спутник типа CubeSat, подобный Flock-1 формата 3U, со следующими параметрами:

- масса $m = 5$ кг;
- площадь миделевого сечения $S = 0,1 \times 0,1$ м, поскольку предполагается, что солнечные батареи и продольная ось аппарата ориентированы параллельно потоку;
- мощность фотонного двигателя при расчете принята равной $W = 10$ Вт. Для ее обеспечения требуется дополнительная мощность 10...20 Вт, зависящая от орбиты и размера теневой зоны и получаемая от солнечной батареи. Предполагается, что мощность солнечной батареи может быть увеличена вдвое путем увеличения площади разворачиваемых батарей без кардинальных изменений в конструкции спутника рассматриваемого типа;
- длина $L = 340,5$ см;
- коэффициент лобового сопротивления $C_x = 1,688$ в соответствии с [12].

Оценка сил, действующих на аппарат. На аппарат действуют сила лобового сопротивления и сила тяги фотонного движителя:

$$F_{\text{аэр}}(h) = \frac{\rho(h)C_x S}{2} V^2; \quad F_{\phi} = \frac{W}{c},$$

где $\rho(h)$ — функция плотности атмосферы от высоты, полученная по данным модели атмосферы *MSIS-E-90* [13]; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света.

По приведенным выше уравнениям можно построить графические зависимости для $F_{\text{аэр}}(h)$ и F_{ϕ} (рис. 1).

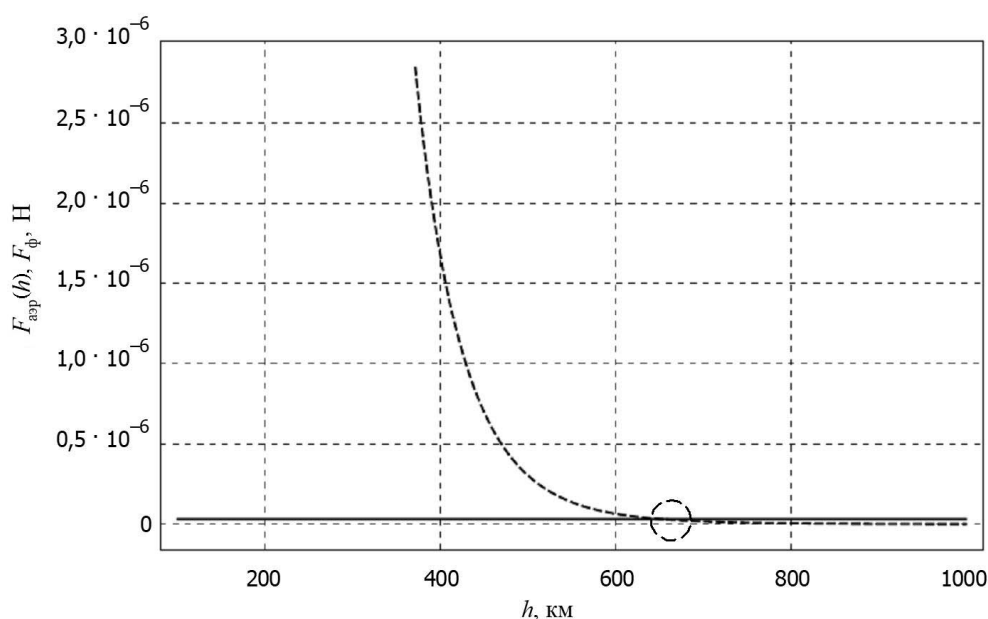


Рис. 1. Силы, изменяющие параметры траектории малого космического аппарата:

— фотонная тяга; - - - сила лобового сопротивления

На рис. 1 видно, что на определенной высоте фотонная тяга становится равной силе лобового сопротивления. Из уравнения

$$F_{\text{аэр}}(h) - F_{\phi} = 0$$

можно получить высоту, при которой спутник будет компенсировать силу лобового сопротивления, используя фотонную тягу. В данном случае эта высота равна 652 441 м.

Использование фотонной тяги для перевода спутника на орбиту захоронения. Зачастую малые космические аппараты запускают именно на высоты в окрестности 600 км, поэтому представляется важной оценка времени существования спутника при выключенных и включенных фотонных движителях. Пусть изначально КА рассматриваемого вида расположен на круговой орбите высотой $h = 600$ км. Для спуска с орбиты вектор тяги направлен в ту же сторону, что и вектор силы лобового сопротивления.

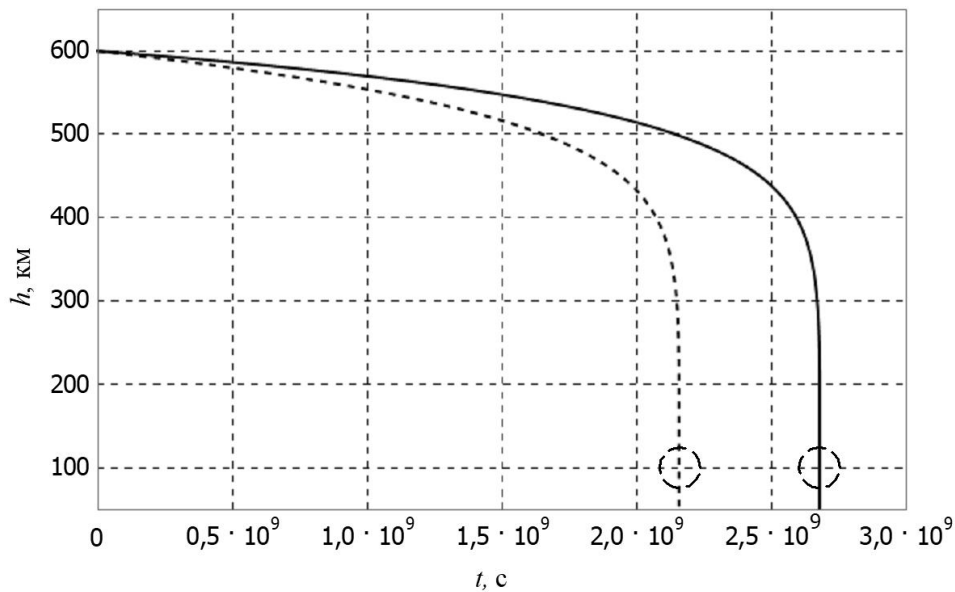


Рис. 2. Зависимость высоты от времени:
 — при наличии фотонной тяги; - - - без тяги

Как можно увидеть на рис. 2, время спуска спутника без фотонной тяги составляет $t_1 = 85$ лет, при ее наличии — $t_2 = 68$ лет. Таким образом, использование фотонной тяги для сведения малого космического аппарата с орбиты сокращает время спуска на 19,5 %.

Выводы. Проведена оценка возможности использования фотонных двигателей для компенсации силы лобового сопротивления атмосферы и поддержание орбиты малого космического аппарата. Для выбранных параметров вычислена высота, при которой тяга фотонных двигателей равна силе лобового сопротивления. Также обоснована эффективность использования фотонной тяги для сведения спутника с орбиты.

Литература

- [1] Трофимов С.П. *Увод малых космических аппаратов с низких околоземных орбит*. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2015, 125 с.
- [2] Индия запустила 104 спутника на одной ракете — новый мировой рекорд. URL: <https://geektimes.ru/post/285918/> (дата обращения 05.03.2018).
- [3] Wiedemann, C., Vörsmann, P. Space debris – current situation. Technical University of Brunswick – Institute for Aerospace Systems, 2012, 12 p.
- [4] Петрукович А.А., Никифоров О.В. Малые спутники для космических исследований. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2016, т. 3, № 4, с. 22–31.
- [5] Гансвинд И.Н. Современные космические технологии изучения земли как системы. *Электронные библиотеки*, 2017, т. 20, № 1, с. 39–49.

- [6] Туманов А.В., Зеленцов В.В., Щеглов Г.А. *Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 344 с.
- [7] Bozhanov T. Analysis of electric propulsion systems for drag compensation of small satellites in low earth orbits. The University of Manchester, 2017, 110 p.
- [8] Wallace N., Jameson P., Saunders C., Fehring M., Edwards C., Floberghagen R. The GOCE ion propulsion assembly – lessons learnt from the first 22 months of flight operations. 32nd Int. Electric Propulsion Conf., IEPC-2011-327, Wiesbaden, Germany, 2011, 21 p.
- [9] Парус-МГТУ. URL: <https://bsail.ru/> (дата обращения 11.03.2018).
- [10] Planet – Flock imaging constellation. URL: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/flock-1> (дата обращения 05.03.2018).
- [11] Купцов В.В., Письмаров А.В., Фролов В.А. Влияние форм поперечных сечений низкоорбитальной Космической платформы на коэффициент лобового сопротивления. XIII *Королёвские чтения*. Самара, СГАУ, 2015, с. 110–111.
- [12] MSIS-E-90 Atmosphere Model. URL: https://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis_vitmo.html (дата обращения 05.03.2018).

Губжев Этек Артурович — студент кафедры «Аэрокосмические системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Попов Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Аэрокосмические системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

ASSESSMENT OF POSSIBILITY OF PHOTON DRIVE APPLICATION IN ORDER TO MAINTAIN SMALL SPACECRAFT ORBIT

E.A. Gubzhev

gubzheveaa@student.bmstu.ru
SPIN-code: 5932-2446

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Until the present time, photon thrust has not been used to change parameters of spacecraft orbit, which was due to the smallness of thrust power. In this paper, possibility of photon drive application to maintain orbit of small spacecraft, as well as to reduce it from orbit, was estimated. For this purpose, satellite lifetime was estimated, considering presence of photon drives and without them. As a result, the work justified possibility of photon drive application to support small spacecraft as exemplified by Flock-1 satellite. As a result of the research, it was established that the considered method of orbit altitude maintaining can be used in development of promising small spacecraft. The main advantage of this method is its simplicity, its disadvantage is its energy consumption.

Keywords

Photon drive, space garbage, low-orbiting spacecraft, nanosatellite, low orbit, head drag coefficient, atmosphere, orbiting satellite lifetime

Received 04.10.2018

© Bauman Moscow State Technical
University, 2018**References**

- [1] Trofimov S.P. *Uvod malykh kosmicheskikh apparatov s nizkikh okolozemnykh orbit*. Diss. kand. fiz.-mat. nauk [Low-earth deorbit of small spacecraft. Kand. phys.-mat. sci. diss.]. Moscow Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences RAS, 2015, 125 p.
- [2] Indiya zapustila 104 sputnika na odnoy rakete — novyy mirovoy record [India launched 104 satellites in one spacecraft — new world record]. Available at: <https://geektimes.ru/post/285918/> (accessed 05 March 2018).
- [3] Wiedemann, C., Vörsmann, P. Space debris – current situation. Technical University of Brunswick — Institute for Aerospace Systems, 2012, 12 p.
- [4] Petrukovich A.A., Nikiforov O.V. Small satellites for scientific research. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-space device engineering and information systems], 2016, vol. 3, no. 4, pp. 22–31.
- [5] Gansvind I.N. Currently available space technologies for earth system study. *Elektronnyye biblioteki* [Russian Digital Libraries Journal], 2017, vol. 20, no. 1, pp. 39–49.
- [6] Tumanov A.V., Zelentsov V.V., Shcheglov G.A. *Osnovy komponovki bortovogo oborudovaniya kosmicheskikh apparatov* [Fundamentals of spacecraft onboard equipment layout]. Moscow, Bauman Press, 2010, 344 p.
- [7] Bozhanov T. Analysis of electric propulsion systems for drag compensation of small satellites in low earth orbits. The University of Manchester, 2017, 110 p.
- [8] Wallace N., Jameson P., Saunders C., Fehringer M., Edwards C., Floberghagen R. The GOCE ion propulsion assembly — lessons learnt from the first 22 months of flight operations. 32nd Int. Electric Propulsion Conf., IEPC-2011-327, Wiesbaden, Germany, 2011, 21 p.

- [9] Parus-MGTU [Sail-MSTU]. Available at: <https://bsail.ru/> (accessed 11 March 2018).
- [10] Planet — Flock imaging constellation. Available at: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/flock-1> (accessed 05 March 2018).
- [11] Kuptsov V.V., Pis'marov A.V., Frolov V.A. Vliyaniye form poperechnykh secheniy nizkoorbital'noy Kosmicheskoy platformy na koeffitsient lobovogo soprotivleniya [Effect of low-orbit space platform cross section on head drag coefficient]. *XIII Korolevskie chteniya* [XIII Korolev Readings]. Samara, SSAU, 2015, pp. 110–111.
- [12] MSIS-E-90 Atmosphere Model. Available at: https://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/msis_vitmo.html (accessed 05 March 2018).

Gubzhev E.A. — student, Department of Aerospace Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.S. Popov, Assist. Professor, Department of Aerospace Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.