

# **Математическое моделирование конструкции солнечных парусов системы ориентации орбитального космического аппарата**

Артюшкин В.И.

*Московский Институт Электроники и математики НИУ ВШЭ  
sartyushkin@gmail.com*

Малашкин А.В.

*Московский Институт Электроники и математики НИУ ВШЭ  
malashkin\_a\_v@mail.ru*

**Аннотация.** В работе исследуется одна из концепций конструкции космического солнечного паруса с изменяемыми отражающими свойствами, применяемого для ориентации на околоземной орбите. Обсуждается программа для моделирования поведения космического аппарата (далее КА), позволяющая оценить возможности подобной двигательной системы для произвольных параметров КА.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, солнечные паруса

## **1 Общие сведения**

Солнечным парусом принято называть очень тонкий, большой по площади, имеющий малую массу отражатель. В силу того, что система использует внешний источник энергии – давление солнечного света, она не нуждается в запасах рабочего тела как такового, что выгодно отличает её от привычных двигательных систем. Также очевидным достоинством системы является возможность придания сколь угодно длительного и, что крайне важно – непрерывного, хоть и не большого, ускорения КА.[1][2]

Так, японский космический аппарат IKAROS запущенный 21 мая 2010 года можно назвать первым в мире успешным проектом на солнечных парусах (рис.1). Площадь его паруса составила всего 200 м<sup>2</sup>, что равно квадрату со стороной в 14 метров. Также стоит отметить, что в проекте IKAROS впервые использовались вставки из жидкокристаллических материалов, способных менять свои отражающие свойства. Благодаря этому появляется возможность за счёт варьирования конфигурации отражающих поверхностей паруса изменять точку приложения силы солнечного давления и направления этой силы, а значит, создавать момент силы и изменять ориентацию КА.

Для реализации такого использования паруса была предложена оригинальная концепция КА, где к основному блоку КА крепятся на ортогональных друг другу длинных штангах шесть сфер солнечного паруса, разбитые на элементарные управляемые участки – пиксели (рис.2).

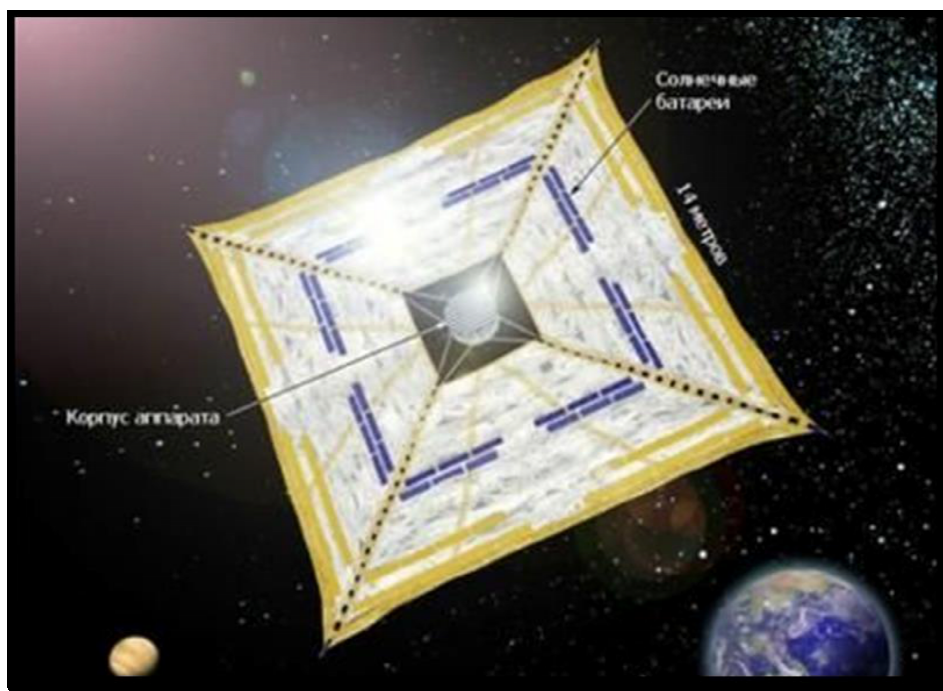


Рис.1 Японский аппарат IKAROS

Соответственно, каждому пикселю можно задать одно из двух состояний: активное – пиксель переходит в режим максимального отражения падающего света; неактивное – пиксель пропускает или поглощает большую часть падающего света. [3]

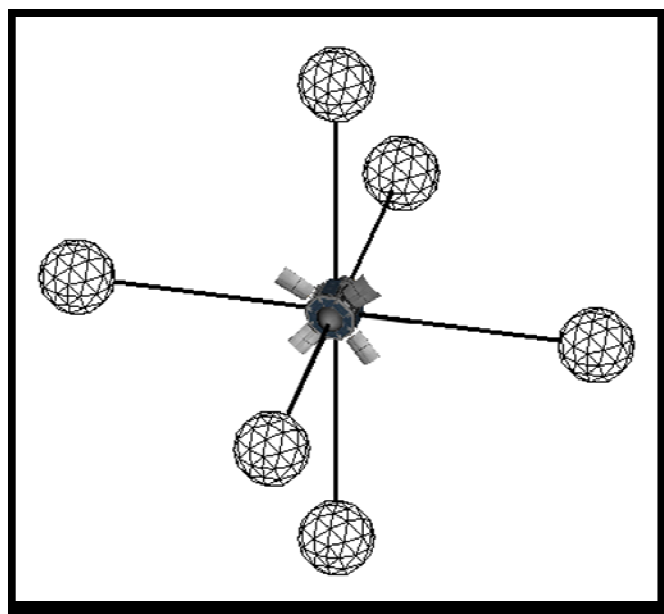


Рис. 2 Рассматриваемая концепция

## 2 Цели исследования

Целью исследования является рассмотрение ранее не учитывавшихся факторов при моделировании подобной концепции КА, а также исследование семейства подобных конструкций с целью проверки возможности их упрощения при сохранении управляемости и надёжности.

## 3 Текущее состояние исследования

В рамках исследования была разработана программа для моделирования поведения КА подобной конструкции при совершении произвольного манёвра и стабилизации в приобретённой ориентации (рис.3). Программа написана на языке C++ в среде разработки Microsoft VisualStudio 2012 с использованием OpenGL для отрисовки внешнего вида КА и графиков различных контролируемых величин.

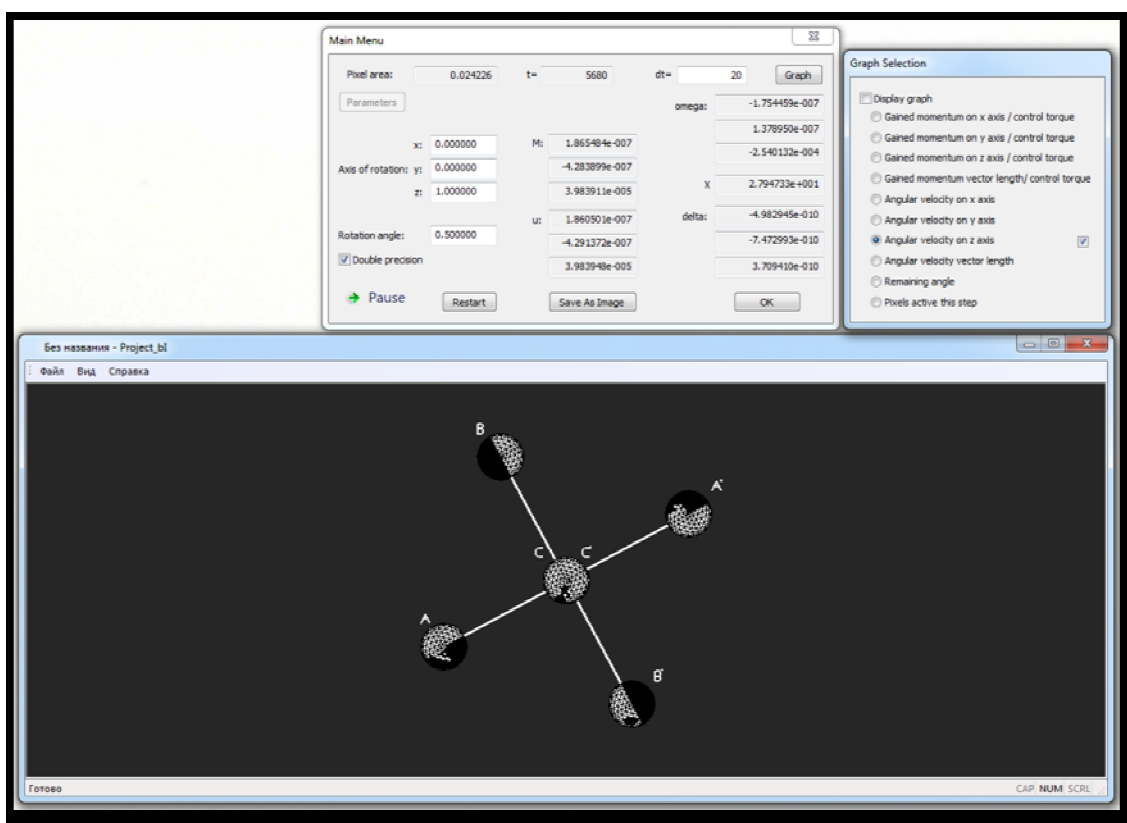


Рис. 3 Разработанная программа в процессе моделирования

Программа была протестирована на моделировании манёвров, исследованных ранее в других работах. Позже с помощью программы было модернизировано выбранное для произведения манёвров управление на скользящих режимах[4] и были определены параметры управления, удовлетворяющие поставленным критериям оптимальности.

#### **4 Перспектива развития исследования**

В дальнейшем планируется разработать алгоритмы управления, обеспечивающие гарантированную возможность управления парусом (ориентацией КА) при различных нештатных ситуациях, связанных с выходом из строя (повреждением) части конструкции паруса, оптимизировать конструкцию паруса с целью ее упрощения, а также построить оценки эффективности управления в различных условиях выполняемой миссии.

В результате работы на основании проведенных численных экспериментов будут разработаны алгоритмы для рекомендации выбора типа паруса для каждой из анализируемых космических миссий.

#### **Список литературы**

**[Wright J., 1992]** Wright, J., Space Sailing, Gordon and Breach Science Publishers, Philadelphia, 1992.

**[McInnes C., 1999]** McInnes, C., Solar Sailing. Technology, Dynamics and Mission Applications, Springer-Praxis, Berlin, Heidelberg, New York, Chicester, 1999.

**[Чумаченко Е.Н. и др., 2014]** Чумаченко Е.Н., Назиров Р.Р., Данхэм Д.У., Федоренко А.Н. Управление космическими аппаратами с помощью солнечного излучения // Космические исследования, 2014, Т. 52, № 3. - с. 257-263.

**[Chuanjiang Li и др., 2005]** Chuanjiang Li, Yibo Wang, Liang Xu, Zhongzhao Zhang. Spacecraft attitude stabilization using optimal sliding mode control // ISSCAA 2010 - The 3rd International Symposium on Systems and Control in Aeronautics and Astronautics, 2010, Harbin / China, с. 1085-1089.