

## Управление формой космического аппарата для гравитационной стабилизации

Научный руководитель – Кирнева Юлия Валериевна

*Голубев Алексей Михайлович*

*Абитуриент*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия  
E-mail: [lexg888@mail.ru](mailto:lexg888@mail.ru)

Видеоролик о работе (апрель 2023 г.): <https://youtu.be/UgT9GK-tT70?si=1ugIH5G8VLqitvFW>

Исследование началось с обсуждения простейшего опыта. Деревянная рейка была привязана к верёвке. Потом верёвка была раскручена. Цель эксперимента заключалась в выяснении вопроса о положении рейки во время вращения. Оказалось, что неподвижная рейка висит вертикально, но при раскрутке занимает горизонтальное положение. Вращение может происходить только относительно центра масс. Значит, таким способом можно найти эту точку экспериментально, а потом применить результат для космических аппаратов (КА).

Сначала цель заключалась в определении положения центра масс на вращающемся предмете. Современные фотоаппараты позволяют работать с маленькими выдержками. Для проверки гипотезы нужно было убедиться, что фотоаппаратом можно изучать быстрое вращение деталей. Когда рейка вращается, на ней нельзя поставить точку, но зафиксировать положение центра масс нужно. Появилось предложение применить аналог метода хроматографии. Поэтому на рейке заранее были нарисованы разноцветные линии: синяя, красная, зелёная, чёрная. На фотографии видно, рядом с какой линией находится центр масс.

Первые полученные результаты были применены для изучения движения космических аппаратов по орбитам вокруг Земли. Такое движение изучают в Военно-космической Академии им. А.Ф.Можайского [1]. Системы стабилизации и ориентации нужны практически во всех космических аппаратах [2].

Искусственные спутники существуют на орбитах из-за шарообразной формы Земли. В центральном поле тяжести Земли вектор ускорения свободного падения не имеет постоянного направления, и его величина подчиняется закону обратных квадратов – чем ближе к центру тяготения, тем больше величина силы тяжести. Появилась задача о положении космического аппарата в центральном поле Земли. В отличие от однородного поля тяжести, только одно положение предмета на орбите будет устойчивым. Оказалось, что такое положение связано с вращением конструкции вокруг центра масс, как линейки на верёвке. Действительно, при повороте центр масс остаётся неподвижным. Значит, конструкция будет двигаться подобно вращающейся рейке, но только медленно. Космический аппарат будет стремиться повернуться к устойчивому положению, но тоже очень медленно из-за малого различия в силах тяжести его частей. Если космический аппарат имеет вытянутую форму, то он повернётся вдоль силы притяжения (рис.1).

Для гравитационной стабилизации нужна вытянутая форма КА. Модели вытянутых конструкций изготовлены из бумаги. В моделях учтены особенности для перспективного исследования. Главная особенность, выносимая на защиту, - это управление положением КА на орбите посредством изменения формы конструкции. В моделях предусмотрены

выдвигаемые блоки по трём координатным осям. Если нужно развернуть КА на орбите определённой осью по местной вертикали, то выдвигается блок именно вдоль этой оси (рис.2). КА становится удлинённым по выбранной оси и разворачивается с помощью гравитационных сил. Модели космических аппаратов изменяемой формы изготовлены из бумаги в виде удлинённого параллелепипеда и куба [3]. Так как вращение конструкции возможно вокруг трёх координатных осей, то предусмотрены три системы выдвигаемых блоков. В модели предложены телескопические механизмы из трёх деталей, выдвигаемых из главного корпуса или убираемых в него. Выдвижение происходит в зависимости от требования развернуть космический аппарат на орбите вокруг определённой оси, не обязательно основной. Изготовленные бумажные модели были испытаны на вращение таким же способом, как и рейка (рис.3). Эксперименты с вращением изготовленных моделей подтвердили правильность гипотезы о гравитационной стабилизации космического аппарата [4,5]. Во время опытов выдвигались различные блоки конструкции, при этом изменялось положение КА при вращении, которое моделирует гравитационную стабилизацию и ориентацию.

### Источники и литература

- 1) Сударь Ю.М., Щербаков В.И., Юлина А.О. Пассивная гравитационная стабилизация космического аппарата на геостационарной орбите / Труды Военно-космической Академии им. А.Ф.Можайского. - №672. – 2020. – С.326-335.
- 2) Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.
- 3) The CubeSat standard. – Электронный ресурс: <https://www.cubesat.org/>
- 4) Алексей Голубев. 8 класс. Гравитационная стабилизация космических аппаратов. – Электронный ресурс (видеоролик 1:58): <https://youtu.be/UgT9GK-tT70>
- 5) Голубев А.М. Космический аппарат изменяемой формы для гравитационной стабилизации / Материалы VI Всероссийской конференции «Умный мир руками детей 2023». Троицк-Москва, 28-29 июня 2023 г. – Ред. группа Алексеев М.Ю. и др. – БАЙТИК, 2023. – С.29-33. - [https://2023-lk.um-mir.ru/uploads/files/sbornik\\_2023.pdf?56050074](https://2023-lk.um-mir.ru/uploads/files/sbornik_2023.pdf?56050074)

### Иллюстрации

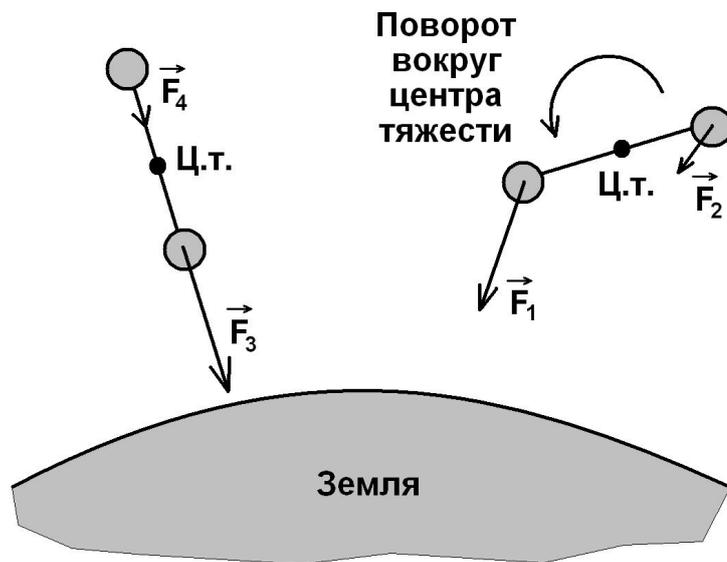


Рис. : 1. Принцип гравитационной стабилизации КА.

**Управление положением КА посредством изменения формы конструкции**

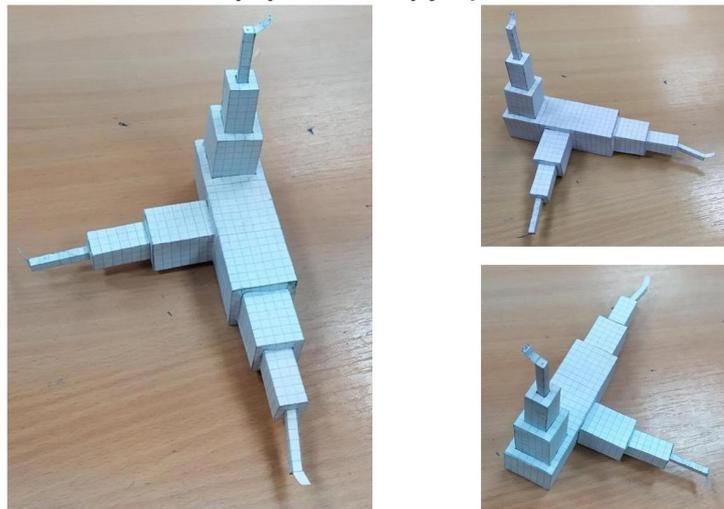


Рис. : 2. Изменение формы КА для гравитационной стабилизации.

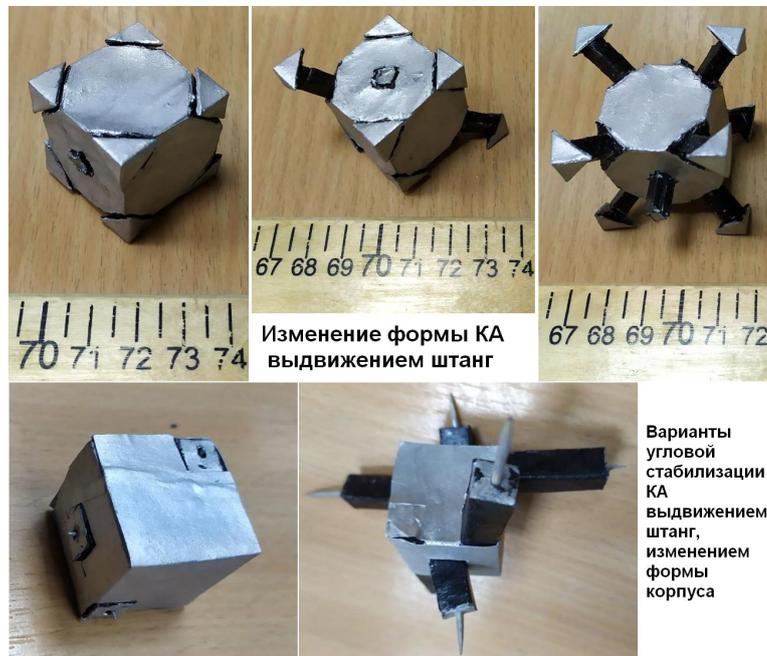


Рис. : 3. Модели КА изменяемой формы для гравитационной стабилизации.