

РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ МОДЕЛЬ ГИРОДИНА

Индыгашева Н.С.

*Томский политехнический университет. г. Томск
Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент
кафедры точного приборостроения*

Первые космические аппараты (спутники), предназначенные для исследования космоса, не имели систем ориентации. Необходимость последних возникла в связи с расширением и углублением космических исследований, проведением научных экспериментов и решением непрерывно расширяющегося круга практических задач в области связи, метеорологии, навигации наземных средств транспорта, геологии, а также задач техники применения космических аппаратов.

Основная задача системы управления космического аппарата – это компенсация возмущений, действующих на него в полете (или неточности выведения), а также программное наведение.

Одним из основных элементов систем управления является исполнительный орган. По типу исполнительного органа все эти системы можно разделить на следующие типы:

1. Гравитационные системы ориентации.
2. Системы ориентации и стабилизации, у которых исполнительными органами являются реактивные двигатели.
3. Системы ориентации с моментным магнитопроводом, создающим управляющий момент с помощью тока в электрическом контуре космического аппарата.
4. Аэродинамические системы ориентации.
5. Системы ориентации и стабилизации, у которых исполнительными органами являются двигатели-маховики.
6. Стабилизация вращением.
7. Комбинированные системы ориентации и стабилизации, в качестве исполнительного органа у которых используются с двигателем-маховиком либо моментные магнитопроводы в режиме грубой ориентации, либо реактивные двигатели.

Исполнительные органы перечисленных систем можно классифицировать на два основных типа:

- исполнительные органы, использующие внешние по отношению к космическому аппарату силы для создания управляющих моментов;
- исполнительные органы, основанные на реактивных принципах.

Отличительной особенностью и главным преимуществом последних является их способность работать при отсутствии какого бы то ни было полезного взаимодействия с внешней средой. Независимость от окружающей среды предоставляет большие возможности для удовлетворения самых разнообразных требований, необходимость выполнения которых может возникнуть при разработке конкретной системы ориентации.

В этом классе исполнительного органа можно выделить две разновидности: управляющие реактивные двигатели систем ориентации, создающие реактивные силы, и инерционные исполнительные органы, генерирующие реактивные моменты.

Инерционные исполнительные органы, выполненные в виде вращающихся осесимметричных тел называют силовыми гироскопами, гироскопическими силовыми стабилизаторами, электромеханическими исполнительными органами, гиродинами

В зависимости от назначения космического аппарата (спутник связи, геодезический спутник и т.д.) системы ориентации могут быть различными, но задача у них одна – обеспечить требуемую ориентацию корпуса космического аппарата для выполнения необходимых технологических операций.

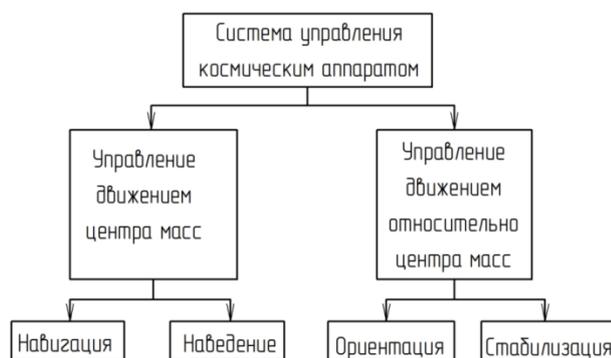


Рисунок 1. Схема системы управления космическим аппаратом

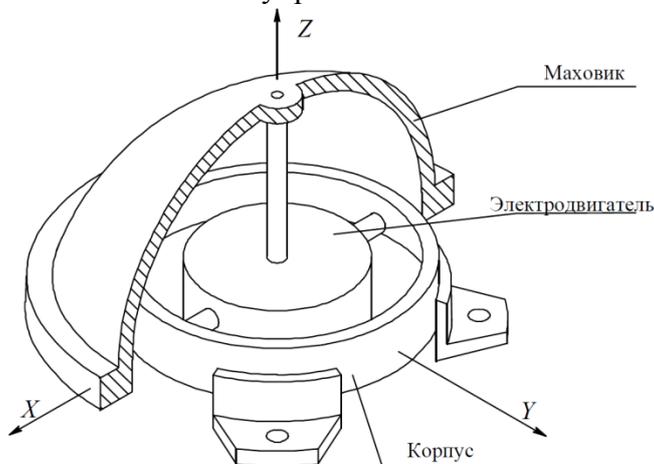


Рисунок 2. Исполнительный орган на основе двухстепенного силового гироскопа.

Проектирование маховика гиродина

Для проектирования маховика должны быть заданы основные параметры гиродина:

- Кинетический момент – 5 Н·м·с;
- Ресурс – 5 лет минимум;
- Масса – 7 кг;
- Потребляемая мощность – максимум 20 Вт;
- Высота обода маховика – 40 мм;
- Скорость – 10000 об/мин.

На первом этапе проектирования гиродина мы рассчитаем и построим 3D модель маховика, так как маховик является основным элементом гиродина.

Для того чтобы рассчитать габаритные размеры маховика такие как внутренний и наружный радиус маховика гиродина в первую очередь необходимо найти момент инерции маховика.

Момент инерции маховика определяется по формуле:

$$J = \frac{H}{\Omega},$$

где H – кинетический момент, Ω – скорость вращения маховика.

$$J = \frac{5H \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{1047 \text{с}^{-1}} = 0,048 \text{кг} \cdot \text{м}^2$$

Определяем диаметр обода маховика по формуле:

$$D = 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot J}{\pi \cdot \gamma \cdot h} \right)^{0,25},$$

где J – момент инерции маховика, $\gamma = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – удельная масса стали, h – высота обода маховика

$$D = 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,0048 \text{кг} \cdot \text{м}^2}{3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 \text{м}} \right)^{0,25} = 0,14 \text{м}$$

Внутренний радиус маховика вычисляется по формуле:

$$r = R \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{J}{0,5 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot h \cdot R^4}},$$

где R – наружный радиус маховика и равен $R = \frac{D}{2} = \frac{0,14}{2} = 0,07 \text{м}$

$$r = 0,07 \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{0,0048 H \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 \text{м} \cdot 0,07^2 \text{м}}} = 0,061 \text{м}$$

По полученным данным была построена 3D модель маховика в CAD-системе T-Flex CAD 2D/3D. На рисунке 3 приведена 3D модель маховика.

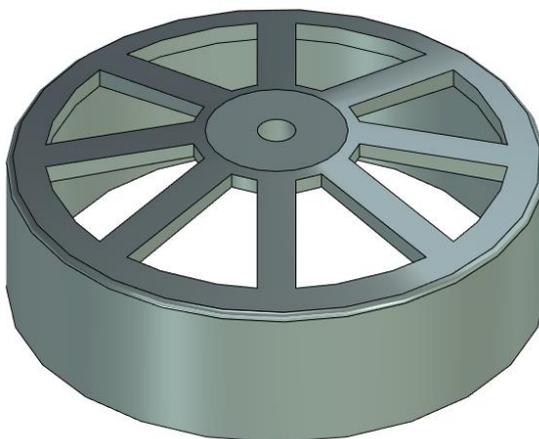


Рисунок 3. 3D модель маховика.

Масса обода маховика может быть рассчитана по формуле:

$$m = \pi \cdot \gamma \cdot (R - r) \cdot h$$

где $\gamma = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – удельная масса стали, R – внешний радиус обода маховика, r – внутренний радиус обода маховика, h – высота обода.

$$m = 3,14 \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot (0,07^2 \text{ м} - 0,061^2 \text{ м}) \cdot 0,04 \text{ м} = 1,155 \text{ кг}.$$

CAD-система T-Flex CAD 2D/3D позволяет рассчитать массу конструкции по ее 3D модели, при условии, что для 3D модели задан материал, из которого она будет изготовлена. На рисунке 4 приведены результаты расчета массы маховика.

Наименование	Значение	Едини...
Площадь поверхности	53905.8	кв. мм...
Объем	167987	куб. мм...
Масса	1.3103	килогр...
Координата X центра масс	-1.27474e-008	миллим...
Координата Y центра масс	4.94682e-015	миллим...
Координата Z центра масс	23.7562	миллим...
Момент инерции относительно оси X	3566.03	килогр...
Момент инерции относительно оси Y	3566.03	килогр...
Момент инерции относительно оси Z	5159.8	килогр...
Произведение инерции XY	-6.68116e-008	килогр...
Произведение инерции YZ	-3.39859e-008	килогр...
Произведение инерции ZX	-1.96914e-007	килогр...

Единицы измерения: Единицы массы: **Килограммы**, Линейные единицы: **Миллиметры**. Точность вычислений: 0.9. Кнопки: Расчёт, Экспорт, Выход.

Рисунок 4. Результаты расчета массы маховика

Для того чтобы иметь возможность рассматривать большое количество вариантов конструкции маховика, 3D модель маховика

необходимо сделать параметрической. На рис. 5 редактор переменных, изменяя значение какого-нибудь параметра, идет пересчет всех остальных параметров и изменяется вся конструкция.

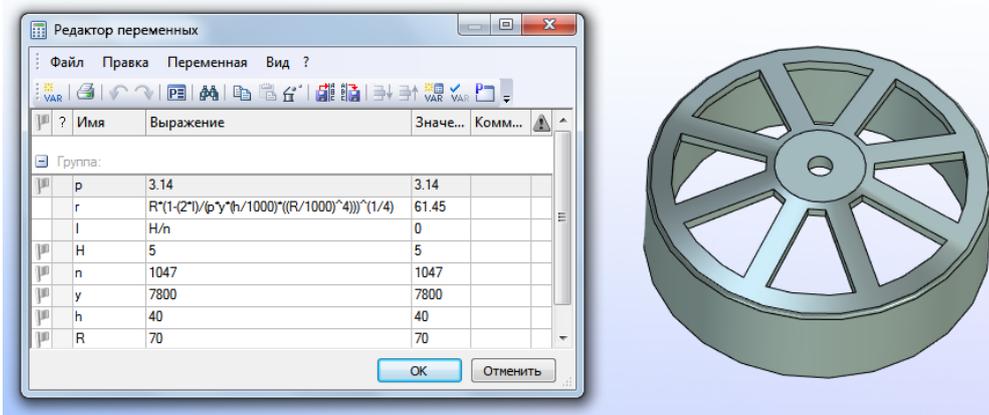


Рисунок 5. Редактор переменных

Список информационных источников

1. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 208с.