

## 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.

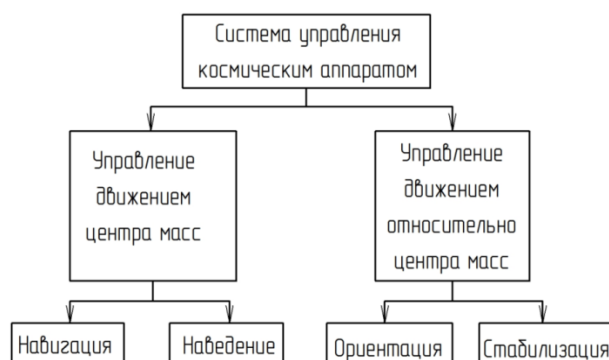


Рисунок 1. Схема системы управления космическим аппаратом

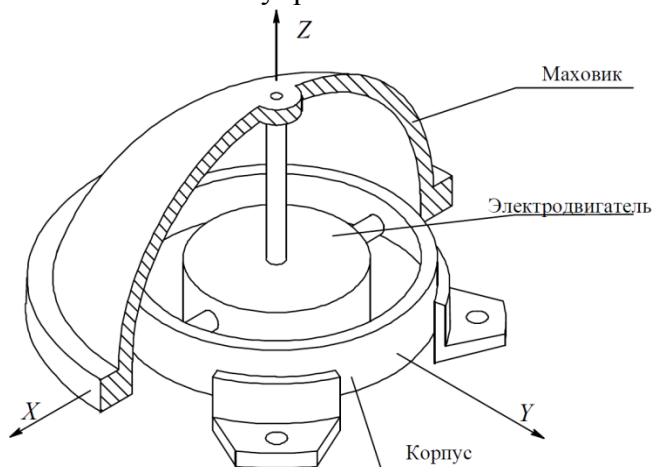


Рисунок 2. Исполнительный орган на основе двухстепенного силового гироскопа.

### 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,  $\Omega$  – 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.

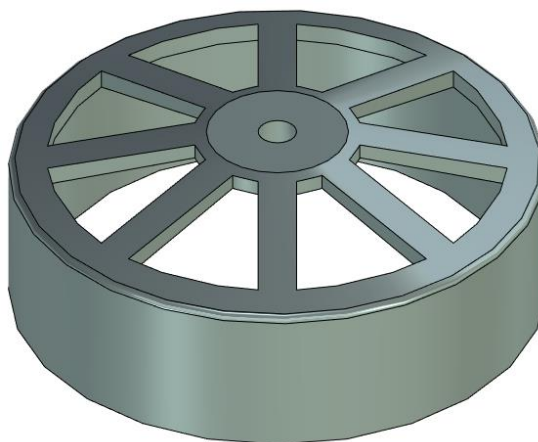


Рисунок 3. 3D модель маховика.

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.

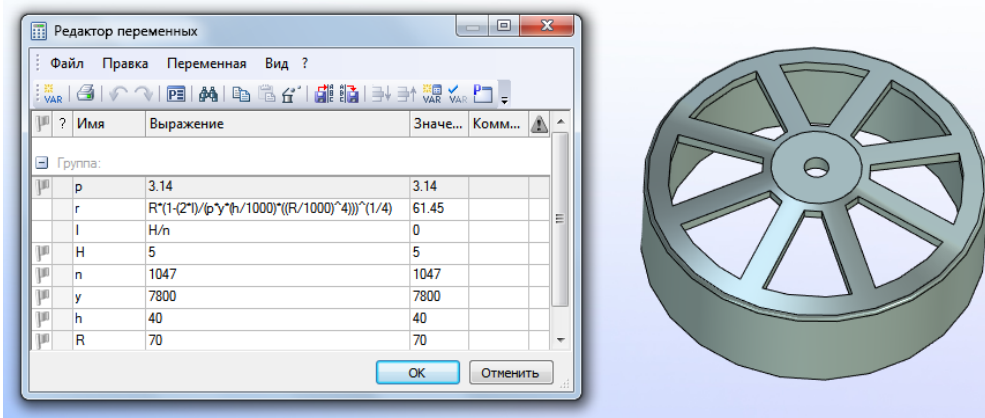


Рисунок 5. Редактор переменных

### 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.