

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МАХОВИКА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

*Аюшеев М.С.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Костюченко Т.Г, к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

Одной из важных задач космического приборостроения является быстрое и качественное создание систем ориентации, стабилизации и навигации, соответствующих требованиям технического задания, главным элементом которой является маховик.

Целью работы является проектирование параметрического маховика исполнительного органа системы ориентации малого космического аппарата с кинетическим моментом  $H = 0,2$  Нмс и максимальными размерами  $70 \times 70 \times 45$  мм.

Для расчета параметров маховика использовались следующие формулы:

момент инерции  $J = \frac{H}{\Omega}$ , где  $H$  – кинетический момент,  $\Omega$  – угловая скорость вращения[1];

момент инерции обода маховика:  $J_u = m \cdot R_u^2$ , где  $m$  – масса,  $R_u$  – радиус инерции[1];

масса:  $m = V \cdot \gamma$ ,  $V$  – объем,  $\gamma$  – удельная масса материала маховика[1];

объем:  $V = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)$ , где  $h$  – высота обода маховика,  $R$  – наружный радиус обода маховика;  $r$  – внутренний радиус обода маховика[1];

момент инерции обода маховика:  $J_u = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \gamma \cdot R_u^2$ , где  $\gamma$  – удельная масса материала маховика;  $\Omega$  – угловая скорость маховика;  $R$  – наружный радиус обода маховика;  $r$  – внутренний радиус обода маховика;  $h$  – высота обода маховика;  $R_u^2$  – радиус инерции;  $m$  – масса обода маховика [1].

Для первоначального построения 3D модели параметрического маховика и упрощения расчетов параметров маховика необходимо воспользоваться максимальными размерами маховика.

Для рассчитанных параметров маховика в системе T-Flex CAD была создана его параметрическая 3D модель, приведенная на рис. 1.

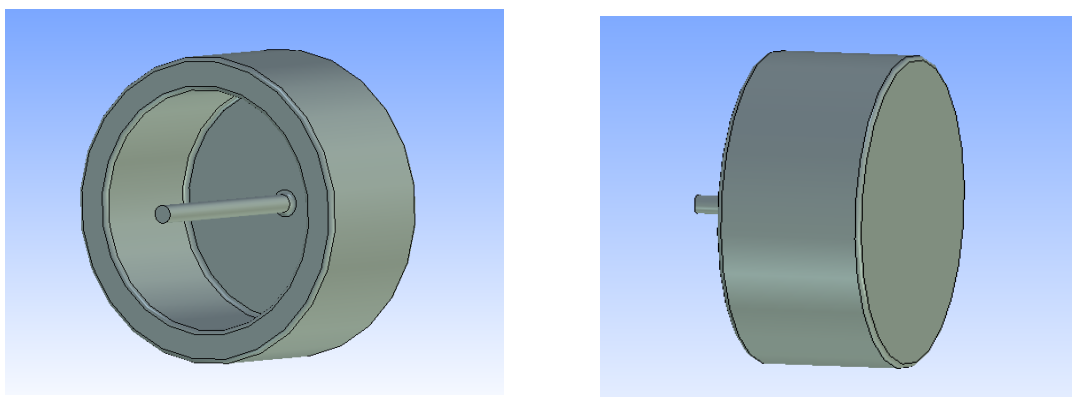


Рис. 1. Параметрическая 3D модель маховика

Внутренний радиус маховика рассчитывался по формуле :

$$r = R \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{J}{\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \pi \cdot h \cdot R^4}}$$

где  $\gamma$  - удельная масса материала маховика;  $R$  – наружный радиус обода маховика;  $r$  – внутренний радиус обода маховика;  $h$  – высота обода маховика;  $m$  – масса обода маховика;  $J$  – момент инерции.

Поскольку 3D модель маховика параметрическая, то при изменении наружного радиуса маховика модель полностью перестраивается, одновременно происходит пересчет параметров, зависящих от геометрических размеров маховика, в частности, внутреннего радиуса. При этом маховик обеспечивает кинетический момент, заданный в техническом задании.

Изменяя значение наружного радиуса, скорость вращения маховика и высоту обода маховика, можно добиться минимума массы маховика, что очень важно для приборов космического назначения.

На рисунке 2 показаны копии экрана редактора переменных при двух значениях наружного радиуса маховика, где видно изменение параметров маховика.

Имя	Выражение	Значение	Комментарий
Группа:			
x	a*1.06	37.1	
y	a*1.4545	50.9075	
c	a*0.2424	8.484	
л	-a*0.909	-31.815	
д	a*0.2727	9.5445	
б	$(a*0.001*(1+(J/(0.5*3.14*7800*(n*0.001)*(a*0.001)^4)))^{0.5}*1000$	23.616097	внутренний радиус
a	35	35	наружный радиус ...
w	6000	6000	Обороты в минуту
h	-л	31.815	
W	$w^2*3.14/60$	628	Рад/с
J	H/W	0.000318	Момент инерции ...
H	0.2	0.2	Кинетический мо...

Имя	Выражение	Значение	Комментарий
Группа:			
к	a*1.06	36.04	
у	a*1.4545	49.453	
с	a*0.2424	8.2416	
л	-a*0.909	-30.906	
д	a*0.2727	9.2718	
б	$(a*0.001*(1+(J/(0.5*3.14*7800*(n*0.001)*(a*0.001)^4)))^{0.5}*1000$	20.690426	внутренний радиус
a	34	34	наружный радиус ...
w	6000	6000	Обороты в минуту
h	-л	30.906	
W	$w^2*3.14/60$	628	Рад/с
J	H/W	0.000318	Момент инерции ...
H	0.2	0.2	Кинетический мо...

Рис. 2. Расчет внутреннего радиуса маховика при двух значениях наружного радиуса (34 и 35 мм) в редакторе переменных

Применение современных средств автоматизированного проектирования позволяет быстро и эффективно проектировать элементы конструкций космических аппаратов.

### Список информационных источников

1. Дмитриев В.С., Костюченко Т.Г., Гладышев Г.Н. Электромеханические исполнительные органы систем ориентации космических аппаратов. Часть 1: Учебное пособие, 2013.-208с.
2. Каргу Л.И. Система угловой стабилизации космических аппаратов. М:Машиностроение, 1973.-176с.

3. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. М.: Наука, 1994.-600с.

## **РАЗРАБОТКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА «СТРАТОСАТ» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО — ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В СТРАТОСФЕРЕ**

*Бетенекова Н.В.*

*Томский политехнический университет г. Томск*

*Научный руководитель: Боригов В.Н., д.т.н., профессор кафедры  
точного приборостроения*

В 1930 году, швейцарским учёным Пикаром, был сконструирован и построен первый в мире стратостат – летательный аппарат, использующий для полёта подъёмную силу заключённого в оболочке газа и предназначенный для полётов в стратосферу (на высоту 11- 30 километров). В 1931 году, Пикар осуществил первый полёт в стратосферу. С этого периода времени, активно начинается использование стратостатов и других летательных аппаратов, имеющих такой же принцип подъёма, для проведения научно- исследовательских экспериментов в условиях стратосферы.

Сейчас, среди групп энтузиастов и студентов, конструирование и запуск стратостатов является очень популярным занятием. В 2015 году, появилась идея, запустить стратостат, собранный и сконструированный при поддержке Томского Политехнического университета. Главным отличием данного летательного аппарата, от уже использующихся, является применение в качестве полезной нагрузки прототипа спутника формата Cubesat. Именно поэтому, данный летательный аппарат получил название “Стратосат” (Stratosat от англ. Stratosphere- стратосфера и satellite- спутник).

Данный стратосат разрабатывается в научно - исследовательских целях. Областью применения изделия является получение научно - практической информации о характеристиках стратосферы и производства аэросъёмки.

Стратосат рассчитан на выполнение работ в условиях стратосферы:

- 1.Высота: от 11 до 30 км
- 2.Давление: от 1 до 100 кПа
- 3.Температура: от -40 до +40 °С
- <sup>4</sup>Плотность: от 1.2 до 0.01 кг/м<sup>3</sup>