

Проектирование маховика исполнительного органа малого космического аппарата

Аюшеев М.С.

Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры ТПС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: muncko94@mail.ru

Целью работы является проектирование маховика исполнительного органа малого космического аппарата с кинетическим моментом $H=0,2$ Нмс, максимальными размерами $70 \times 70 \times 45$ мм, максимальным управляющим моментом $M_{упр} = 0,02$ Нм.

Для расчета параметров маховика использовались следующие формулы:

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

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

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

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;

момент инерции обода маховика: $J_u = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot \gamma \cdot R_u^2$,

где γ – удельная масса материала маховика; Ω – 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 определения рационального конструкторского варианта по размерам и массе маховика был проведен параметрический расчет вариантов сочетания размеров и массы маховика в зависимости от его угловой скорости. В таблице 1 приведены габаритно-массовые параметры маховика.

Таблица 1 - Габаритно-массовые параметры маховика при различных угловых скоростях вращения и постоянной высоте обода маховика $h = 0,03$ м.

Высота обода маховика h , м	Наружный радиус обода маховика R , м	Внутренний радиус обода маховика r , м	Масса m , кг	Угловая скорости вращения Ω , об/мин
0,03	0,032	0,015	0,482	5000
0,03	0,033	0,017	0,443	5000
0,03	0,034	0,02	0,394	5000
0,03	0,035	0,023	0,370	5000
0,03	0,03	0,01	0,573	6000
0,03	0,031	0,013	0,512	6000
0,03	0,032	0,016	0,464	6000
0,03	0,033	0,018	0,400	6000
0,03	0,034	0,020	0,373	6000
0,03	0,035	0,023	0,382	6000

На рисунке 1 в качестве примера приведена зависимость массы маховика от наружного диаметра при различных значениях высоты обода маховика при угловой скорости $\Omega = 6000$ об/мин.

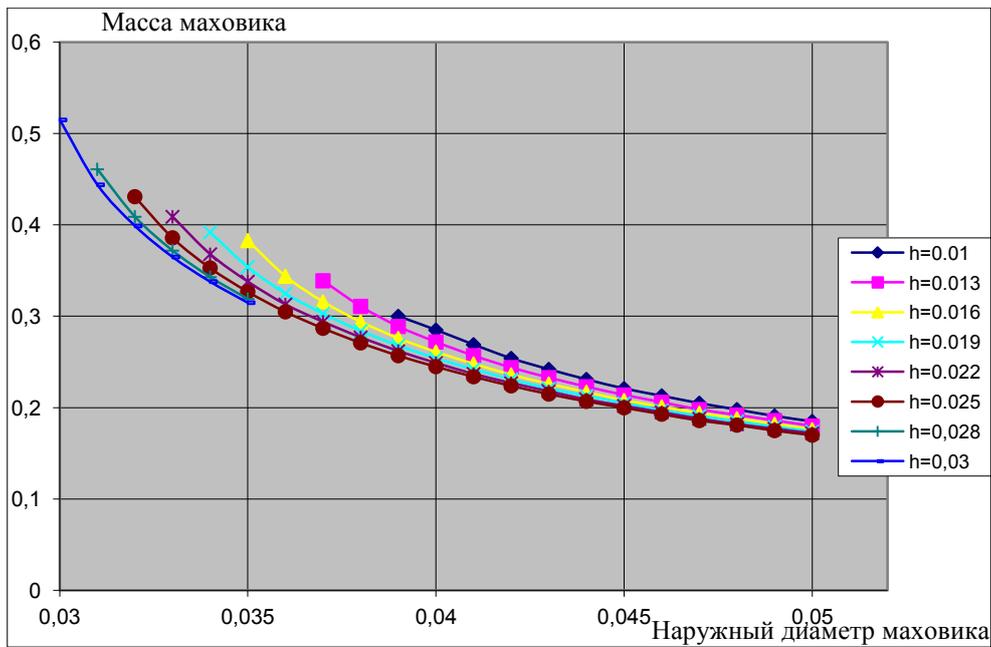


Рисунок 1- Зависимость массы маховика от наружного диаметра при различных значениях высоты обода, $\Omega = 6000$ об/мин

Для рассчитанных параметров маховика была создана его параметрическая 3D модель, приведенная на рисунке 2.

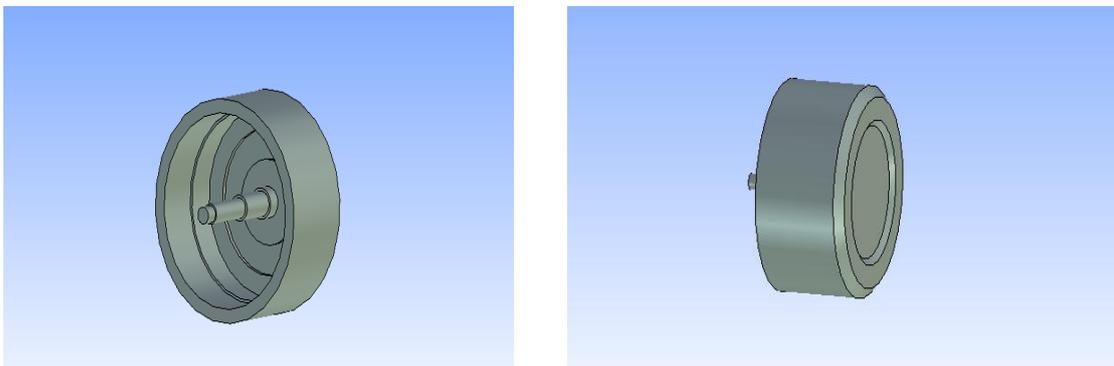


Рисунок 2 - Параметрическая 3D модель маховика

Внутренний радиус маховика рассчитывался по формуле:

$$r = R \cdot \sqrt{1 + \frac{J}{\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \pi \cdot h \cdot R^4}},$$

где γ - 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. На рисунке 3 показаны копии экрана с редактором переменных при двух значениях наружного радиуса маховика.

Имя	Выражение	Значение	Комментарий
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
x	$a^{*1.06}$	36.04	
y	$a^{*1.4545}$	49.453	
c	$a^{*0.2424}$	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...

Рисунок 3 – 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 литературы:

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, 1974.-600с.