

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ  
РОТОРОВ-МАХОВИКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ  
В МЕТОДЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Фасхутдинов Р.М.

Научный руководитель: Гаврилин А.Н., к.т.н., доцент.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [rinat4a96@gmail.com](mailto:rinat4a96@gmail.com)

**RAISING THE ACCURACY OF DETERMINATION THE MOMENT OF INERTIA OF ROTORS-  
FLYWHEELS MECHANICAL GYROSCOPE IN METHOD OF TORSIONAL OSCILLATIONS**

Faskhutdinov R.M.

Scientific Supervisor: Docent, Candidate of Engineering Sciences, Gavrilin A.N.  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [rinat4a96@gmail.com](mailto:rinat4a96@gmail.com)

К космическим аппаратам предъявляются высокие требования к точности, в частности к точности определения их ориентации.

Точность механического гироскопа определяется, прежде всего, временем ухода (град/час). Погрешность в приборе возникает вследствие неточности и несовершенства элементов конструкции, так что возникают моменты внешних сил, действующие на гироскоп и отклоняющие главную ось его вращения от заданного направления в пространстве [1]. Отсюда следует, что для повышения точности определения скорости ухода и определения кинетического момента, механического гироскопа, необходимо с высокой точностью определять момент инерции роторов-маховиков.

В установках, измеряющих момент инерции роторов-маховиков, типа унифиляр [2], существует проблема передачи вибраций от привода торсиона на ротор-маховик. Эти вибрации изменяют период колебаний роторов-маховиков, что приводит к недостоверным результатам вычисленных значений моментов инерции. Поэтому в данных конструкциях необходимо применение демпфера. Схема и состав установки представлен на рисунке 1.

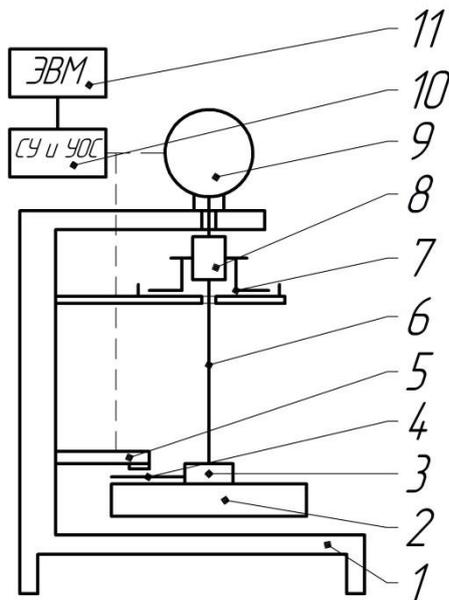


Рис. 1. Состав установки: 1 – корпус установки; 2 – ротор-маховик; 3 – оправка; 4 – флажок-шторка; 5 – датчик; 6 – торсион; 7 – муфта; 8 – демпфер; 9 – шаговый электродвигатель с тормозом; 10 – система управления и устройство обработки сигнала; 11 – компьютер

Принцип работы: торсион 6, через муфту 8, закручивается шаговым электродвигателем 9 на необходимый угол  $\varphi$  с частотой  $\omega$ . Отключается двигатель. Демпфер 8 гасит колебания, передающиеся от двигателя, и замедляет его частоту вращения. Через промежуток времени равный  $t$  (за это время скорость вращения вала двигателя должна стать минимальной в первой четверти периода колебаний), включается электромагнитный тормоз двигателя. Ротор-маховик 2 совместно с оправкой 3 под действием моментов инерции и упругости, совершает колебания, периоды которых регистрируются датчиком 5. Данные обрабатываются и передаются на ЭВМ.

Для того чтобы определить время  $t$ , после которого включится электромагнитный тормоз, необходимо составить математическую модель данной установки. Схожие задачи решались в работах [3,4].

Схемы математических моделей динамической системы, установки измерения момента инерции, представлены на рисунке 2 (моментом трения о воздух и внутренним трением торсиона пренебрегаем).

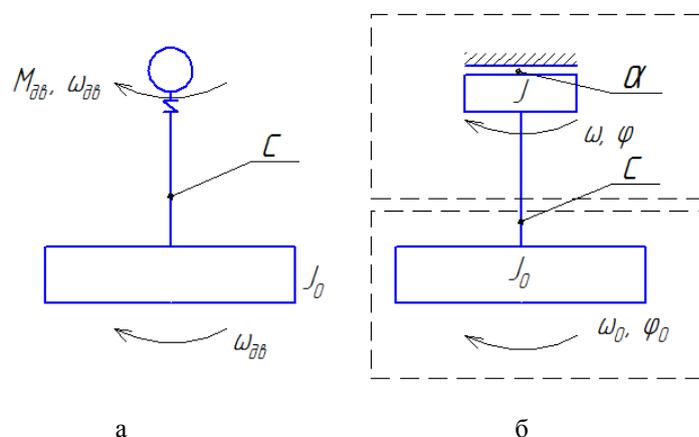


Рис. 2 Схемы математических моделей

*a* – в момент начала закрутки, *б* – в момент отключения двигателя

Система дифференциальных уравнений в момент отключения двигателя:

$$\begin{cases} M_{и} + M_{тр} - M_{упр} = 0 \\ M_{и0} + M_{упр} = 0 \end{cases} \cdot (1)$$

где  $M_{и}$  – момент инерции ротора двигателя, соединительной муфты и вращающихся частей демпфера (далее ротора);

$M_{и0}$  – момент инерции маховика и оправки (далее маховика);

$M_{упр}$  – момент упругости торсиона;

$M_{тр}$  – момент вязкого трения в демпфере.

Запишем систему уравнений (1) в развернутом виде:

$$\begin{cases} I \cdot \varepsilon + \alpha \cdot \omega - c \cdot (\varphi_0 - \varphi) = 0 \\ I_0 \cdot \varepsilon_0 - c \cdot (\varphi - \varphi_0) = 0 \end{cases} \cdot (2)$$

где  $I, \varepsilon, \omega, \varphi$  – приведённый момент инерции, угловое ускорение, угловая скорость, и угловое перемещение ротора, соответственно;

$I_0, \varepsilon_0, \omega_0, \varphi_0$  – приведённый момент инерции, угловое ускорение, угловая скорость, и угловое перемещение маховика, соответственно;

$c$  – жесткость торсиона;

$\alpha$  – вязкое трение в демпфере.

Зададимся параметрами:  $I = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_0 = 0,003 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $c = 0,041 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , при диаметре торсиона – 1 мм, материале – сталь 65Г, длине торсиона 200 мм;  $\alpha = 0,1$ , при масляном зазоре 0,7 мм, площади контакта  $0,005 \text{ м}^2$ , радиусе диска 0,045 м, кинематической вязкости масла  $\gamma = 8000 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}$ , плотности масла  $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Решим систему дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты четвертого порядка, в среде MATLAB, при начальных условиях:

$$\varphi_0 = 0 \text{ рад}; \varphi_1 = 0 \text{ рад}; \omega_0 = 2,1 \text{ рад/с}; \omega_1 = 2,1 \text{ рад/с};$$

Решая систему уравнения (2) получим график изменения угловой скорости ротора во времени (рис. 3).

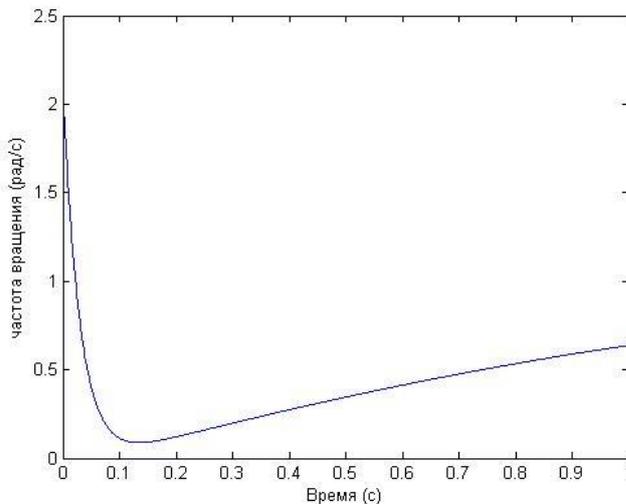


Рис. 3. Изменение угловой скорости ротора во времени

Из графика видно, что скорость ротора становится минимальной, после отключения двигателя, через время  $t = 0,12$  секунды. Включение электромагнитного тормоза, после времени  $t$ , обеспечит достоверность и стабильность процесса закрутки двигателем торсиона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карпенко С.О. Средства определения ориентации на борту малого КА. Обзор. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, Молодежный космический центр, 2001 – 16 с.
2. Гернет М.М., Ратобильский В.Ф. Определение моментов инерции. «Машиностроение», 1969. – 249 с.
3. Инновационная разработка в области повышения производительности и точности лезвийной обработки на станках с ЧПУ. Гаврилин А.Н., Рожков П.С., Ангаткина О.О. Контроль. Диагностика. 2011. № 2. С. 52-55.
4. Стенд для диагностики колесно-моторных блоков рельсовых транспортных средств. Крауиньш П.Я., Смайлов С.А., Иоппа А.В., Гаврилин А.Н., Дружинин Н.В., Кочетков А.А., Богдан А.А. патент на изобретение гус 2134870 27.05.1998