



Филиал акционерного общества
«Корпорация космических систем специального назначения «Комета» -
«Научно-проектный центр оптоэлектронных комплексов наблюдения»
(Филиал АО «Корпорация «Комета» – «НПЦ ОЭКН»)

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕАКТИВНОГО МОМЕНТА

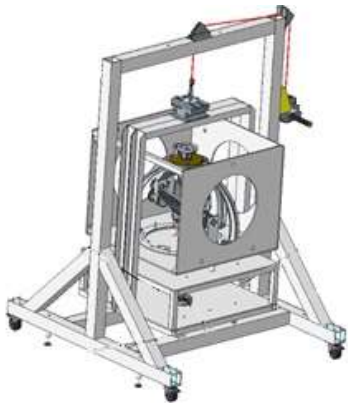
Научный руководитель:
к.т.н, доцент кафедры ЛИСН - Ларионов Д.Ю.

Санкт-Петербург
2025 г.

Введение

Космические тела находятся в невесомости, не имея точек опоры. Следовательно, любой двигатель, оказывающий момент на подвижную часть спутника, прикладывает равный по значению и противоположный по знаку момент к основанию космического аппарата (КА), который приведет к развороту КА вокруг его центра тяжести в направлении противоположном направлению перемещения подвижной массы. Таким образом в результате взаимного перемещения оптической системы на некоторый заданный угол и перемещения самого КА в пространстве - ось визирования оптической системы займет в пространстве некоторое положение, не совпадающее с заданными углами на перенацеливание. Особенно сильно влияние реактивных моментов и сил в случае инфракрасных оптических систем космического назначения имеющими значительный вес и габариты.

Оценка момента на основание при перенацеливании



Оптическая система помещается в узел подвеса устройства измерения. При выполнении поворота блока зеркал оптической системы, возникает нескомпенсированный момент на основание подвеса. В следствии чего вся рама подвеса совершает колебания. Скорость этих колебаний регистрирует лазерный гироскоп.

По измерениям гироскопа находим нескомпенсированный момент.

$$M = \frac{\Delta J \Delta \omega}{\Delta t}$$

Рисунок 1 - Устройство измерения момента

ΔJ – разность между моментом инерции подвижной части оптической системы и момента инерции компенсирующего маховика. кг·м

Δt – период между фиксируемыми соседними значениями угловой скорости, с

Измеренная скорость колебаний рамы при перенацеливании сравнивается со скоростью колебаний, вызванными тестовым моментом, ускорение и момент инерции которого точно определены

Моделирование работы стенда

Узел подвеса стенда представляет собой колебательное звено первого порядка

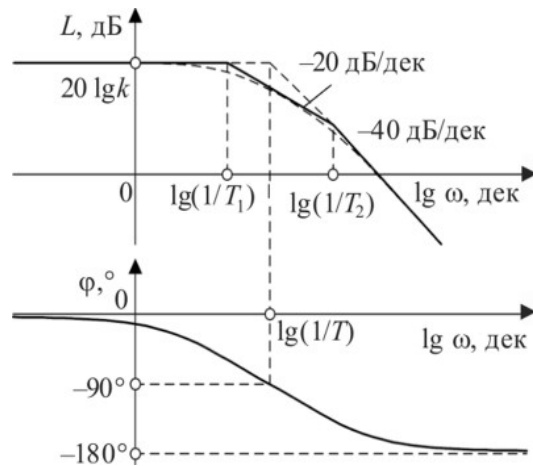


Рисунок 2 – АЧХ и ФЧХ колебательного звена

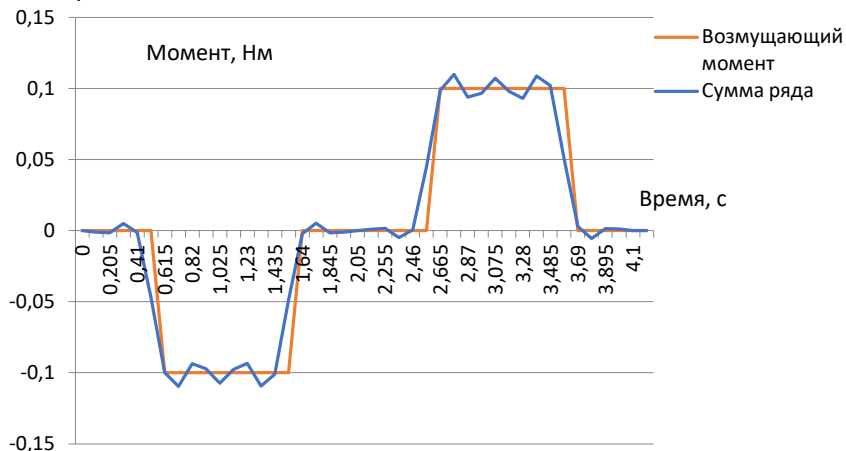


Рисунок 3 – Возмущающий момент

$$J\ddot{\varphi}(t) + b\dot{\varphi}(t) + c\varphi(t) = M(t)$$

$$\ddot{\varphi}(t) + 2\xi\dot{\varphi}(t) + \omega_0^2 * \varphi(t) = \frac{M(t)}{J}$$

Колебательное звено **не искажает сигнал** по амплитуде и фазе вблизи собственной частоты.

Момент от перенацеливания — меандр с периодом $T = 4$ с.

$$\text{Частота } \omega = \frac{2\pi}{T} = 1.57 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Для точного измерения остаточного момента:

- Период собственных колебаний должен быть $\geq 10\text{--}12$ с.

Моделирование работы стенда

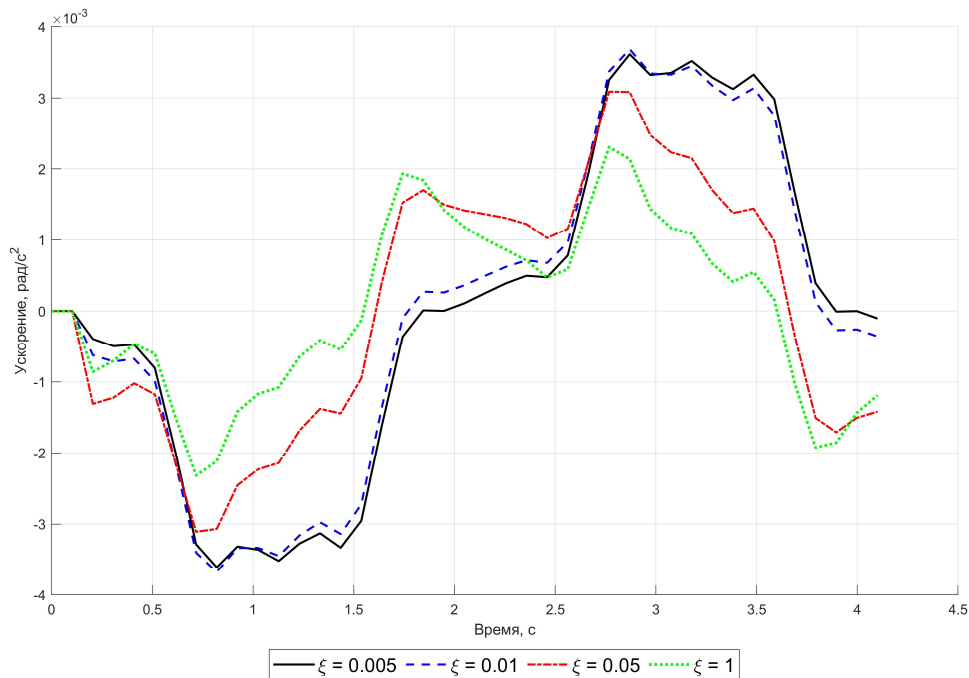
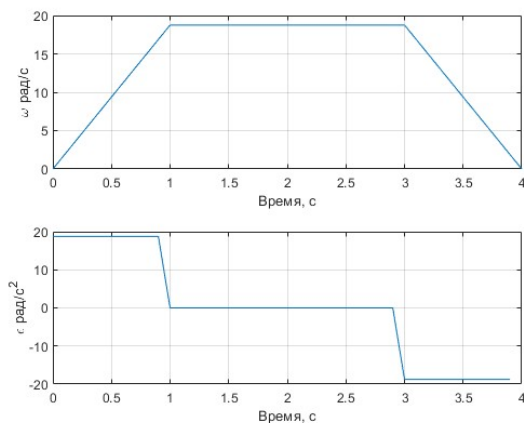


Рисунок 4 – Ускорение рамы с различным декрементом затухания

Требования к демпфированию стенда

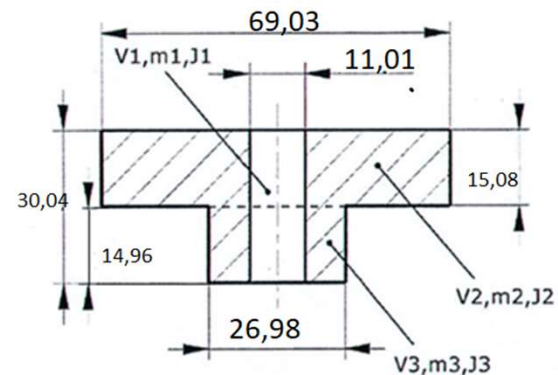
- Увеличение коэффициента демпфирования **свыше $\xi=0,1$** вызывает **существенные искажения** выходного сигнала относительно входного момента.
- Декремент затухания зависит от:
 - **Скоростного трения** в оси подвеса;
 - **Диссипативных потерь** в металлической струне подвеса.
- Необходимо:
 - Подобрать **механические параметры струны**;
 - Оптимизировать **способ её крепления**;
 - Обеспечить $\xi \leq 0,1$

Оценка момента от тестового маховика



$$\epsilon = 18,58 \pm 0,079 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

Рисунок 5 – Профиль разгона эталонного маховика



$$J = 2,69 \cdot 10^{-4} \pm 4,58 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$M = J\epsilon = 0,005 \pm 4,65 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Рисунок 6 – Эталонный маховик

Оценка момента на основание при перенацеливании

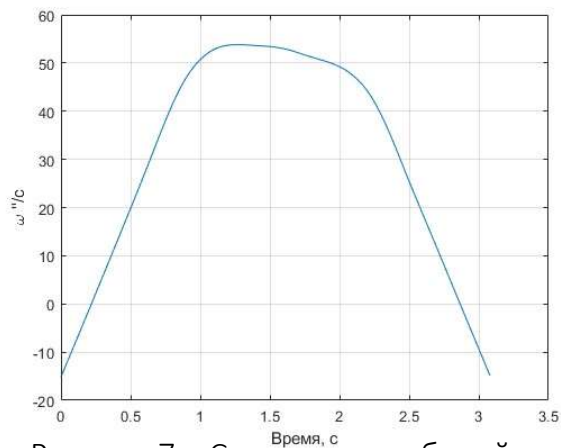


Рисунок 7 – Скорость колебаний рамы при тестовом воздействии

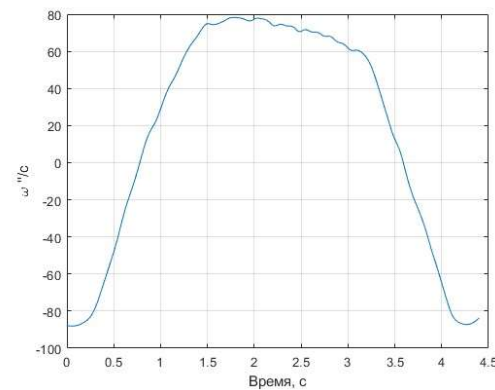


Рисунок 7 – Скорость колебаний рамы при перенацеливании

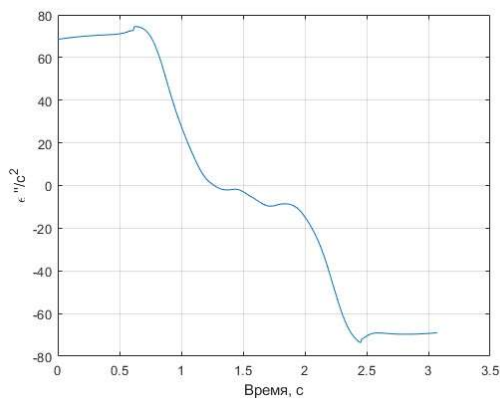


Рисунок 8– Ускорение колебаний рамы при тестовом воздействии

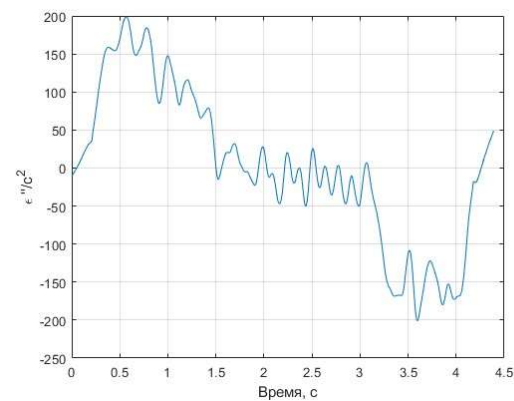


Рисунок 9 – Ускорение колебаний рамы при перенацеливании

Оценка момента на основание при перенацеливании

Итоговый момент определяется как отношение ускорений рамы при перенацеливании и при тестовом воздействии

$$M = \frac{\varepsilon_{\Pi}}{\varepsilon_{\Gamma}} \cdot M_{\Gamma}$$

Где ε_{Π} - ускорение рамы при перенацеливании; ε_{Γ} - ускорение рамы при тестовом воздействии; M_{Γ} - эталонный момент маховика, равный 0,005 Н·м

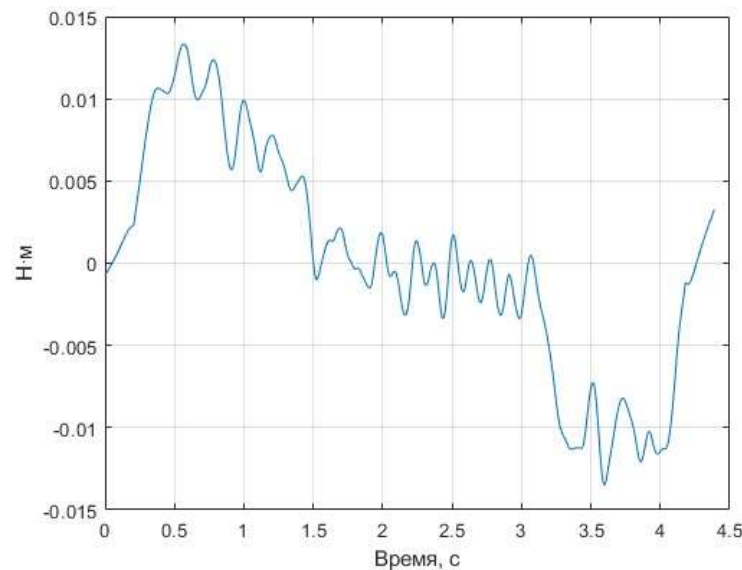


Рисунок 8 – Нескомпенсированный момент

Заключение

- Разработан стенд для измерения остаточного реактивного момента при перенацеливании оптических систем.
- Проведено моделирование, определены оптимальные параметры колебательного звена.
- Методика измерения прошла аттестацию в Государственном реестре средств измерений.
- Достигнута высокая точность — погрешность менее 5%.
- Методика может применяться для настройки оптико-механических систем различного назначения