

Построение ИИСО на базе волоконно-оптических и лазерных гироскопов целесообразно только для подвижных объектов с длительным временем полета, так как в таких системах нет жестких ограничений по массогабаритным параметрам, но ключевым параметром является высокая точность. Применение же данных гироскопов для подвижных объектов малых габаритов и малого времени полета экономически не выгодно, так как их технология достаточно сложная и дорогостоящая. Построение ИИСО на базе MEMS-датчиков целесообразно для подвижных объектов с ограниченным временем полета, это связано с тем, что при потере сигналов от спутниковой навигационной системы (СНС) работоспособность данной системы будет определяться несколькими минутами. Причиной подобной ситуации является низкая точность первичных измерителей (дрейф большинства микро-механических гироскопов (ММГ) составляет порядка нескольких десятков градусов в час). Интегрирование угловых скоростей, выдаваемых гироскопами, приводит к нарастающей погрешности определяемых параметров ориентации. Коррекция параметров ориентации в этом случае осуществляется путем комплексирования системы ориентации на базе датчиков угловой скорости (ДУС) с акселерометрами, магнитометрами, пирометрами и т. д. Такой способ коррекции позволяет уменьшать либо систематическую, либо случайную составляющую погрешностей, но при этом остается существенная зависимость точности вырабатываемых параметров от динамики ПО. Построение ИИСО на базе механических трехстопных гироскопах заключается в наличие большого количества подвижных частей, что вносит дополнительные погрешности в работу системы. На сегодняшний день механические гироскопы достигли предела по точности, дальнейшее улучшение требует существенного удорожания технологии изготовления. Таким образом, существует некий разрыв между дорогостоящими высокоточными ИИСО и дешевыми низкоточными, что требует создание ИИСО среднего класса точности. Одним из наиболее перспективных приборов для построения ИИСО среднего класса точности – по размеру конструкции, себестоимости производства, отсутствия подвижных частей, являются волновые твердотельные гироскопы (ВТГ) с низкодобротным объемным резонатором из металла [1]. Простота и надежность ВТГ определяют его низкую себестоимость и относительно небольшие затраты ресурсов на осуществление и поддержку производства.

**Цель работы.** В данной работе проведено исследование по построению ИИСО на базе ВТГ с низкодобротным объемным резонатором из металла работающим, как в режиме датчика угловой скорости (ДУС) так и в режиме датчика угла (интегрирующего гироскопа).

**Результаты работы.** Показано, что при использовании ВТГ в режиме ДУС возможно реализовать ИИС ориентации неограниченного времени работы в отличие от ИИС ориентации на базе ВТГ в режиме датчика угла. Приведены результаты математического моделирования и экспериментальные исследования работы ИИС ориентации на базе ВТГ с низкодобротным объемным резонатором из металла.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках гранта ректора Тульского государственного университета для поддержки молодых ученых ПУ/23/ГРР от 01.03.2023.

#### Литература

1. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором / В.Я. Распопов [и др.] / под ред. В. Я. Распопова. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. – 189 с.

УДК 681

### ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИКИ КАЧАНИЙ ОТ НАГРУЗКИ

Магистрант Касьмин В. Ю.

Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Маятниковый метод измерения трения качения является одним из наиболее чувствительных методов исследования поверхности материалов. Применение этого метода для исследования физико-механических параметров поверхности материалов в области предварительных смещений сдерживается отсутствием методов и средств, позволяющих разделить механизмы трения качения, связанные с упругим гистерезисом материала (нагрузка).

Для проведения исследований в данной области разработана конструкция физического маятника с опорой на один шарик (рис. 1), отличительной особенностью которой является возможность изменения массы при сохранении геометрических характеристик.

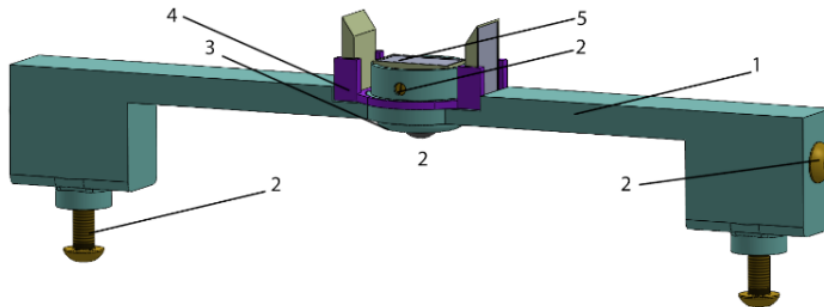
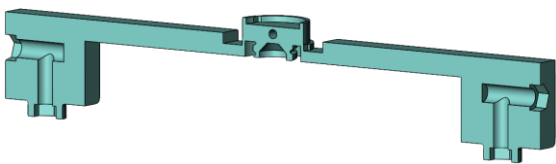
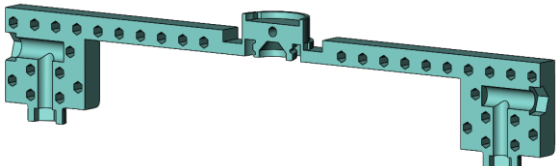
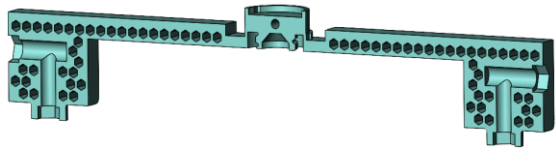


Рис. 1. Внешний вид маятника: 1 – основание; 2 – регулировочный винт; 3 – фиксатор шарика; 4 – держатель калибровочных зеркал; 5 – измерительное зеркало

Изменение массы конструкции без изменения геометрических характеристик достигнуто за счет вида производства маятника и конструкции основания, выполненного из PLA пластика при помощи 3D печати. В конструкцию заложен массив шестигранных полостей, не выходящих за контур т. к. это нарушит его геометрические характеристики и уменьшит прочность. Выбраны полости шестигранной формы, так как это позволило исключить их заполнение при печати и упростило регулировку массы – изменением количества полостей. Виды с соответствующим заполнением представлены в табл. 1.

Таблица 1

Изображение конфигурации основания в разрезе	Основные характеристики
	Массовые характеристики: Основание Конфигурация: 100 % массы Масса: 49,98 граммов Момент трения качения при $\alpha = 138$ угл. с: 43,6 нН·м Коэффициент сопротивления качению $f_{ск}: 3,5 \cdot 10^{-6}$
	Массовые характеристики: Основание Конфигурация: 81 % массы Масса: 40,5 граммов Момент трения качения при $\alpha = 138$ угл. с: 49,3 нН·м Коэффициент сопротивления качению $f_{ск}: 4,9 \cdot 10^{-6}$
	Массовые характеристики: Основание Конфигурация: 77 % массы Масса: 38,55 граммов Момент трения качения при $\alpha = 138$ угл. с: 53,9 нН·м Коэффициент сопротивления качению $f_{ск}: 5,5 \cdot 10^{-6}$

Коэффициент трения качения и момент трения уменьшаются с ростом массы маятника, что свидетельствует о зависимости параметров трения от массы маятника.

#### Литература

1. Gilavdary, I. Phenomenological Laws of Single Point Contact: Pre-Rolling Contact Resistance through Pendulum / I. Gilavdary, S. Mekid, N. Riznookaya // Lubricants. – 2023. – Vol. 11, № 2. – P. 88.