

Литература

1. Takadoun J. Comparative study of mechanical and tribological properties of CN_x and DLC films deposited by PECVD technique / J. Takadoun, J.M. Rauch, L.M. Cattenot, N. Martin // Surface and Coating Materials Technology. – 2003. – V. 174–175. – P. 427–433.
 2. Cohen M.L. Structural, electronic and optical properties of carbon nitride / M.L. Cohen // Material Science Engineering A. – 1995. – V. 209. – P. 1–4.

3. Khurshudov A.G. Tribological properties of carbon nitride overcoat for thin-film magnetic rigid disks / A.G. Khurshudov, K. Kato // Surface and Coatings Technology. – 1996. – V. 9. – P. 537–542.

4. Телеш Е.В. Оптические характеристики тонких пленок диоксида кремния, полученных прямым осаждением из ионных пучков / Е.В. Телеш, А.П. Достанко, А.Ю. Вашуров // Доклады БГУИР. – № 8(94). – С. 81–85.

УДК 531.746

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРСИОННЫХ ПОДВЕСОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МЭМС-ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА

Федькин В.А., Таратын И.А., Плескачевский Ю.М.

*Белорусский национальный технический университет
 Минск, Республика Беларусь*

Для определения угла наклона различных объектов относительно гравитационного поля Земли используется прибор, который называется инклинометр [1].

Инклинометрия является перспективным направлением для научно-технических разработок, которая включает в себя множество современных разработок из таких научных областей, как математика, электроника, гироскопия и микроэлектромеханические системы (МЭМС).

С развитием технологий инклинометрия получила широкое распространение в строительстве для определения отклонений от горизонтали различных объектов.

Другими важными задачами являются минимизация габаритов прибора для удобства использования и его эргономика.

На сегодняшний момент для минимизации габаритов прибора используют микромеханические электронные компоненты, так называемые МЭМС-системы.

МЭМС-системы представляют собой устройства, которые объединяют в себе микромеханические и микроэлектронные компоненты [2].

Инклинометры на основе микромеханического акселерометра обладают уникально малыми массой и габаритами, низким потреблением электроэнергии, полным отсутствием подвижных узлов, возможностью функционирования в повседневных условиях эксплуатации и меньшей стоимостью, чем их традиционные аналоги.

Инклинометры находят широкое применение в различных сферах. В зависимости от сферы использования, инклинометры могут быть разных видов, структуры и содержать различные вспомогательные устройства. Микромеханический акселерометр входит в состав инерциального измерительного модуля, который предназначен для измерения угла поворота различных объектов.

Основным недостатком автономного инерциального измерительного модуля является накопление ошибки спустя некоторого времени рабо-

ты устройства. Накопление ошибки связано с дрейфом нуля и шумами акселерометра.

Для устранения выше перечисленных погрешностей необходимо использовать точную модель МЭМС-акселерометра.

На первом этапе производится цикл модального анализа для подбора собственных частот микромеханического устройства. Меняются параметры геометрии в программе SOLIDWORKS 2019 и подготавливается импортируемая модель в ANSYS – производится модальный анализ. Цикл повторяется до получения необходимых значений собственных частот. После подбора собственных частот можно производить температурный анализ.

Создание геометрических моделей торсионных подвесов акселерометров производилось в программе SOLIDWORKS 2019.

На основании библиотеки торсионных подвесов были созданы 6 параметрических 3D-моделей.

Моделирование влияния размеров торсионных подвесов, проводилось по методике, которая изображена на рисунке 1.

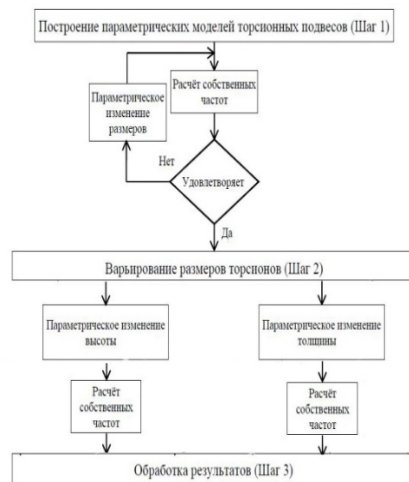


Рисунок 1 – Алгоритм оптимизации торсионных подвесов

Первым шагом является построение модели торсионного подвеса это является основой для проведения конечно-элементарного анализа. Изменения размеров торсиона задаются в некотором диапазоне, поэтому создаётся его модель, для построения которой была выбрана программа SOLIDWORKS 2019, которая позволяет описать конструкцию объекта различным набором размерных характеристик, определяющих геометрию объекта.

Модель позволяет быстро изменить один или несколько размеров конструкции, что значительно сокращает время на проведение расчётов. Каждому элементу построения присваивается своё уникальное имя параметра, а затем этому параметру присваивается численное значение. При изменении значения данного параметра будет автоматически пересчитываться 3D-модель торсиона.

Результаты будут приведены для шести типов торсионов. Все исследуемые торсионы с одной стороны закреплялись полностью. Такое закрепление позволяет имитировать поведение торсионного подвеса при использовании его в реальной конструкции, в которой торсион одним концом крепится к неподвижному основанию, а вторым концом к подвижному элементу. Начальные значения собственных частот торсионов подбирались таким образом, чтобы они имели близкие значения для последующего сравнения результатов. Материал торсионов – монокристаллический кремний.

Второй шаг состоит в определении влияния размеров на собственные частоты торсионного подвеса, поочерёдно осуществляется изменение одного размера при постоянстве всех остальных, изображено на рисунке 2, и определяются соответствующие им изменения собственных частот, форм колебаний торсионов.

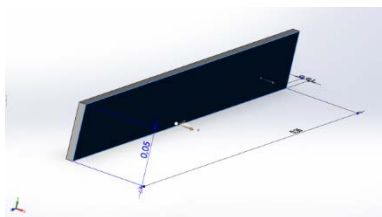


Рисунок 2 – Варьируемые размеры торсионных подвесов

На рисунке 3 показана 3D-модель торсиона 1 с наложенной на него сеткой, с максимальным разрешением. Аналогичным образом сетка строилась и для остальных типов торсионов.

В результате получается объёмная модель с равномерно наложенной сеткой, что позволяет точнее определить требуемые параметры.

В гироскопах и акселерометрах обычно рабочей является первая форма колебаний, все

остальные частоты должны быть существенно выше. На рисунке 4 приведена первая форма собственных колебаний торсиона.

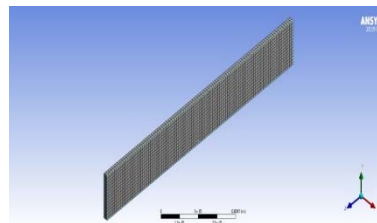


Рисунок 3 – 3D-модель торсиона 1 с сеткой

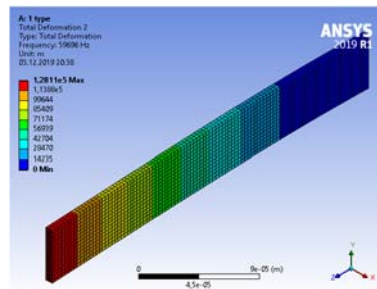


Рисунок 4 – Собственная форма колебаний торсиона 1

При первой форме колебаний торсион 1 совершает поступательные перемещения вдоль оси X.

Результаты собственных колебаний торсионов представлены в таблице 1

Таблица 1 – Результаты собственных колебаний торсионов

Тип торсиона	Мода 1 f, Гц	Мода 2 f, Гц	Мода 3 f, Гц
1	$0,5970 \cdot 10^5$	$0,3736 \cdot 10^6$	$0,4888 \cdot 10^6$

Заключение. Проведённые исследования показали, что изменение высоты торсионов практически не оказывает влияния на изменение частоты первой формы колебаний. Максимальное изменение частоты f3 наблюдается у 1-го торсиона. Наибольшей стабильностью обладают частоты 4-го торсиона и у данного типа торсиона есть существенное преимущество по сравнению с остальными, он имеет наименьшую длину (200 мкм), что существенно может снизить габаритные размеры конструкции, в которой он будет применяться.

Литература

1. Определение угла наклона акселерометром. // <http://bitaks.com/> [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bitaks.com/resources/inclinometer/content> Дата доступа: 12.10.2020.
2. Саленко Д.С. История развития и области применения технологии MEMS / Д.С. Саленко // Автоматика и программная инженерия. – 2013. – Вып. 1. – № 3.