

Разработка бесконтактного оптического датчика перемещения щелевого типа для регистрации колебаний крутильного маятника

А.Н. Венедиктов, Н.Л. Венедиктов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Аннотация: Описан оптический датчик для измерения малых перемещений и углов поворота. Основан на бесконтактном принципе действия, что может быть использовано для контроля малых перемещений в установках для определения внутреннего трения по типу крутильного маятника. Показаны основные его характеристики и приведена схема установки и подключения посредством АЦП к компьютеру.

Ключевые слова: оптический датчик, угол поворота, перемещение, внутреннее трение, микроконтроллер, крутильный маятник, фоторезистор, фильтрация сигнала, передача сигнала, бесконтактный, АЦП

Затухание механических колебаний в твердом теле, определяемое внутренними процессами, происходящими в нем под действием знакопеременных напряжений, называется внутренним трением [1, 2].

Измерение параметров внутреннего трения широко используется для изучения вызывающих его процессов и дает уникальную информацию о диффузии, дефектах кристаллического строения, дислокационной структуре, границах зерен и т.д. [3, 4].

Для изучения механизмов внутреннего трения исследуют затухающие механические колебания в образце. При этом записывают зависимость амплитуды колебаний от времени [5]. Для измерения низкочастотного внутреннего трения, когда частота колебаний не превышает 20 Гц, широко применяют обратный крутильный маятник, схема которого изображена на рис. 1 [6].

Образец 5 закреплен между подвижным и неподвижным захватами 6 так, что весь вес маятника 2 с грузами 6 уравнивается противовесом 1. Частота вращательных колебаний маятника может изменяться грузами 3.

Для регистрации амплитуды колебаний можно измерять угол поворота маятника относительно состояния равновесия или же линейное смещение любой точки маятника относительно первоначального положения с помощью

датчика 4 (рис. 1). Две эти величины не представляет трудности пересчитать одну в другую, пользуясь геометрическими формулами.

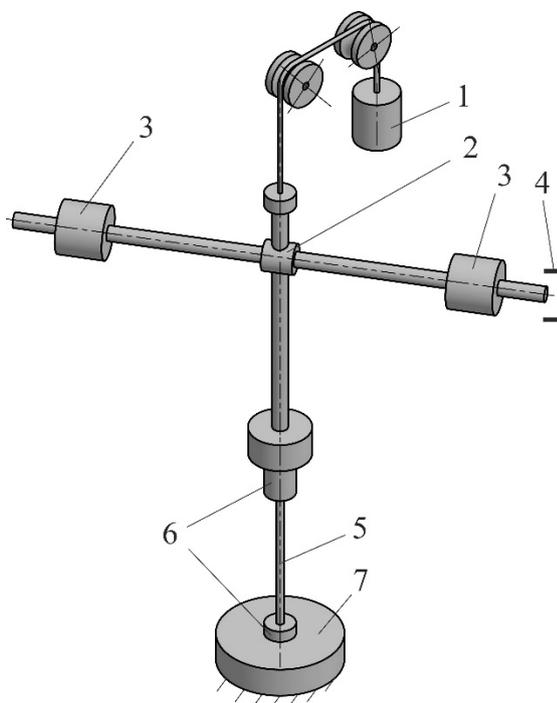


Рис. 1. – Схема обратного крутильного маятника

1 – противовес, 2 – маятник, 3 - грузы, 4 – датчик перемещения, 5 – образец, 6 – захваты, 7 – неподвижное основание

Существует множество датчиков перемещения, в основе работы которых лежат различные физические явления. По принципу действия они бывают: емкостными, оптическими, индуктивными, вихретоковыми, ультразвуковыми, магниторезистивными, потенциометрическими, магнитострикционными, на основе эффекта Холла. Особенности их работы во многом следуют из названия.

Однако большинство из них не могут быть использованы для определения поворота крутильного маятника в установке внутреннего трения. При изучении внутреннего трения необходимо измерять затухание колебаний с минимальным воздействием на маятник. Электромагнитные силы, действующие между датчиком и образцом (емкостный, индуктивный, вихретоковый), могут внести существенные искажения в результаты

измерений. Из этих же соображений приходится исключить все датчики, основанные на механическом контакте с измеряемым объектом. Другие же не обладают достаточной точностью (ультразвуковые) или имеют слишком малый рабочий диапазон измерений [7, 8]. Оптические датчики лишены вышеуказанных недостатков, надежны, однако устроены достаточно сложно и часто имеют слишком высокую стоимость [9-11].

Таким образом, разработка простого по конструкции датчика перемещения для крутильного маятника в установке внутреннего трения является актуальной задачей.

При изготовлении датчика учитывался ряд требований к его параметрам:

1. Высокая частота дискретизации (скорость срабатывания).

Максимальная частота колебаний крутильного маятника принималась равной 20 Гц. Для нахождения амплитуды и корректного описания формы одного колебания необходимо минимум 200 точек. Отсюда следует, что измерения положения маятника необходимо проводить с частотой не менее 4000 Гц.

2. Высокая чувствительность к перемещению

Рабочий диапазон датчика (длина щели) - 10 мм, что соответствует примерно 3 градусам при длине маятника 200 мм. Для измерения положения маятника с точностью 0,005 градуса необходимо иметь возможность проводить 600 измерений в указанном диапазоне. Другими словами, точность измерения должна быть не менее 0,01 мм при измерении линейного перемещения.

4. Максимально линейная зависимость выдаваемого сигнала от измеряемого параметра.

3. Простота в подключении и дальнейшей эксплуатации.

Датчик, как показано на рис. 2 состоит из цилиндрического корпуса 2, источника света 1, имеющего постоянную во времени яркость. В качестве такого источника использовался светодиод, питаемый постоянным током от аккумуляторной батареи. Регистрация света осуществляется фоторезистивным датчиком 7. Между источником и приемником света соосно находится щелевая диафрагма 4, рассеивающее стекло 5 и собирающая линза 6. В корпусе датчика имеется поперечный вырез, с перемещающимся в нем маятником 3.

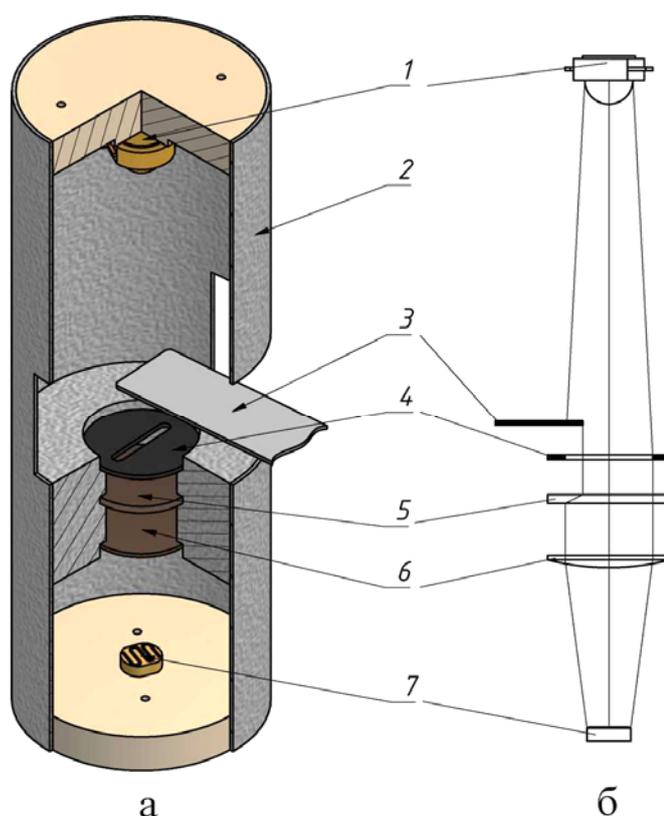


Рис. 2. – Общий вид (а) и оптическая схема (б) датчика перемещения
1 - светодиодный источник света, 2 - корпус датчика, 3 - маятник, 4 –
щелевая диафрагма, 5 – матовое стекло, 6 – собирающая линза, 7 – датчик
света (фоторезистор).

По принципу действия он относится к датчикам щелевого типа. Луч света от источника проходит сквозь диафрагму, попадает на рассеивающее стекло. Оно нужно для того, что бы на выходе получить луч относительно

круглого сечения и равномерной по площади яркости, не зависящей от формы и размеров диафрагмы. Собирающая линза фокусирует весь свет, прошедший через диафрагму, и рассеивающее стекло в круг диаметром, равным диаметру рабочей зоны датчика света. Таким образом, если ничто не мешает лучу света пройти через диафрагму, на выходе мы получим максимальный сигнал интенсивности света с датчика.

Крутильный маятник совершает колебательные движения, в ходе которых перекрывает часть диафрагмы. Как следствие, яркость луча, попадающего на фоторезистор, изменяется пропорционально доле площади отверстия диафрагмы перекрытой маятником. Полученный на выходе с фоторезистора сигнал оказывается пропорциональным соответствующей яркости луча. Измеряя, таким образом, интенсивность света, падающего на фоторезистор, можно вычислить, какая часть диафрагмы открыта или закрыта, а, следовательно, узнать положение маятника в каждый конкретный момент времени.

На рис. 3 показана схема, использованная для подключения датчика в ходе экспериментов, на базе микроконтроллера ATmega328.

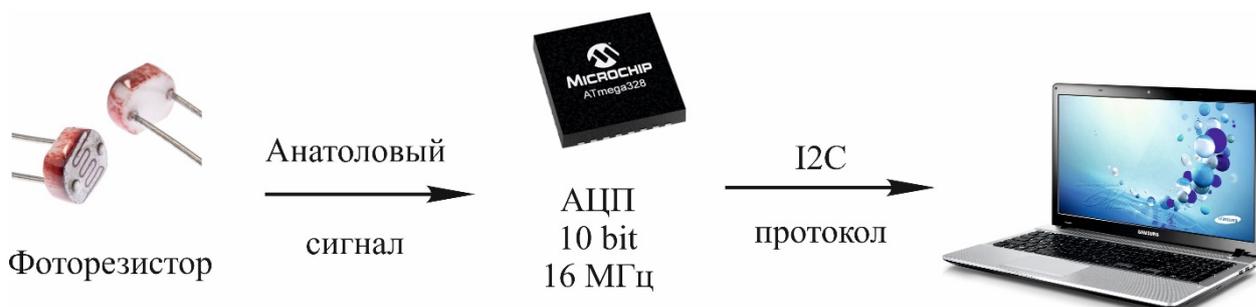


Рис. 3. – Схема подключения датчика к компьютеру

Аналоговый сигнал с датчика поступает на АЦП микроконтроллера, где преобразуется в цифровой, проходит первичную обработку от помех и посредством I2C интерфейса передается в компьютер. На языке программирования C# была написана программа, обрабатывающая данные,

поступающие с микроконтроллера. В ней реализованы алгоритмы сбора, хранения, отображения и обработки сигнала от помех [12, 13].

Фрагмент рабочего окна программы с кривой затухания колебаний крутильного маятника представлен на рис. 4. По оси x отложено время, а по оси y амплитуда колебаний в относительных единицах.

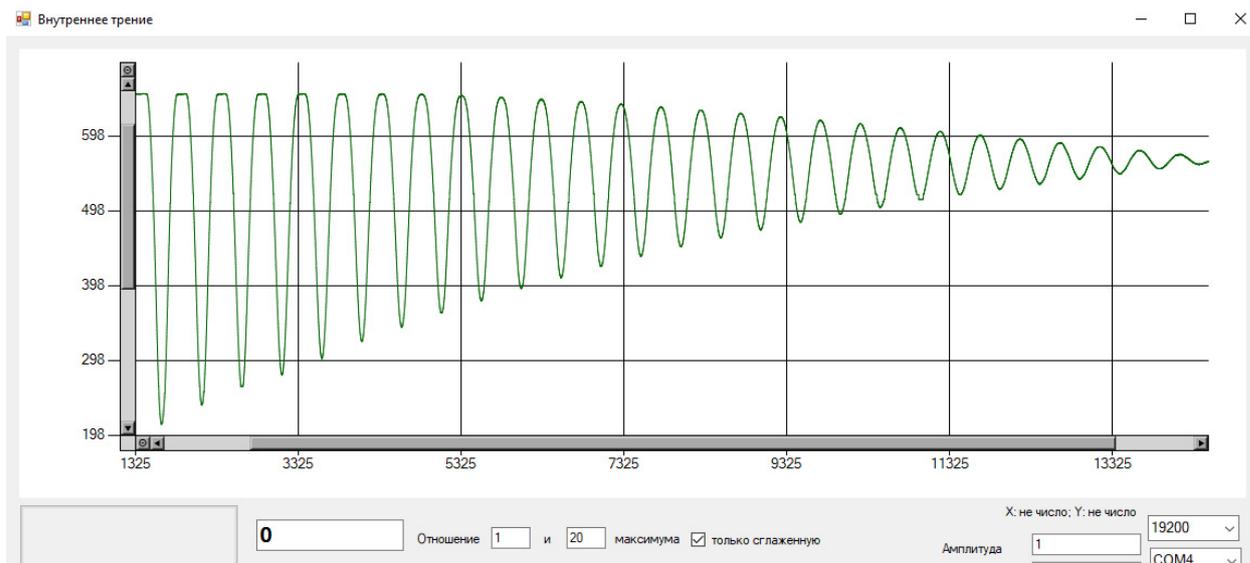


Рис. 4. – Фрагмент окна программы для приема и обработки данных с датчика

Был проведен ряд экспериментов по определению зависимости сигнала с датчика от перемещения маятника. В качестве характеристики линейности взаимосвязи двух этих величин вычислен коэффициент корреляции r . На всем рабочем диапазоне датчика он оказался равен 0,92.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Спроектирован и изготовлен оптический бесконтактный датчик щелевого типа для измерения перемещения (угла поворота). Благодаря своим особенностям он может использоваться в установке для определения внутреннего трения.

2. Чувствительность и скорость считывания показаний намного превосходят минимально необходимые для таких измерений. В

предложенной конструкции эти параметры ограничены разрядностью АЦП (10 bit), что позволяет измерять перемещение предложенным датчиком с точностью 0,002 мм и тактовой частотой микроконтроллера ATmega328 (16 МГц) на которой он работает.

3. Из недостатков стоит отметить не вполне линейную зависимость между сигналом с датчика и перемещением маятника. В связи с этим может возникнуть необходимость в проведении предварительной градуировки, однако это не является сложной задачей при использовании разработанного программного обеспечения.

Литература

1. Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. М.: Атомиздат, 1975. 472 с.
2. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах. М.: Metallurgy, 1969. 330 с.
3. Блантер М.С., Пигузов Ю.В. и др. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях. М.: Metallurgy, 1991. 248 с.
4. Блантер М.С., Головин И.С, Головин С.А. и др. Механическая спектроскопия металлических материалов. М.: Инж. акад., 1994. 256 с.
5. Звягинцева А.В., Шалимов Ю.Н. Об устойчивости дефектов структуры электрохимических покрытий // Электронная обработка материалов. 2014. № 6. С. 13-24.
6. Дешевых В.В., Кульков В.Г., Коротков Л.Н., Степанов Н.Д. Низкочастотное внутреннее трение в ультрамелкозернистой меди // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. №4. С. 1885-1886.
7. Орлов А.А., Игнатьев В.К. Цифровой емкостный dilatometer // Инженерный вестник Дона. 2011. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/462.
8. Марченко И.О. Система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков в учебном процессе // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1916.
9. Войцеховский А.В., Коханенко А.П. Высокочувствительные приемники оптического излучения // Вестник Томского. гос. ун-та. 2005. № 285. С. 39-42.

10. Иванович Л.Г., Олешкевич С.В. Гибридные датчики на волоконно-оптических брэгговских решетках // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. № 4-7, С. 1340-1345.
11. Bushra R.Mhdi, Nahla A.Aljaber, Suad M.Aljwas, Abeer H.Khalid. Design and Construction of Optical Fiber Sensor System for Detection of the Stress and Fine Motion // International Journal of Nano Devices, Sensors and Systems (IJ-Nano). 2012. Volume 1. No. 1. pp. 25-33.
12. Gordon L., J & Williams, D & A. Hobson. Deriving complex location data from simple movement sensors // Robotica. 1990. № 8. pp. 151 - 158.
13. Мисюра В.В., Мисюра И.В. Обработка и фильтрация сигналов. Современное состояние проблемы // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2130.

References

1. Novik A., Berri B. Relaksacionnye javlenija v kristallah [Relaxation phenomena in crystals]. М.: Atomizdat, 1975. 472 p.
 2. Postnikov B.C. Vnutrennee trenie v metallah [Internal friction in metals]. М.: Metallurgija, 1969. 330 p.
 3. Blanter M.S., Piguzov Ju.V. i dr. Metod vnutrennego trenija v metallovedcheskih issledovanijah [Internal friction method in metal science research]. М.: Metallurgija, 1991. 248 p.
 4. Blanter M.S., Golovin I.S., Golovin S.A. i dr. Mehanicheskaja spektroskopija metallicheskih materialov [Mechanical spectroscopy of metallic materials]. М.: Inzh. akad., 1994. 256 p.
 5. Zvjaginceva A.V., Shalimov Ju.N. Jelektronnaja obrabotka materialov. 2014. № 6. pp. 13-24.
 6. Deshevyyh V.V., Kul'kov V.G., Korotkov L.N., Stepanov N.D. Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennyye i tehničeskie nauki. 2013. №4. pp. 1885-1886.
 7. Orlov A.A., Ignat'ev V.K. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2011. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/462.
 8. Marchenko I.O. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1916.
-



9. Vojcehovskij A.V., Kohanenko A.P. Vestnik Tomskogo. gos. un-ta. 2005. № 285. S. 39-42.
10. Ivanovich L.G., Oleshkevich S.V. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2016. № 4-7, pp. 1340-1345.
11. Bushra R.Mhdi, NahlaA.Aljaber, SuadM.Aljwas, AbeerH.Khalid. International Journal of Nano Devices, Sensors and Systems (IJ-Nano). 2012. Volume 1. No. 1. pp. 25-33.
12. Gordon L., J & Williams, D & A. Hobson. Robotica. 1990. № 8. pp. 151-158.
13. Misjura V.V., Misjura I.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2130.