

## МАГНИТНЫЙ ДАТЧИК БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

В данной статье рассматриваются вопросы бесконтактного измерения виброперемещений инструмента и обрабатываемой заготовки в процессе резания. Рассмотрены способы бесконтактных измерений и предложен способ измерений вибрации с применением датчика Холла регистрирующего измерение формы магнитного поля при перемещении объекта измерений относительно датчика. Описаны результаты моделирования датчика и проведено сравнение с результатами эксперимента.

**Ключевые слова:** бесконтактные измерения, вибрация, виброперемещения, датчик Холла, магнитное поле, моделирование.

YU.H. PALENNYI, L.M. PERPERI, V.P. GUGNIN, G.M. GOLOBORODKO  
Odessa National Polytechnic University, Ukraine

### MAGNETIC NON-CONTACT SENSORS FOR MEASUREMENT OF VIBRO

**Abstract -** This article deals with the non-contact measurement of vibratory tool and the workpiece during the cutting process. The methods of non-contact measurement and provides a method for vibrodisplacement measurements with the use of the Hall sensor detects the magnetic field measurement form when moving the measurement object relative to the sensor. The results of modeling the sensor and compared these results with the experimental results.

**Keywords:** non-contact measurement, vibration, vibrodisplacement, Hall sensor, magnetic field simulation.

#### Введение

Исследование составляющих погрешности обработки деталей на металлорежущем оборудовании является темой многих исследований ученых занимающихся проблемами повышения точности металлообработки. Одним из методов анализа является измерение вибрации детали и/или инструмента в процессе обработки.

Для измерения вибрации широкое применение получили датчики инерционного типа, преобразующие виброускорение в аналоговый сигнал [1]. Принцип работы таких датчиков заключается в том, что корпус датчика устанавливается на объект, вибрацию которого необходимо измерить, а активный элемент датчика воздействует через упругий элемент на первичный преобразователь, в котором для получения сигнала используют либо пьезоэлектрический элемент, либо вихретоковые, либо индукционные преобразователи [2]. Схема такого датчика приведена на рис. 1. В некоторых случаях используют оптические устройства для получения измерительной информации.

Такой способ получения измерительной информации достаточно хорошо изучен, однако он имеет следующий недостаток, заключающийся в том, что корпус датчика необходимо крепить на объекте исследований, что налагает ряд ограничений. Таким способом сложно измерить вибрацию вращающихся объектов, таких как борштанга расточного станка, обрабатываемая деталь на токарном станке. Для таких измерений необходимо устанавливать датчик на вращающейся детали, что технически осуществить сложно. Есть еще одно ограничение такого способа измерений – датчик, закрепленный на объекте измерений обладающая определенной массой, изменяет собственную частоту объекта измерений. Это особенно заметно при измерениях вибрации тонкостенных деталей, в процессе обработки, например, лопатки турбин.

#### Постановка задачи

Для выполнения измерений виброперемещений целесообразно использовать бесконтактные датчики. Известны бесконтактные датчики перемещений – индуктивные, емкостные, оптические и ультразвуковые. Схема измерений вибрации бесконтактным датчиком работающего на эффекте Доплера приведена на рис.2. В таких датчиках используют ультразвук, электромагнитное и лазерное излучение [3]. Однако такие датчики не всегда одинаково надёжно работают в жестких условиях металлообработки характеризующейся: механическими ударами, высокой температурой, наличием смазывающе-охлаждающей технологической среды.

Известна система бесконтактного измерения вибраций вращающихся деталей принцип работы которой заключается в том, что на расстоянии 2 ... 2,6 мм от вращающейся детали устанавливается постоянный магнит который крепится на упругой диафрагме [4], (см. рис 3). В процессе вращения детали, вследствие несовпадения ее оси вращения и геометрической оси, а так же из-за других источников вибрации

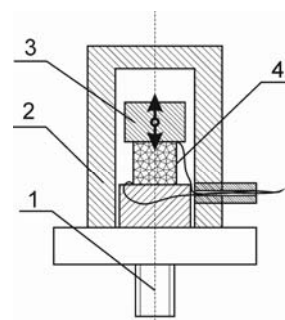


Рис. 1. Схема инерционного датчика  
вибрации

1 – шпилька крепления датчика к  
объекту измерений; 2 – корпус датчика;  
3 – инерционная масса; 4 –  
чувствительный элемент

[5], расстояние между магнитом и объектом измерений изменяется, соответственно изменяется и сила притяжения магнита к детали. К упругой диафрагме крепится первичный преобразователь, принцип работы которого основан на эффекте, возникающем в волоконной брегговской решетке.

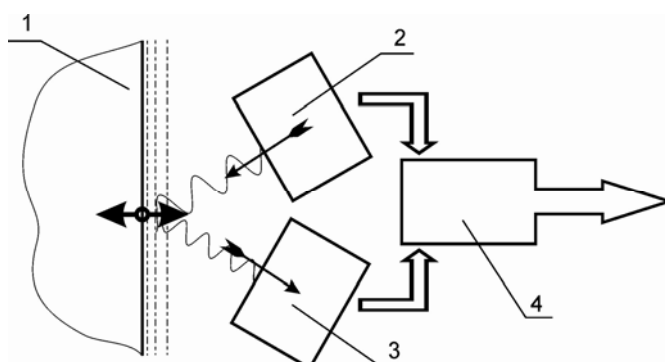


Рис. 2. Схема измерений вибрации бесконтактным датчиком  
1 – объект измерений; 2 – источник сигнала; 3 – приемник отраженного сигнала;  
4 – блок сравнения исходящего и входящего сигналов

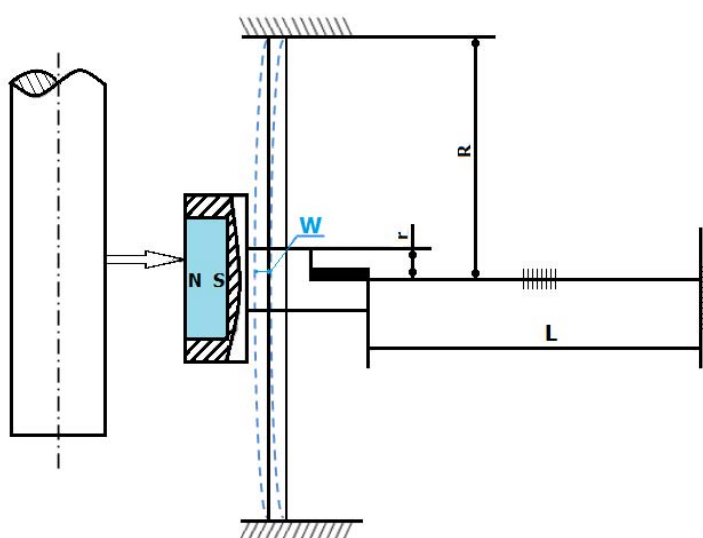


Рис. 3. Система измерений вибрации с помощью постоянного магнита

Такие системы отличаются высокой точностью, защищенностью первичного преобразователя от электромагнитных помех благодаря использованию оптоволоконных датчиков, однако они сложны в изготовлении и настройке.

**Анализ.** Перечисленные способы измерений вибрации, а именно виброперемещений подвижных, в частности, вращающихся объектов зачастую достаточно сложны. Применение простых способов измерений позволит значительно расширить возможность применения бесконтактных методов измерений.

**Основная часть.** Поскольку, в большинстве случаев, исследованию подлежит вибрация деталей из ферромагнетиков, то для измерения виброперемещений предлагается использовать эффект изменения формы магнитного поля этими объектами (см. рис. 4).

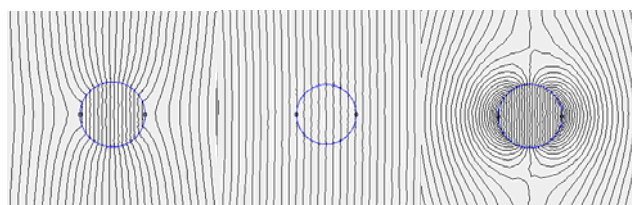


Рис. 4. Изменение формы магнитного поля объектами из различных материалов

При изменении формы магнитного поля будет меняться и величина магнитной индукции в точках этого поля. Измеряя эти изменения, можно установить зависимость изменений индукции магнитного поля в точке от расстояния между постоянным магнитом и объектом измерений. Такой способ исключает необходимость установки, каких либо элементов измерительной системы на объекте измерений соответственно, решается задача измерения виброперемещений вращающихся объектов измерений,

например, борштанга расточного станка, развертка или заготовка на токарном станке.

Такой датчик, основанный на эффекте искривления магнитного поля, был изготовлен для оценки отклонения оси конической самоцентрирующейся развертки от оси вращения.

В результате моделирования магнитных полей в программе FEMM и с помощью натуральных экспериментов была выбрана конструкция магнитного датчика представленная на рисунке 5.

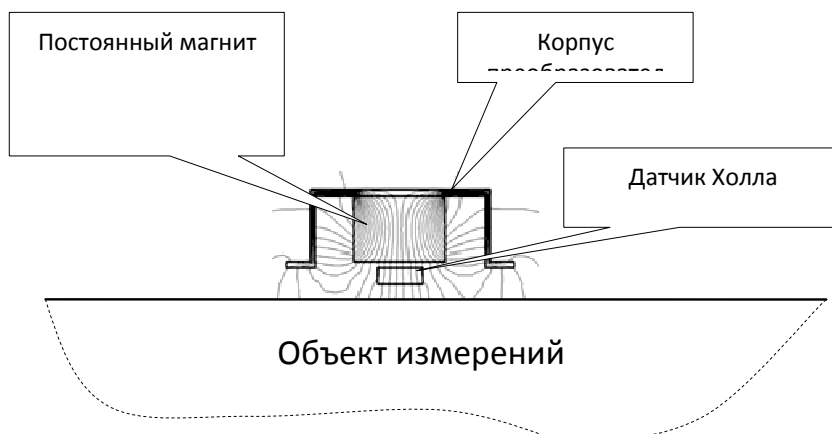


Рис. 5. Конструкция магнитного датчика

Магнитный датчик представляет собой постоянный магнит, установленный в центре корпуса из ферромагнитного материала и датчика Холла установленного на расстоянии 0,5...1,0 мм от полюса магнита. Датчик устанавливался на расстоянии 3...6 мм от объекта измерений.

Для предварительной оценки работоспособности датчика его конструкция была смоделирована в программе FEMM, в которой свойства магнитных полей рассчитываются методом конечных элементов. На рис. 6 показаны результаты расчетов магнитных полей датчика на расстоянии 2,5 и 1,5 мм.

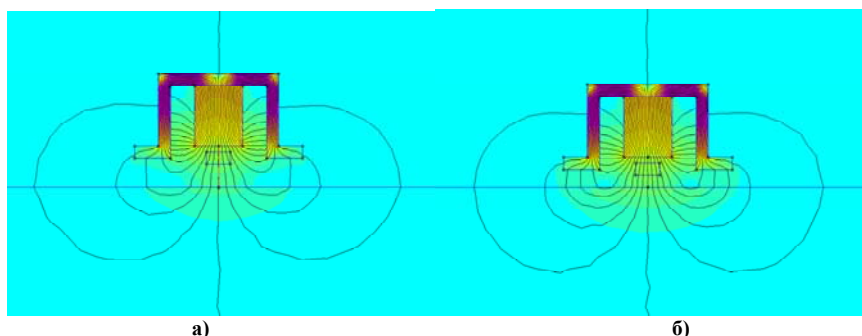


Рис. 6. Магнитные поля датчика на расстоянии 2,5 мм а) и 1,5 мм б) от объекта измерений

По результатам моделирования были построены графики магнитной индукции на отрезке проходящем по оси датчика в зазоре между датчиком и объектом измерений, рис. 7.

Из графика видно, что при приближении датчика к объекту измерений магнитная индукция поля в точке на расстоянии 1 мм от постоянного магнита изменяется на 0,018 Тл или 180 Га.

Изменение индукции магнитного поля измерялось аналоговым датчиком Холла мод. SS495A [6]. Чувствительность такого датчика  $\delta$ , согласно данным изготовителя составляет 3,125 мВ/Га. Измеренный сигнал через предварительный усилитель с коэффициентом усиления  $K_y$  равным 100 подавался на аналогово-цифровой 10-ти битный преобразователь микропроцессора ATmega164.

Расчетная чувствительность датчика  $S$  может быть определена по формуле:

$$S = \frac{L \cdot V_{REF}}{K \cdot (B_2 - B_1) \cdot \delta \cdot 2^N} = 0,09 \text{ мкВ},$$

где  $L$  – расстояние перемещения объекта измерений по отношению к датчику;  
 $B_1$  и  $B_2$  – магнитная индукция в точке установки датчика Холла, соответственно до и после перемещения датчика на расстояние  $L$  ;  
 $V_{REF}$  – опорное напряжение АЦП;  
 $N$  – разрядность АЦП.

Испытания датчика показали сходимость проведенных результатов расчетов по данным полученным в результате моделирования с результатами расчетов по данным полученным в ходе эксперимента [7].

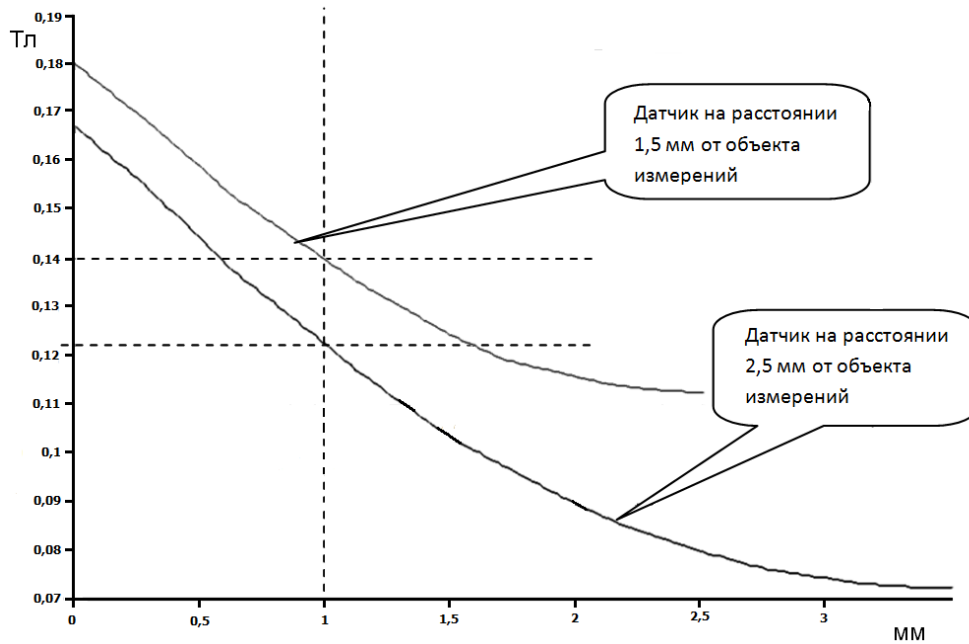


Рис. 7. График индукции магнитного поля в зазоре между датчиком и объектом измерений

На рис. 8 приведены данные измерений полученные при перемещении датчика к объекту измерений с шагом по 0,2 мм. Величина перемещения датчика контролировалась стандартными средствами измерительной техники. Данные измерений, полученные с помощью измерительной системы, усреднялись, и определялась зависимость показаний измерительной системы и стандартного средства измерительной техники.

Таким образом, проводилась тарировка датчиков. По результатам тарировки было установлено, что чувствительность датчика составляет 0,10 мкм.

Описанные датчики могут применяться в автоматизированных системах измерений, что позволяет получать большой объем измерительной информации и ее обрабатывать. Разработанный датчик был использован в качестве первичного преобразователя в измерительном канале информационно-измерительной системы. Схема измерительного канала приведена на рис. 9.

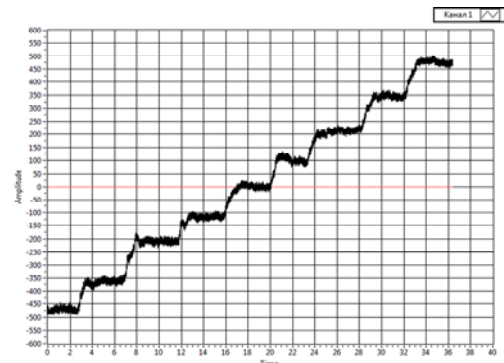


Рис. 8. График тарировки датчика

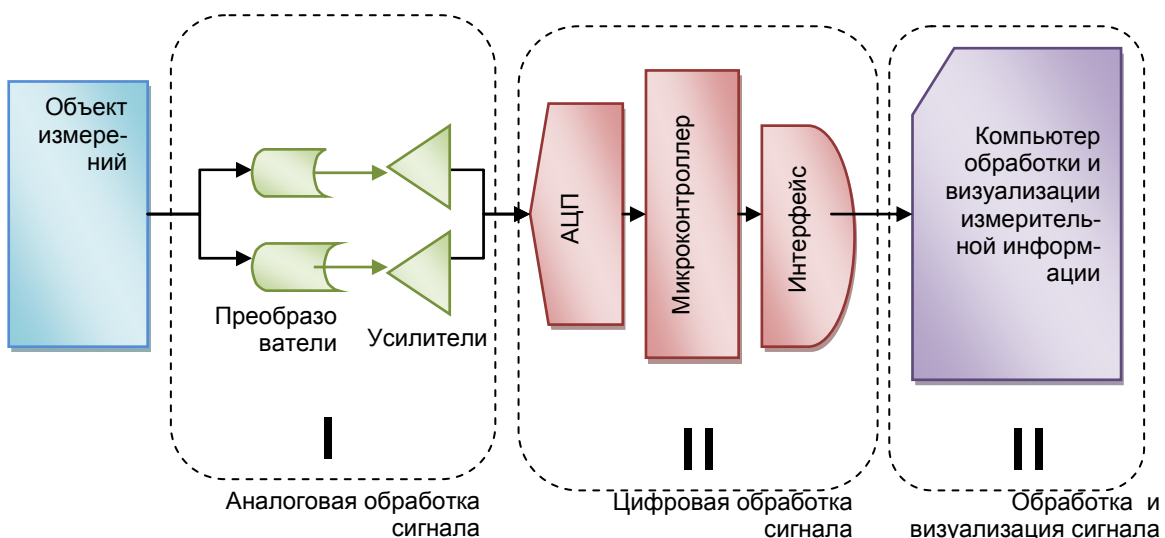


Рис. 9. Измерительный канал с использованием магнитного датчика

С помощью предложенного датчика и измерительного канала были измерены биение хвостовика конической самоцентрирующейся развертки при развертывании отверстия.

## Выводы

Предложенная система измерений с использованием магнитного датчика бесконтактного измерения виброперемещений позволяет оценить: биение на холостом ходу; снижение биения по мере развертывания отверстия; увод оси, связанный с погрешностью установки заготовки относительно оси вращения инструмента.

## Литература

1. Оборський Г.О., Слободяник П.Т., Костенко В.Л., Антошук С.Г. Вимірювання фізичних величин: навчальний посібник: за ред. проф. Оборського Г.О. – Одеса : Астропринт, 2012. – 400с.
2. Щапов П.Ф. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів: монографія / Щапов П.Ф., Мигущенко Р.П., Крочак О.Ю. // Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ» – 2015 – 244 с.
3. Himanshu Chaurasiya, Recent Trends of Measurement and Development of Vibration Sensors, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 4, No 1, July 2012 ISSN (Online): 1694-081
4. Tianliang LI, Yuegang TAN\*, Zude ZHOU, Li CAI, Sai LIU, Zhongting HE, and Kai ZHENG. (2015) Study on the Non-Contact FBG Vibration Sensor and Its Application. Wuhan University of Technology, PHOTONIC SENSORS / Vol. 5, No. 2: 128–136
5. Тонконогий В.М., Оргиян А.А., Голобородько А.М., Перпери Л.М. Механизм возникновения колебаний при обработке однолезвийными коническими развертками одностороннего резания Резание и инструменты в технологических системах, 215-222
6. Sensing and Control Honeywell Inc. 11 West Spring Street Freeport, Illinois 61032, <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-ss490-series-solidstate-product-sheet-005843-1-en.pdf?name=SS495A>
7. Оборский Г.А., Оргиян А.А., Голобородько А.М., Перпери Л.М. Математическая модель динамической системы процесса резания однолезвийной разверткой одностороннего резания / Резание и инструменты в технологических системах, 179-185, 2014

## References

1. Oborskiy G.O., Slobodyanik P.T., Kostenko V.L., Antoschuk S.G. Vimryuvannya flzichnih velichin: navchalnyi posibnik: za red. prof. Oborskogo G.O. – Odesa : Astroprint, 2012. – 400s.
2. Schapov P.F. Teoretichni ta praktichni zasadi system kontrolyu ta dliagnostuvannya skladnih promislovih ob'ektiv: monografiya / Schapov P.F., Miguschenko R.P., Kropachek O.Yu. // Vid-vo «Pidruchnik NTU «HPI» – 2015 – 244 s.
3. Himanshu Chaurasiya, Recent Trends of Measurement and Development of Vibration Sensors, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 4, No 1, July 2012 ISSN (Online): 1694-081
4. Tianliang LI, Yuegang TAN\*, Zude ZHOU, Li CAI, Sai LIU, Zhongting HE, and Kai ZHENG. (2015) Study on the Non-Contact FBG Vibration Sensor and Its Application. Wuhan University of Technology, PHOTONIC SENSORS / Vol. 5, No. 2: 128–136
5. Tonkonogiy V.M., Orgiyan A.A., Goloborodko A.M., Perperi L.M. Mehanizm vznikhoveniya kolebaniy pri obrabotke odnolezviynymi konicheskimi razvertkami odnostoronnegozezaniya Rezanie i instrumenty v tehnologicheskikh sistemah, 215-222
6. Sensing and Control Honeywell Inc. 11 West Spring Street Freeport, Illinois 61032, <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-ss490-series-solidstate-product-sheet-005843-1-en.pdf?name=SS495A>
7. Oborskiy G.A., Orgiyan A.A., Goloborodko A.M., Perperi L.M. Matematicheskaya model dinamicheskoy sistemy i protsessa rezaniya odnolezviynoy razvertkoy odnostoronnegozezaniya / Rezanie i instrumenty v tehnologicheskikh sistemah, 179-185, 2014

Рецензія/Peer review : 4.2.2016 р. Надрукована/Printed : 24.3.2016 р.