

УДК 681.5

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

**В.М. ТОНКОНОГИЙ¹, Ю.Г. ПАЛЕННЫЙ^{2*}, В.П. ГУГНИН²,
А. М. ГОЛОБОРОДЬКО²**¹ директор института промышленных технологий, Одесский политехнический университет, Одесса, УКРАИНА² кафедра металлорежущих станков, метеорологии и сертификации, Одесский политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

*email: yuripalenny@gmail.com

АННОТАЦИЯ Рассмотрены проблемы применения магнитных датчиков виброперемещений в связи с ограничениями, связанными с материалом объекта измерений. Определены факторы, влияющие на магнитные свойства сталей. Показаны ограничения метода измерения виброперемещений магнитными датчиками связанные с величиной и вектором напряженности магнитного поля, индукцией насыщения, обратной магнитострикцией, магнитной вязкостью и температурой объекта измерений. Определены меры, которые способствуют снижению влияния перечисленных факторов на погрешность измерений.

Ключевые слова: измерение магнитными датчиками; ограничения; погрешность измерений.

APPLICATION CONDITIONS OF MAGNETIC VIBRATION SENSORS

V.M. TONKONOGIY¹, YU.G. PALENNYY², V.P. GUGNIN², G.M. GOLOBORODKO²¹ director of the Institute of Industrial Technologies, Odessa Polytechnic University, Odessa, UKRAINE² department of Metal-cutting Machine Tools, Meteorology and Certification, Odessa Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The problems of using magnetic sensors for vibrational displacements in connection with the constraints associated with the material of the measurement object were considered. The factors were determined that influencing for: the magnetic properties of steel; the content of carbon and alloying elements; the structure of metals and the heat treatment scheme; the magnitude and vector of the magnetic field intensity; saturation induction, the Villari effect (inverse magnetostriction); the dynamic magnetic permeability and the magnetic viscosity. It is shown that the properties of steel do not change during the measurement, therefore, the influence of the composition of steel and its structure can be taken into account when calibrating the measuring system. In the same way, during of the measurements the dependence of the relative magnetic permeability on the intensity of the magnetic field does not change. It is shown that during measurements the induction caused by the sensor magnet is substantially lower than the induction of saturation of the magnetic field of the measurement object. The effect of reverse magnetostriction for structural and tool steels is negligibly small, and its value does not exceed of the sensitivity of the measuring system used during the measurements. The results of the experimental evaluation of the magnetic viscosity of steel 45 and carbon steel U10 are presented. It is shown that the rotation of the object during the measurements promotes its demagnetization. However, for high-carbon steels, it is advisable to demagnetize the object before taking measurements. It is shown that the magnetic properties of structural steel slightly change when the temperature is raised higher of 400 °C. Conclusions are drawn about the need to calibrate the measuring system when tuning it, demagnetizing the measurement object at the beginning of each measurement cycle, and limiting the temperature of the measurement object no higher than 400 °C.

Key words: measurement by the magnetic sensors; restrictions; measurement error.

Вступлення

В настоящее время для измерения параметров вибрации широко используют бесконтактные методы измерений. Бесконтактные методы измерений предполагают взаимодействие датчика вибрации с объектом измерений посредством электромагнитных, квазистатических электрических или магнитных полей. При взаимодействии датчика с объектом измерений посредством квазистатических магнитных полей существенное влияние на результаты измерений будут оказывать магнитные свойства объекта измерений.

В статьях [1-4] описан магнитный датчик измерения виброперемещений вращающихся

объектов измерений. Магнитный датчик разработан для контроля виброперемещений роторной борштанги. Для оценки границ применимости метода измерений с помощью описанного магнитного датчика рассмотрено влияние магнитных свойств материалов на результаты измерений.

В результате анализа литературных источников установлено, что достаточно хорошо изучены магнитные свойства электротехнических сталей. Из электротехнических сталей изготавливают сердечники трансформаторов, дросселей, электромагнитных реле, электродвигателей [5]. Для придания электротехническим сталям специальных свойств их легируют, подвергают специальной термической обработке [6]. Магнитные свойства

электротехнических сталей нормируются соответствующими стандартами [7].

Магнитные свойства конструкционных и инструментальных сталей учитываются при оценке влияния магнитных свойств на нагрев заготовок токами высокой частоты [8]. Значения магнитных свойств сталей в таких случаях используют для расчета режимов термической обработки.

Постановка задачи

Важным ограничением метода измерений параметров вибрации с применением бесконтактных магнитных датчиков является то, что объект измерений должен быть ферромагнитным. Поскольку большинство элементов технологических систем изготавливают из конструкционных или инструментальных сталей, которые относятся к ферромагнитным материалам, то это ограничение, для большинства случаев, не будет иметь значения. Однако, различные марки сталей по своим магнитным свойствам могут существенно отличаться друг от друга и для определения ограничений бесконтактного метода необходимо учитывать эти факторы.

Основной материал

К факторам, влияющим на магнитные свойства стали относят:

- содержание углерода и легирующих элементов;
- структура металла и режимы термообработки;
- величина и вектор напряженности магнитного поля;
- индукция насыщения;
- эффект Виллари (обратная магнитострикция);
- динамическая магнитная проницаемость и магнитная вязкость;
- температура.

При бесконтактном измерении объект измерений является частью измерительной системы, следовательно, перед каждым проведением измерений следует производить калибрование (градуирование) магнитного датчика совместно с объектом измерений. Поскольку содержание углерода, легирующих элементов и структура кристаллической решетки объекта измерений в ходе измерений не изменяются, то можно считать, что влияние этих факторов на результаты измерений будет учтено при калибровании.

Магнитная проницаемость стали зависит от величины и вектора напряженности магнитного поля [9, 10]. График зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля приведен на рисунке 1 [11].

Из графика, приведенного на рисунке 1 видно, что зависимость магнитной проницаемости от

напряженности магнитного поля не является линейной функцией. Путем моделирования магнитного датчика определено, что при его перемещении напряженность магнитного поля объекта измерений изменяется в пределах 220...250 Н·А/м (показано на рисунке 1 выделенной областью). На таком малом участке можно считать зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля линейной.

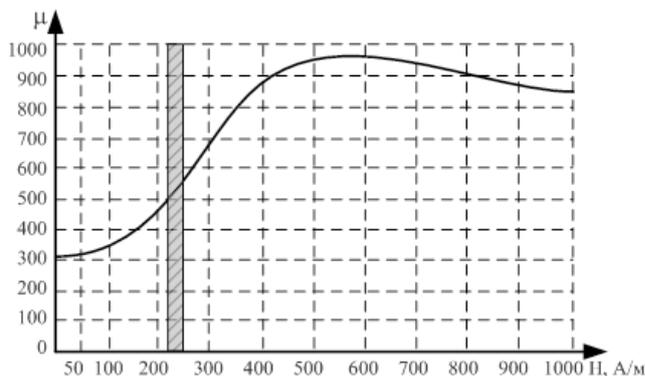


Рис. 1 – Зависимость относительной магнитной проницаемости стали от напряженности магнитного поля

Поскольку изменение индукции магнитного поля происходит при измерении расстояния между датчиком и объектом измерений в одинаковой мере, как при калибровании, так и при измерении то, учитывая линейность этой зависимости, можно считать, что зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля учитывается при калибровании.

Индукция насыщения для конструкционных и инструментальных сталей составляет 1,5...1,6 Тл, а максимальная индукция, создаваемая магнитным датчиком, не превышает 0,2 Тл [12].

Из графика, приведенного на рисунке 2 видно, что при магнитной индукции до 0,2 Тл эффект индукции насыщения не влияет на магнитные свойства стали и может не учитываться при расчете погрешности метода.

Эффект Виллари или эффект обратной магнитострикции для конструкционных и инструментальных сталей является величиной очень малой [14]. Степень деформации консольно закрепленных режущих инструментов, шпинделей или и других аналогичных конструкций рассчитанная по формуле $\Lambda = 2 \sqrt{3} \ln(d_0/d_1)$ [15] составляет 0,003. Для такой степени деформации магнитная индукция изменится на 0,000013 Тл, что в 25 раз меньше чувствительности датчика Холла [16].

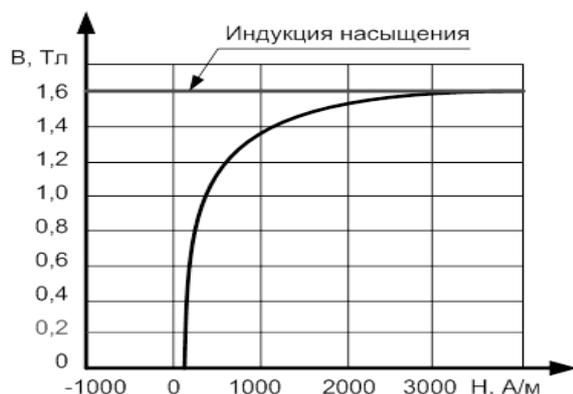


Рис. 2 – Зависимость индукции магнитного поля от напряженности магнитного поля и индукции насыщения [13]

Учитывая низкий уровень влияния обратной магнитострикции на изменение магнитной индукции объекта измерений, при дальнейших расчетах погрешности измерений, ее влияние на суммарную погрешность не учитывается.

Динамическая магнитная проницаемость и магнитная вязкость стали нормируется только для электротехнических сталей. В зависимости от назначения электротехнической стали ее динамическая магнитная проницаемость и магнитная вязкость могут меняться в широких пределах [17]. Скорость вязкого изменения магнитной индукции зависит от многих параметров, например: от материала, от температуры и частоты перемагничивания, от формы намагничиваемого материала, структуры материала и размеров зерна [18,19]. Для конструкционных и углеродистых инструментальных сталей эти параметры не нормируются. Учитывая сложную зависимость динамической магнитной проницаемости и магнитной вязкости стали от многих факторов, оценка влияния их на результаты измерений проверена экспериментально.

Для экспериментального определения остаточной намагниченности под воздействием магнита датчика, к объекту измерений, на контролируемое время, прикладывался постоянный магнит датчика. Затем, с помощью датчика Холла, проводилось измерение магнитной индукции остаточного магнитного поля. Целью эксперимента было определение времени воздействия постоянного магнита на объект измерений, при котором остаточная намагниченность будет выше порога чувствительности датчика Холла.

В результате эксперимента установлено, что индукция остаточного магнитного поля, на объектах изготовленных из конструкционной стали Ст 45, после намагничивания в течение 30...60 минут, меньше чувствительности датчика Холла.

Такие же измерения проведены с объектами, изготовленными из магнитотвердой высокоуглеродистой стали У10. В результате эксперимента установлено, что магнитная индукция остаточного магнитного поля на образце становится выше порога чувствительности датчика Холла после воздействия на образец постоянным магнитом датчика в течение не менее 60 минут.

В процессе измерений объект измерений вращается, следовательно происходит постоянное перемагничивание объекта измерений с частотой не менее 1 с⁻¹, что существенно превышает время необходимое для намагничивания.

Однако, на объект измерений могут длительное время воздействовать внешние магнитные поля, например магнитное поле земли или намагниченные элементы оборудования, то перед проведением измерений объект измерений целесообразно размагнитить.

Таким образом, установлено, что остаточная намагниченность магнитомягких сталей и магнитотвердых сталей не оказывает существенного влияния на измерения, производимые магнитным датчиком.

Известно, что магнитная проницаемость стали зависит от температуры. С повышением температуры до 400...450 °С магнитная проницаемость конструкционных и инструментальных сталей изменяется незначительно, однако при дальнейшем повышении происходит резкое ухудшение магнитных свойств и при достижении температуры точки Кюри, сталь полностью утрачивает свои магнитные свойства. Для конструкционных и инструментальных сталей температура Кюри близка к температуре Кюри железа и равна 740...780 °С [20].

В диапазоне температур от 0 °С до 780 °С, магнитные свойства сталей изменяются по разному, в зависимости от марки стали и напряженности магнитного поля. Для большинства конструкционных и инструментальных сталей эта зависимость может быть выражена формулой [21]:

$$\mu_r(\Theta, H) = \begin{cases} 1 + \frac{\mu_r(H) - 1}{\left[1 + \left(\frac{\Theta}{\Theta_K - \Theta} \right)^\chi \right]^\delta}, & \text{при } \Theta < \Theta_K \\ 1, & \text{при } \Theta > \Theta_K \end{cases}, \quad (1)$$

где: $\mu_r(\Theta, H)$ – относительная магнитная проницаемость как функция от температуры и напряженности магнитного поля; Θ и Θ_K – соответственно температура стали и температура точки Кюри; H – напряженность магнитного поля; δ и χ – коэффициенты, связанные со свойствами марки стали, ее составом и режимами термообработки.

Графически, зависимость относительной магнитной проницаемости от температуры, описанная формулой (1), представлена на рисунке 4.

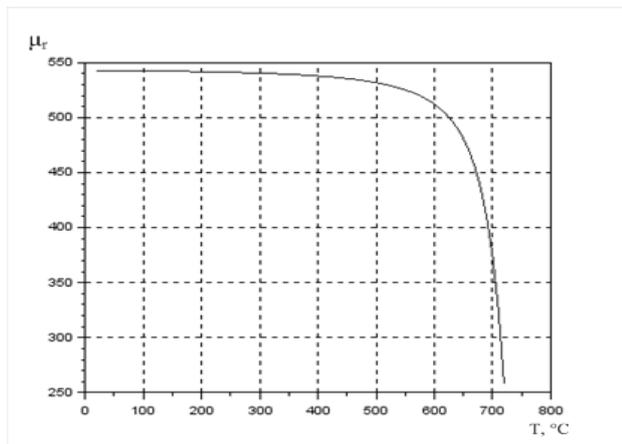


Рис. 4 – График зависимости относительной магнитной проницаемости от температуры для углеродистой стали

В большинстве случаев при измерении виброперемещений температура объекта измерений повышается не более чем на 50 °С, что приведет к изменению относительной магнитной проницаемости на 0,02 %, а в диапазоне температур от 0 °С до 300 °С магнитная проницаемость изменяется не более чем на 0,5 %. Таким образом, погрешность вызванную изменением температуры на величину до 50 °С можно не учитывать.

Выводы

В результате проведенного анализа и экспериментов установлено, что ограничениями для применения магнитного датчика, с целью измерения виброперемещений вращающихся объектов измерений, является следующее:

– объект измерений должен быть магнитным материалом, например конструкционная или инструментальная сталь;

– поскольку объект измерений является частью измерительной системы, то перед проведением измерений необходимо производить калибрование магнитного датчика;

– перед проведением измерений виброперемещений объектов измерений из магнитотвердых материалов их необходимо размагнитить;

– при повышении температуры объекта измерений выше 400 °С необходимо учитывать относительное изменение магнитной проницаемости стали.

Список литературы

1. Пат. 106167 Україна, МПК G01B 7/14. Система для безконтактного вимірювання переміщень інструмента відносно оброблюваної деталі в процесі різання / Г. О. Оборський, Ю. Г. Паленний, В. П. Гугнін та ін.; власник Одеський національний політехнічний

- університет. – № 201507209; заявл. 17.07.2015 ; опублік. 25.04.2016, Бюл. № 8. – 4 с.
2. **Оборский, Г. А.** Бесконтактное измерение относительных перемещений инструмента и детали в процессе резания / Г. А. **Оборский**, Ю. Г. **Паленный**, В. П. **Гугнин**, Л. М. **Перпери**, А. М. **Голобородько** // *Резание и инструмент в технологических системах* – НТУ ХПИ – 2015, выпуск 85.
3. **Паленний, Ю. Г.** Магнитный датчик бесконтактного измерения виброперемещений / Ю. Г. **Паленний**, Л. М. **Перпери**, В. П. **Гугнин** и др. // *Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах* -- ХНУ, Хмельницький, -- 2016, №1. – с. 49-53.
4. **Голобородько, Г. М.** Вимірювальний стенд для експериментального визначення параметрів вільних коливань / Г. М. **Голобородько**, Л. М. **Перпери**, Ю. Г. **Паленний**, Р. П. **Мигущенко** // *Системи обробки інформації*, ХУПС ім. Кожедуба, Харків – 2016, № 3 с. 48-51.
5. **Гуляев, А. П.** *Металловедение : учеб. пособие.* – М. : «Металлургия», 1986. – 544 с
6. **Пятин, Ю. М.** и др. *Материалы в приборостроении и автоматике* – М., "Машиностроение", 1982.
7. ГОСТ 21427.2-83 Сталь электротехническая холоднокатаная изотропная тонколистовая. Технические условия.
8. **Владимиров, С. Н.** Аналитические соотношения, аппроксимирующие температурно-полевую зависимость магнитной проницаемости конструктивных сталей / С. Н. **Владимиров**, С. К. **Земан**, В. В. **Рубан** // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов* – 2009. – №4.
9. **Делюсто, Л. Г.** Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. / [Электронный ресурс] – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=734.
10. **Cullity, B. D.** Introduction to Magnetic Materials 2nd ed / **B. D. Cullity** and **C. D. Graham** – (Wiley, Hoboken, NJ, 2009).
11. **Грецких, С. В.** Анализ влияния магнитной проницаемости стальных элементов железобетонных конструкций домов на уровень ослабления геомагнитного поля в помещениях / *Вісник НТУ "ХПИ"* – 2015. – № 13 (1122).
12. **Jaimes, C.** Sensitivity analysis of a magnetic circuit for non-destructive testing by the magnetic flux leakage technique / С. **Jaimes**, S. **Roa** // *Prospect.* – 2016. – Vol. 14. – № 2. – 22-30.
13. **Шихин, А. Я.** *Электротехника* / А. Я. **Шихин**, Н. М. **Белоусова**, Ю. Х. **Пухляков** и др. под ред. А. Я. **Шихина**. — М.; Высш. шк., 1991. — 336 с.
14. **Allan H. Morrish** The Physical Principles of Magnetism / *Wiley-IEEE Press.* – 2001.
15. **Колмогоров, В. Л.** *Механика обработки металлов давлением.* – М. *Металлургия.* – 1986. – С 668.
16. **Горкунов, Э. С.** Влияние пластической деформации и зон ее локализации на магнитные характеристики стали 45 / Э. С. **Горкунов**, А. М. **Поволоцкая**, К. Е. **Соловьев** и др. // *Дефектоскопия.* - 2009. - N 8. - С. 3-9.
17. **Kobayashi, S.** Hysteresis scaling behavior in a remanent magnetization state / **Kobayashi S.**,

- Takahashi S., Ishibashi Y.** // *IEEE Transactions on Magnetics*. – 2012. –vol. 48, no. 4. – p. 3165-3168.
18. **Дубинин, Г. Н.** Конструкционные, проводниковые и магнитные материалы (Электроматериаловедение) / **Г. Н. Дубинин, Ю. С. Авраамов** -- М. Машиностроение, 1973, С. 296.
 19. **Крупичка, С.** Физика ферритов и родственных им магнитных окислов Текст.: в 2 т. / **С. Крупичка**. – М.: Мир, 1976.-Т. 1.-353 с.; Т. 2. 504 с.
 20. **Spaldin, Nicola A.** Magnetic Materials: Fundamentals and Applications (2nd ed.) / *Cambridge: Cambridge University Press*. 2010.
 21. **Владимиров, С. Н.** Аналитические соотношения, аппроксимирующие температурно-полевую зависимость магнитной проницаемости конструктивных сталей/ **С. Н. Владимиров, С. К. Земан, В. В. Рубан** // *Известия ТПУ*. - 2009. – №4.
 8. **Vladimirov, S. N., Zeman S. K., Ruban V. V.** Analiticheskie sootnosheniya, approksimirujushhie temperaturno-polevuju zavisimost' magnitnoj pronicaemosti konstruktivnyh stalej. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. – 2009. – №4.
 9. **Deljusto, L. G.** Osnovy prokatki metallov v postojannyh magnitnyh poljah [Jelektronnyj resurs] – М. : Mashinostroenie, 2005, 272 s.
 10. **Cullity, B. D., Graham C. D.** Introduction to Magnetic Materials 2nd ed. Wiley, Hoboken, NJ, 2009.
 11. **Greckih, S. V.** Analiz vlijanija magnitnoj pronicaemosti stal'nyh elementov zhelezobetonnih konstrukcij domov na uroven' oslablenija geomagnitnogo polja v pomeshhenijah. *Visnik NTU "HPI"*, 2015, **13** (1122).
 12. **Jaimes, C., Roa S.** Sensitivity analysis of a magnetic circuit for non-destructive testing by the magnetic flux leakage technique. *Prospect*. 2016, **14**, № 2, 22-30.
 13. **Shihin, A. Ja., Belousova N. M., Puhljakov Yu. X. i dr.** Jelektrotehnika, M.; Vyssh. shk., 1991.336 s.
 14. **Allan H. Morrish** The Physical Principles of Magnetism. Wiley-IEEE Press, 2001.
 15. **Kolmogorov, V. L.** Mehanika obrabotki metallov davleniem. M. Metallurgija, 1986, 668.
 16. **Gorkunov, Je. S., Povolockaja A. M., Solov'ev K. E. i dr.** Vlijanie plasticheskoj deformacii i zon ee lokalizacii na magnitnye charakteristiki stali 45. *Defektoskopija*, 2009, **8**, 3-9.
 17. **Kobayashi, S., Takahashi S., Ishibashi Y.** Hysteresis scaling behavior in a remanent magnetization state / **Kobayashi S.** *IEEE Transactions on Magnetics*, 2012, vol. **48**, 4, 3165-3168.
 18. **Dubinin, G. N., Avraamov Yu. S.** Konstrukcionnye, provodnikovye i magnitnye materialy (Jelektromaterialovedenie). M. Mashinostroenie, 1973, 296.
 19. **Krupichka, S.** Fizika ferritov i rodstvennyh im magnitnyh okislov Текст.: в 2 т. М.: Мир, 1976.-Т. 1.-353 с.; Т. 2. 504 с.
 20. **Spaldin, Nicola A.** Magnetic Materials: Fundamentals and Applications (2nd ed.) / *Cambridge: Cambridge University Press*. 2010.
 21. **Vladimirov, S., N. Zeman S. K., Ruban V. V.** Analiticheskie sootnosheniya, approksimirujushhie temperaturno-polevuju zavisimost' magnitnoj pronicaemosti konstruktivnyh stalej. *Izvestija TPU* – 2009, №4.

Bibliographi (transliterated)

1. Pat. 106167 Ukraïna, MPK G01V 7/14. Sistema dlja bezkontaktного vimirjuvannja peremishhen' instrumenta vidnosno obroblyvanoï detali v procesi rizannja / **G. O. Obors'kij, Yu. G. Palennyj, V. P. Guginn** ta in.; vlasnik Odes'kij nacional'nij politehnichnij universitet. – № 201507209; zajavl. 17.07.2015 ; opublik. 25.04.2016, Bjul. № 8. – 4 s.
2. **Oborskij, G. A., Palennyj Yu. G., Guginn V. P., Perperi L. M., Goloborod'ko A. M.** Beskontaktное izmerenie odnositel'nyh peremeshhenij instrumenta i detali v processe rezanija. *Rezanie i instrument v tehnologicheskijh sistemah*. – NTU HPI, 2015, v. 85.
3. **Palennyj, Yu. G., Perperi L. M., Guginn V. P. i dr.** Magnitnyj datchik beskontaktного izmerenija vibroperemeshhenij. *Vimirjuval'na ta Obchisljuval'na Tehnika v Tehnologichnih Procesah*. - HNU, Hmel'nic'kij, 2016, №1, 49-53.
4. **Goloborod'ko, G. M., Perperi L. M., Palennyj Yu. G., Migushhenko R. P.** Vimirjuval'nij stend dlja eksperimental'nogo viznachennja parametriv vil'nih kolivan'. *Sistemi obrobki informacii*, HUPS im. Kozheduba, Har'kiv, 2016, **3**, 48-51.
5. **Guljaev, A. P.** Metallovedenie : ucheb. posobie. – М. : «Metallurgija», 1986, 544 s.
6. **Pjatin, Yu. M.** i dr. Materialy v priborostroenii i avtomatike – М., "Mashinostroenie", 1982.
7. GOST 21427.2-83 Stal' jelektrotehnicheskaja holodnokatanaja izotropnaja tonkolistovaja. Tehnicheskie uslovija.

Сведения об авторах (About authors)

Тонконогий Владимир Михайлович -- директор института промышленных технологий, дизайна и менеджмента, профессор кафедры, доктор технических наук, профессор e-mail: vmt47@ukr.net.

Vladimir Tonkonogiy – director of the Institute of Industrial Technologies, Design and Management, Professor of the Department, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: vmt47@ukr.net.

Паленный Юрий Григорьевич – ст. преподаватель кафедры «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Yuriy Palennyj– senior teacher of the department "Metal-cutting machine tools, metrology and certification" of the Odessa National Polytechnic University, Odessa; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Гугнин Владимир Павлович – профессор кафедры «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса, кандидат технических наук, e-mail: guginn@te.net.ua.

Vladimir Guginn– professor of the department "Metal-cutting machine tools, metrology and certification" of Odessa National Polytechnic University, Odessa, Cand.Tech.Sci.

Голобородко Ганна Михайлівна -- доцент кафедри «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса, кандидат технических наук, E-mail: amg.mvms@ukr.net
Ganna Goloborodko – senior lecturer of the department "Metal-cutting machine tools, metrology and certification" of the Odessa National Polytechnic University, Odessa, Cand.Tech.Sci.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Тонконогий, В. М. Ограничения применения магнитных датчиков виброперемещений / **В. М. Тонконогий, Ю. Г. Паленный, В. П. Гугнин, А. М. Голобородко**, // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 144-149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23.

Please cite this article as:

Tonkonogiy, V. M., Palennyu, Yu. G., Gugnin, V. P., Goloborodko, A. M. Application limitations of magnetic vibration sensors. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 144–149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Тонконогий, В. М. Обмеження застосування магнітних датчиків вібропереміщень / **В. М. Тонконогий, Ю. Г. Паленний, В. П. Гугнін, Г. М. Голобородко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 144-149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23.

АНОТАЦІЯ Розглянуто проблеми застосування магнітних датчиків вібропереміщень у зв'язку з обмеженнями, що пов'язані з матеріалом об'єкта вимірювань. Визначено фактори, які впливають на магнітні властивості сталей. Показано обмеження методу вимірювання вібропереміщень магнітними датчиками, які пов'язані з величиною і вектором напруженості магнітного поля, індукцією насичення, зворотною магнітострикцією, магнітною в'язкістю і температурою об'єкта вимірювань. Визначено заходи, які сприяють зниженню впливу перелічених факторів на похибку вимірювань.

Ключові слова: Вимірювання магнітними датчиками; обмеження; похибка вимірювань.

Поступила (received) 10.09.2017