

УДК 621.951.7

Г.М. Голобородько<sup>1</sup>, Л.М. Перпері<sup>1</sup>, Ю.Г. Паленний<sup>1</sup>, Р.П. Мигущенко<sup>2</sup><sup>1</sup> Одеський національний політехнічний університет, Одеса<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

*Вимірвальний стенд для експериментального визначення параметрів вільних коливань. Розглянуто важливість вимірювання вільних коливань лезового інструменту для досягнення цілей удосконалення як інструменту так і процесу різання. Доведена доцільність використання безконтактного вимірювання взаємного положення інструменту та деталі. Розроблено принципову схему вимірвальної системи для вимірювань що базується на первинних перетворювачах, що використовують ефект Холу. Наведено налаштування вимірвальної системи, порядок її тарування та порядок оброблення вимірвальної інформації. Наведено математична модель вільних коливань інструменту та наведені графіки з експериментального дослідження цих коливань. Зроблено висновки щодо збіжності результатів вимірювань та моделювання.*

**Ключові слова:** вільні коливання, вимушені коливання, вимірювання, первинні перетворювачі, ефект Холу, вимірвальна система.

### Вступ

Для вимірювання вільних і вимушених коливань консольних інструментів в процесі різання застосовують датчики, що працюють за безконтактним принципом вимірювань. Для аналогічних вимірювань зазвичай використовуються безконтактні ємнісні або індуктивні датчики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш часто використовують методи вимірювання за допомогою індуктивних та ємнісних датчиків, які реєструють зміну частоти коливань контуру при зміні індуктивності або зміні ємності в вимірвальній схемі. За допомогою схемотехнічних рішень проводиться порівняння частот контуру датчика і задаючого генератора [1]. Така схема ускладнює конструкцію вимірвальних приладів. Відома також лазерна система вимірювань коливань інструменту [2]. Не зважаючи на високу точність такої системи її висока складність та вартість не дозволяють її широко використовувати в дослідних лабораторіях.

**Метою** експериментального дослідження є визначення параметрів вільних коливань за допомогою вимірвального стенду.

### Викладення основного матеріалу

Для вимірювання вібропереміщень інструменту відносно деталі при низькочастотних коливаннях було запропоновано використовувати безконтактні датчики до складу яких входять широко відомі первинні перетворювачі, що працюють на основі ефекту Холу моделі SS495A [3, 4]. Наведені первинні перетворювачі мають необхідними властивостями для застосування в таких вимірвальних пристроях, а саме:

- достатня лінійність сигналу в широкому діапазоні вимірюваних значень;
- незначна чутливість до зміни температур;
- здатність працювати на частотах до 40 кГц;
- представлення результатів вимірювань у вигляді аналогового сигналу в діапазоні від 0 до 5 В.

Первинний перетворювач Холу розташовується в безпосередній близькості від одного з полюсів постійного магніту датчика.

При наближенні датчика до феромагнетиків відбувається зміна форми магнітного потоку, що в свою чергу призводить до зміни напруженості магнітного потоку в точці установки первинного перетворювача Холу.

Блок схема системи вимірювань показана на рис. 1 та призначена для безперервного стаціонарного вимірювання та контролю параметрів коливань інструменту відносно деталі під час її обробки.

Вимірвальний сигнал з датчиків Д1 та Д2 має постійну складову та змінну. Корисна інформація міститься в змінній частині вимірвального сигналу, тому в модулі МРУС з сигналу віднімається постійна складова, а змінна частина підсилюється інструментальним підсилювачем (СУ), таким чином, що б наблизити амплітуду корисного сигналу до вхідного діапазону АЦП.

Після перетворення аналогового вимірвального сигналу в цифровий код вимірвальна інформація за допомогою мікроконтролера (МК) передається на персональний комп'ютер. Експериментальні дослідження показали, що чутливість такого датчика з підсилювачем достатня для вимірювання переміщень величиною  $(1,0 \pm 0,1)$  мкм при зазорі між датчиком і деталлю 2 ... 3 мм.

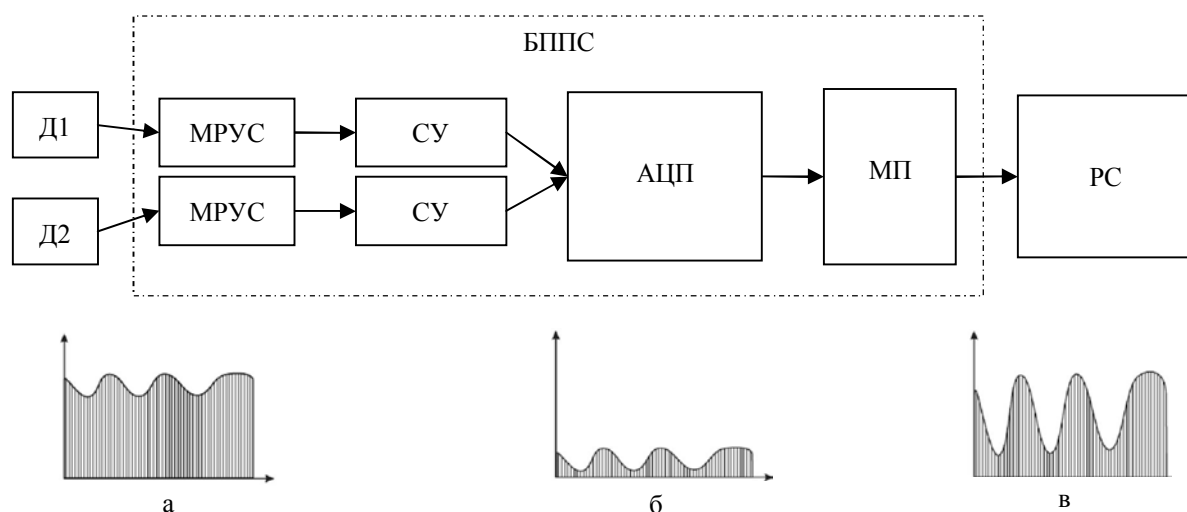


Рис. 1. Блок схема системи вимірювань

а – вид аналогового сигналу на виході з датчика Холу;  
 б – вид аналогового сигналу на виході МРУС; в – вид аналогового сигналу на виході СУ  
 Д1, Д2 – датчики, МРУС – модуль регулювання сигналу, СУ – узгоджувальний підсилювач,  
 АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; МК – мікроконтролер; РС – комп’ютер

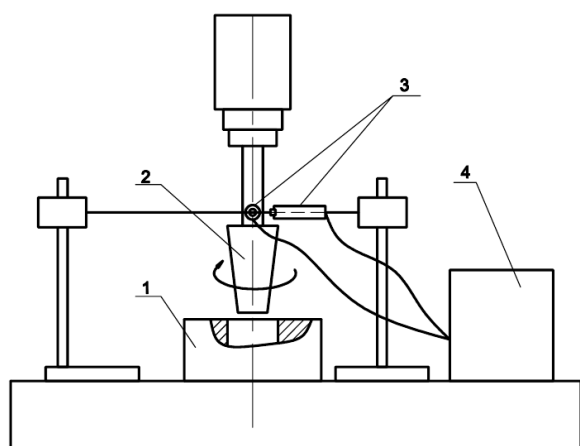


Рис. 2. Схема вимірювань коливань інструменту щодо деталі під час її обробки:  
 1 – оброблювана деталь, 2 – розгортка, 3 – датчики, 4 – блок первинного перетворення вимірювального сигналу

Як видно з рис. 2, датчики 3 (Д1 і Д2) розташовуються на відстані 2...3 мм від хвостовика інструменту у взаємно перпендикулярних напрямках. При зміні відстані між хвостовиком інструменту та датчиком відбувається зміна форми магнітного потоку, яке фіксується датчиками, та відповідна вимірювальна інформація передається на комп’ютер, де за допомогою програмного середовища NI LabVIEW здійснюється статистична обробка сигналу та відображення вібропереміщень.

Для цього датчики переміщень 3, за допомогою мікрометричної подачі, наближають і відводять від інструменту 2 (розгортки). При цьому індикаторами годинникового типу вимірюються величину їх переміщень. Записують показники індикатора ( $\Delta i$ ) і

величину вихідного сигналу на виході системи ( $\Delta c$ ). Величина вихідного сигналу відображається на персональному комп’ютері.

Коефіцієнт тарування ( $K$ ) визначають за формулою:

$$K = \frac{\Delta i}{\Delta c}$$

За результатами тарування визначають  $K1$  і  $K2$  і для датчиків переміщень Д1 і Д2. Для одержання значення переміщення інструменту 2 в мікрометрах ( $L$ ), отриманий з кожного датчика переміщень 3 сигнал перемножується на відповідний коефіцієнт  $K1$  або  $K2$ :

$$L = K \cdot \Delta c$$

Після тарування інструменту 2 надають обертання і подачу. Одночасно вмикають систему й усі дані вимірювань записують на персональному комп’ютері.

Експериментальне визначення власних частот. Експерименти проводилися для вимірювання власних коливань розгортки, що був установлений в шпинделі фрезерного верстату ОММ67S. Для проведення вимірювань амплітуди вільних затухаючих коливань системи шпиндель – інструмент піддається імпульсному впливу (удару).

Після удару первинна інформація з вільних коливань об’єкту досліджень реєструвалася за допомогою датчиків і через лінію зв’язку записувалася в пам’ять комп’ютера. За результатами випробувань, відповідно до теоретичної моделі, здійснювалася оцінка вібростійкості.

Загальний вигляд стенду для вимірювань вільних затухаючих коливань наведено на рис. 3.

Безконтактне вимірювання коливань об'єкту досліджень дозволяє уникнути пошкодження датчиків під час удару, що здійснюється для виникнення власних коливань.

Дані вимірювань зберігаються на комп'ютері у вигляді окремого файлу, що дає змогу обробляти такі дані будь якими програмними засобами. Під час проведення експериментальних досліджень використовувались такі програмні продукти як NI LabVIEW і Microsoft Excel.

Для аналізування даних вимірювань у програмному середовищі NI LabVIEW були розроблені віртуальні прилади для отримання даних вимірювань від мікроконтролера, попередньої їх візуалізації для управління процесом вимірювань, а також для запису даних вимірювань в файл. За допомогою окремого віртуального приладу дані вимірювань оброблялись для візуалізації та математичної обробки. Отримана за допомогою такого віртуального приладу осцилограма представлена на рис. 4.



Рис. 3. Стенд для вимірювання вільних коливань і вібропереміщень інструменту

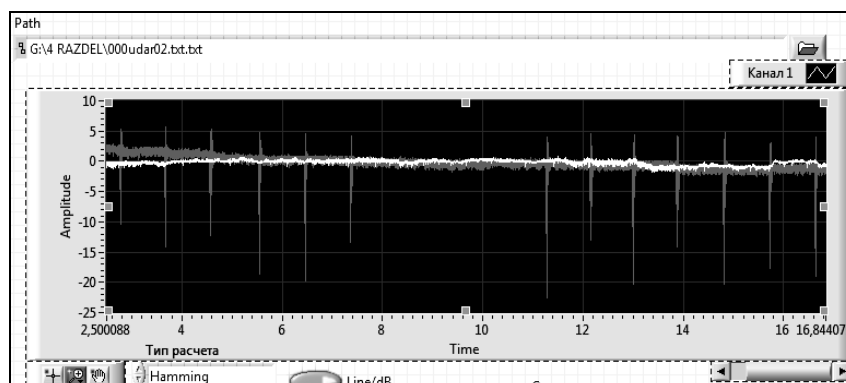


Рис. 4. Осцилограма вільних затухаючих коливань

Вільні затухаючі коливання зазвичай реалізуються за нижчою власною частотою вільних коливань. Для того, щоб визначити величину декременту коливань системи необхідно експортувати оброблені дані вимірювань в Microsoft Excel, графіки яких показані на рис. 5.

За отриманими даними віброграми можна визначити величину логарифмічного декременту коливань  $\eta$  за формулою [4, 5]:

$$\eta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_i}{A_{i+n}},$$

де  $A_i$ ,  $A_{i+n}$  — амплітуди вільних затухаючих коливань, віддалені на  $n$  періодів один від одного,

$$\eta = \frac{1}{8} \ln \frac{20}{1,5} = 0,32.$$

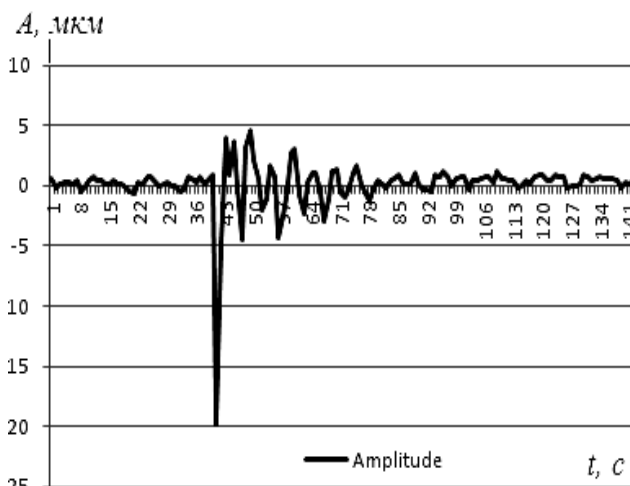


Рис. 5. Обробка віброграм

Власну частоту коливань  $f_0$  можна визначити за осцилограмою, представленою на рис. 6.

Частота  $f_0$  – величина зворотна періоду коливань  $T$  Гц. Відповідно, період першого коливання від імпульсного навантаження (удару) дорівнює шести діленням за горизонтальною віссю, що відповідає 0,0048 с. Тоді  $f_0 = 208$  Гц.

Кругова частота вільних затухаючих коливань  $\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 1306$  хв<sup>-1</sup>.

## Висновки

Запропонований вимірювальний стенд дозволяє отримати параметри вільних затухаючих коливань за допомогою осцилограм.

Обробка отриманих віброграм дозволяє оцінити параметри динамічної системи шпиндель – розгортка.

## Список літератури

1. Попов В.И. Динамика станков / В.И. Попов, В.И. Локтев. – К.: Техніка, 1975. –136 с.
2. Antonio Ramon Jimenez Ruiz, Jorge Guevara Rosas, Fernando Seco Granja, Jose Carlos Prieto Honorato, Jose Juan Esteve Taboada, Vicente Mico Serrano, Teresa Molina Jimenez. A Real-Time Tool Positioning Sensor for Machine-Tools. *Sensors* 2009, 9, 7622-7647; doi:10.3390/s91007622, ISSN 1424-8220.
3. Безконтактное 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. *Международ. науч.-техн. сборник.* – Х.: НТУ «ХПИ», 2015. – Вып. 85. – С. 226 – 233.

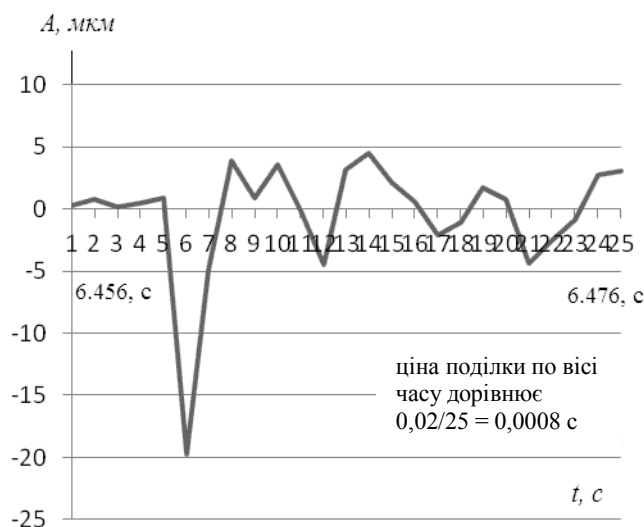


Рис. 6. Осцилограма власних коливань

4. Тонконогий В.М. Механизм возникновения колебаний при обработке однолезвийными коническими развертками одностороннего резания / В.М. Тонконогий, А.А. Оргиян, А.М. Голобородько, Л.М. Перпери // Резание и инструмент в технологических системах. *Международ. науч.-техн. сборник.* – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – Вып. 84. – С. 215 – 222.

Надійшла до редколегії 25.01.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

А.М. Голобородько, Л.М. Перпери, Ю.Г. Паленный, Р.П. Мигущенко

Измерение свободных колебаний лезвийного инструмента является важной задачей для достижения целей усовершенствования, как инструмента, так и процесса резания. Доказана целесообразность использования бесконтактного измерения взаимного положения инструмента и детали. Разработана принципиальная схема измерительной системы для измерений основанный на первичных преобразователях использующих эффект Холла. Приведены настройки измерительной системы, порядок ее тарирования и порядок обработки измерительной информации. Приведена математическая модель свободных колебаний инструмента и графики экспериментального исследования этих колебаний. Сделаны выводы по сходимости результатов измерений и моделирования.

**Ключевые слова:** свободные колебания, вынужденные колебания, измерения, первичные преобразователи, эффект Холла, измерительная система.

## TEST STAND FOR THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF FREE OSCILLATIONS

G.M. Goloborodko, L.M. Perperi, Yu.G. Palennyi, R.P. Mihushchenko

Consider the importance of measuring free and forced vibrations edge cutting tool to achieve the objectives of improvement as a tool and cutting process. Proved the feasibility of using non-contact measurement of the relative position of tools and parts. Developed schematic diagram measuring system for measurements based on primary converters using Hall effect. Shows the settings of the measuring system, the procedure of calibration and measurement data processing procedure. The mathematical model of free oscillations tool, and shows graphs of the experimental study of these oscillations. The conclusions about convergence measurement results and modeling.

**Keywords:** free vibrations, forced vibrations, measurement, primary converters, Hall effect measuring system.