

О.А. Владимирський, Київ  
І.А. Владимирський, Київ  
А.П. Іващенко, Київ  
І.П. Криворучко, Київ

## РОЗРОБКА СТРУКТУРИ НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ВІБРОКАЛІБРУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ НАВКУ-3

**Abstract.** The structure of a low-frequency vibro-calibration system based on a linear actuator and a stepper motor is considered. The system is intended for use as a means of measuring vibration and motion parameters in the frequency range from 0.1 Hz to 15 Hz.

### Актуальність, постановка задачі

У діагностуванні технічного стану різних об'єктів енергетики, промисловості, транспорту, інерційних засобів навігації тощо важливе значення має низькочастотний діапазон вібрації. При створенні відповідних засобів метрологічної калібровки використовуються різні методи збудження вібрації – електродинамічний, електромагнітний, механічний (кінематичний і центробіжний), гідравлічний, п'єзоелектричний та ін. Однак проблема створення простої та надійної низькочастотної автоматизованої віброкалібрувальної системи залишається досить актуальною.

**Структура низькочастотної віброкалібрувальної установки** (див. Рис. 1), яка розроблена в ПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України спільно з ДП “Укрметрестандарт”, призначена для використання в якості еталонного засобу вимірювальної техніки, який використовується для вимірювання та реєстрації параметрів акселерометрів, пристроїв реєстрації параметрів руху. Установка побудована на базі лінійного актуатора з зубчастим ременем і крокового двигуна. Така схема дозволяє суттєво збільшити амплітуду вібропереміщення в діапазоні частот від 0,1 Гц до 15 Гц.

### Склад низькочастотної віброкалібрувальної установки:

- РС-сумісний комп'ютер.
- Програмне забезпечення.
- Вимірювальний блок.
- Низькочастотний стенд
- Еталонний вібродатчик.
- Постамент стенду.

Під управлінням програмного забезпечення комп'ютер виконує такі функції:

- Організація інтерфейсу з оператором.
- Видача керуючих сигналів в вимірювальний блок.

- Прийом масивів вибірок з вимірювального блоку.
- Виконання розрахункових операцій (цифрова фільтрація, спектральний аналіз, та ін.).
- Відображення результатів розрахунків.

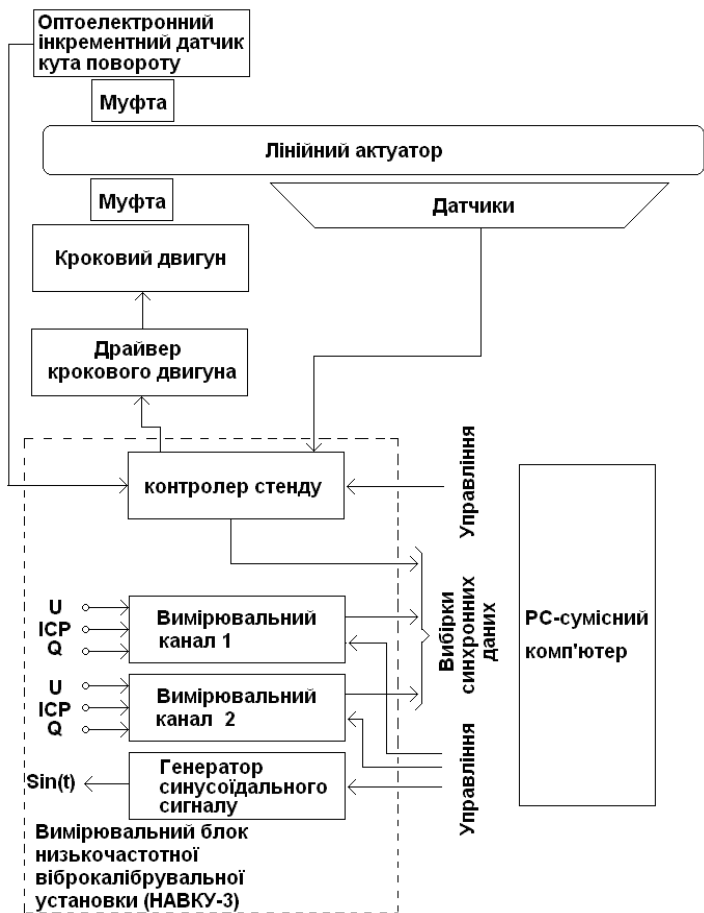


Рис. 1. Структурна схема низькочастотної віброкалібрувальної установки

Функції вимірювального блоку:

- Генерація сигналів управління для крокового двигуна відповідно до програми вимірювань.
- Контроль параметрів руху столу стенду.
- Підсилення та фільтрація сигналів з двох акселерометрів, один з яких є сталонним.
- Аналого-цифрове перетворення вхідних сигналів.

Програмне забезпечення забезпечує виконання таких функцій:

- Запис довгих вибірок вхідних сигналів.
- Формування і передачу в комп'ютер масивів вибірок.
- Генерацію тестового синусоїдального сигналу для самодіагностування.
- Прийом команд від базового комп'ютера і видача даних вимірювань по інтерфейсу USB.

Функції і основні характеристики низькочастотного стенду:

- Відпрацювання переміщення (вібрації) робочого столу із заданими характеристиками в діапазоні частот 0,1 Гц – 15 Гц.
- Розмах переміщення – до 1 м.
- Маса переміщуваного об'єкту – до 3 кг.
- Максимальна швидкість – до 10 м/с.
- Максимальне прискорення – до 2 м/с<sup>2</sup>.
- Контроль координати столу з дискретністю від 1 до 10 мкм.

Вимірювальний блок містить генератор тестового сигналу, два вхідних підсилювача з АЦП, контролер крокового двигуна, інтерфейс з комп'ютером, блоки живлення.

Особливості генератора:

- Призначений для формування синусоїдальної напруги з заданими характеристиками для тестування (калібрування) вхідних каналів.
- Побудований на базі мікросхеми цифрового синтезатора частот AD9832 (або аналога), що містить SIN-таблицю і 10-розрядний ЦАП.

Функції контролера стенду:

- Формування керуючих сигналів для драйвера крокового двигуна стенда відповідно до отриманих команд.
- Контроль положення (координати) робочого столу стенду.
- Характеристики вхідних підсилювачів:
- Кожен приймальний канал має вхідний підсилювач з регульованим підсиленням (шкала 3 мВ – 10 В) з входом «по напрузі», «по заряду» і «ІСР».
- Смуга робочих частот: 0,1 Гц – 15 Гц.

Характеристики АЦП: 24 біт, частота дискретизації – 2 кГц.

Інтерфейс з комп'ютером – USB 2.0.

Блок живлення формує напруги живлення всіх вузлів вимірювального блоку «НАВКУ-3».

Вимоги до комп'ютера:

- РС-сумісний персональний комп'ютер, операційна система – Windows.
- Багатоядерний процесор класу не нижче i5 з тактовою частотою не менше ніж 2,0 ГГц,
- Обсяг ОЗУ – не менше 4 Гбайт, вінчестер – не менше 500 Гб, вбудований накопичувач SSD для ядра ОС – не менше 64 Гбайт.
- Кольоровий дисплей 24", не менше 1920x1080.
- Кілька портів USB 2.0.
- Блок безперервного живлення.

- Принтер.
- Основні функціональні можливості програмного забезпечення:
  - Управління переміщенням столу низькочастотного стенду, що працює на кроковому двигуні.
  - Управління переміщенням столу низькочастотного стенду, що працює на електродинамічному принципі.
  - Відображення переміщення столу низькочастотного стенду.
  - Запис синхронних вибірок двох вхідних сигналів і координат столу низькочастотного стенду для подальшого аналізу.
  - Запис довгих вибірок двох вхідних сигналів.
  - Вимірювання характеристик віброперетворювачів.
  - Визначення коефіцієнта нелінійних спотворень вхідних сигналів.

До складу низькочастотного стенду входять:

- Лінійний актуатор.
- Кроковий двигун.
- Сполучні муфти
- Драйвер крокового двигуна.
- Датчики положення робочого столу.

Лінійний актуатор – привід з зубчастим ременем: ELM, E-smart, ONE груп Plus System компанії ROLLON [1]. Длина актуатора – 1,5 м.

Передбачається використовувати кроковий двигун FL130BYG [2] (обертаючий момент – 275 – 509 кгс\*см, кутовий крок, 1.8 град.)

Передбачається застосування високовольтного драйвера крокового двигуна типу DM2282 [3] (2-фазний цифровий кроковий привід 80-220VAC, 0,5-8,2А пік, автоматична конфігурація, низький рівень шуму).

Датчики положення робочого столу:

- Інкрементний датчик кута повороту вала двигуна (MOL-40, 14400 дискрет на оберт або датчик з розподільчою здатністю до 100000 дискрет на оберт)
- Датчик лінійного переміщення (оптичний або магнітний з розподільчою здатністю 1 – 10 мкм)
- Датчики крайніх положень столу стенду (для аварійної зупинки) магнітні або контактні.

Передбачена можливість установки додаткового планетарного редуктора між двигуном та актуатором.

Компонування та розміщення:

- Низькочастотний стенд монтується на спеціальному постаменті.
- Вимірювальний блок «НАВКУ-3» і PC-сумісний комп'ютер встановлюються на окремому столі в безпосередній близькості від стенду.

Характеристики сигналу на виході генератора:

- Форма вихідного сигналу – синусоїдальне коливання.
- Способи перебудови частоти вихідного сигналу: ручна установка або автоматичний перебір частот в заданому діапазоні з заданим кроком.
- Діапазон установки частоти вихідного сигналу – 0,05 Гц – 5000 Гц.

- Крок перебудови частоти вихідного сигналу в режимі автоматичного перебору частот – 10, 30, 90 частот на декаду.
  - Точність установки частоти вихідного сигналу –  $10^{-4}$  Гц.
  - Амплітуда вихідного сигналу – 1 В
- Функціональні можливості віброкалібрувальної установки:
- Порівняльне градування акселерометрів (з автоматизованою видачею протоколу перевірки за формою замовника).
  - В якості еталонного сигналу використовуються сигнали з інкрементного оптоелектронного датчика положення стола або з еталонного акселерометра.

Вимоги до автоматичних регулювань:

- Автоматизоване проведення вимірювань.
- Програмний захист низькочастотного стенду від надмірних амплітуд переміщення.

Подання вихідних даних – результати вимірювань подаються на екрані комп'ютера у вигляді графічних даних та (або) таблиць. Графіки і таблиці можуть бути експортовані в інші додатки Windows, наприклад в Word, Excel. Автоматичне формування звітів.

Джерело електроживлення: мережа 220 В змінного струму.

Умови експлуатації:

- Робочий діапазон температур: від  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ ;
- Відносна вологість: до 80%.
- Стійкість вимірювального блоку низькочастотної віброкалібрувальної установки до механічних впливів – призначений для роботи в умовах відсутності вібрацій та ударів.

Метрологічні характеристики вимірювальних каналів:

- Максимально допустима відносна похибка при вимірюванні коефіцієнта перетворення акселерометра по заряду – від  $\pm 1\%$  до  $\pm 6\%$
- Максимально допустима відносна похибка при вимірюванні середньоквадратичної напруги змінного струму – від  $\pm 0,3\%$  до  $\pm 0,5\%$ .

**Практична реалізація та впровадження НАВКУ-3 здійснюються в 2019-2020 рр. на замовлення ДП "Укрметртестстандарт".**

1. Rollon. Actuator Line. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rollon.com/RU/ru/products/actuator-line/> (Дата звернення: 10.12.2019).
2. Шаговые двигатели FL130BYG. Промышленная механика. ООО "Линейные системы". [Електронний ресурс]. URL: [http://linear-tech.ru/images/pdf/30\\_motor/stepmotors.pdf](http://linear-tech.ru/images/pdf/30_motor/stepmotors.pdf) (Дата звернення: 10.12.2019).
3. Leadshine Technology Co., Ltd. Home > Products > Stepper Products > Stepper Drives > General Stepper Drives > DM Series > DM2282. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.leadshine.com/productdetail.aspx> (Дата звернення: 10.12.2019).

**<http://doi.org/10.5281/zenodo.3860730>**

*Поступила 3.10.2019р.*