

**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ**

УДК 621.8-1/-9

**СТЕНД ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ МОДУЛІВ***Мироненко П. С., Павловський О. М.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: [a\\_pav@ukr.net](mailto:a_pav@ukr.net)*

В статті продемонстровано створений стенд для перевірки працездатності інерціальних чутливих елементів, що мають амплітуду коливань до 10 мм і частотний діапазон до десятків герц. Такими чутливими елементами можуть бути акселерометри, велосіметри та сейсмоприймачі, що призначені для визначення технічного стану будівель, інженерних споруд та конструкцій. Розроблений стенд складається із універсального пристрою для збудження згасаючих коливань, який дозволяє випробовувати чутливі елементи із різною орієнтацією осі чутливості, вимірювального каналу на базі мікросхеми збору даних *m-DAQ14*, та програмного забезпечення розробленого у середовищі графічного програмування *NI LabVIEW* для візуалізації та збереження отриманої інформації. Такий підхід дозволив швидко встановити працездатність чутливих елементів і зробити першорядні висновки про їх можливість використання на контрольованому об'єкті.

**Ключові слова:** стенд, перевірка працездатності, акселерометр, вимірювальний канал.

**Вступ та постановка задачі**

Визначення технічного стану будівель, інженерних споруд та конструкцій вимагає використання ряду чутливих елементів (ЧЕ), які повинні бути працездатні, та задовольняти ряду жорстких вимог. У більшості випадків такими пристроями є інерціальні чутливі елементи як акселерометри, велосіметри та сейсмоприймачі, особливістю функціонування яких є реєстрація частотного діапазону у межах десятків герц та великі амплітуди переміщень [1, 2].

З часом, механічний, електричний та електронний стан будь-якого чутливого елементу інерціальних датчиків змінюється. Наприклад, відбуваються незворотні зміни опору котушок датчика магнітоелектричної системи вимірювання, яка призначена для генерації сигналу, зменшення напруженості магнітного поля постійних магнітів, або зміна жорсткості пружних елементів [1]. Зміна характеристик датчиків відбувається також і після їх ремонту, обслуговування або переналаштування. Це зумовлює необхідність періодичного інженерного дослідження їх технічних станів та проведення метрологічного контролю, а у більш загальному вигляді, перевіркою працездатності чутливого елементу та датчика в цілому.

Огляд робіт [3 – 5] показав, що у сучасних дослідженнях технічного стану будівель, інженерних споруд та конструкцій велику увагу приділяють саме обробці отриманої інформації від чутливих елементів, проте зазначено, що ЧЕ повинні відповідати своїм паспортним характеристикам. Так, у роботах [1 – 2, 6] описується процес метрологічної перевірки та калібровки, яку проводять на сертифікованих

стендах з дотриманням всіх паспортних вимог як безпосередньо до самого стенду, так і до чутливого елемента, що досліджується. Оскільки встановлення працездатності пристрою, шляхом отримання сигналу і співвідношення його із заданою величиною збурення, не потребує дотримання настільки жорстких вимог, хоча і проводиться на тих самих стендах для калібровки, то актуальною задачею є розробка випробувального стенду для перевірки працездатності інерціальних чутливих елементів, що використовуються для визначення технічного стану будівель, інженерних споруд та конструкцій, що і є метою даної статті, оскільки таку перевірку доцільно проводити перед кожним використанням ЧЕ.

**Прилад для перевірки інерціальних чутливих елементів**

Випробувальний стенд складається із пристрою для збудження згасаючих коливань, вимірювального каналу і програмного забезпечення. Він розроблений для дослідження інерціальних ЧЕ, які мають динамічний діапазон зміщень до  $\pm 10$  мм. Основна ідея при розробці нового універсального пристрою для перевірки працездатності та інженерного дослідження ЧЕ з декількома осями чутливості пов'язана з необхідністю об'єднати в одному варіанті конструкції як вертикальне, так і горизонтальне переміщення рухомої платформи пристрою. Передбачається також, що за рахунок використання досить великого розміру рухомої платформи, на ній можна буде розміщувати одразу декілька ЧЕ для одночасного проведення досліджень.

Конструкція розробленого пристрою для збудження згасаючих коливань представлена на рис. 1. Основними елементами якого є: рухома 1 і нерухома 2 платформи, які з'єднані між собою гнучкими пружними пластинами 3.

Технічні особливості пристрою полягають у тому, що поєднання горизонтальних і вертикальних переміщень рухомої платформи в одному пристрої досягається за рахунок використання симетричної конструкції розташування пружних елементів 3 та додаткових напрямних 4, в конструкції яких використовуються прецизійні шарикопідшипники. Останні необхідні для того, щоб забезпечити пере-

міщення рухомої платформи тільки вздовж осі вимірювання.

Передбачена зміна власної частоти коливань пристрою. Регулювання частоти досягається:

- за допомогою додаткових вантажів 5, які встановлюють на рухому платформу і разом з сейсмодатчиком змінюють загальну масу коливального тіла;
- зміною жорсткості пружних елементів 3, що досягається за рахунок зміни конфігурації розташування пружних опорних елементів 6.

Таке регулювання дає змогу змінювати власну частоту коливань рухомої платформи в межах 2–10 Гц.

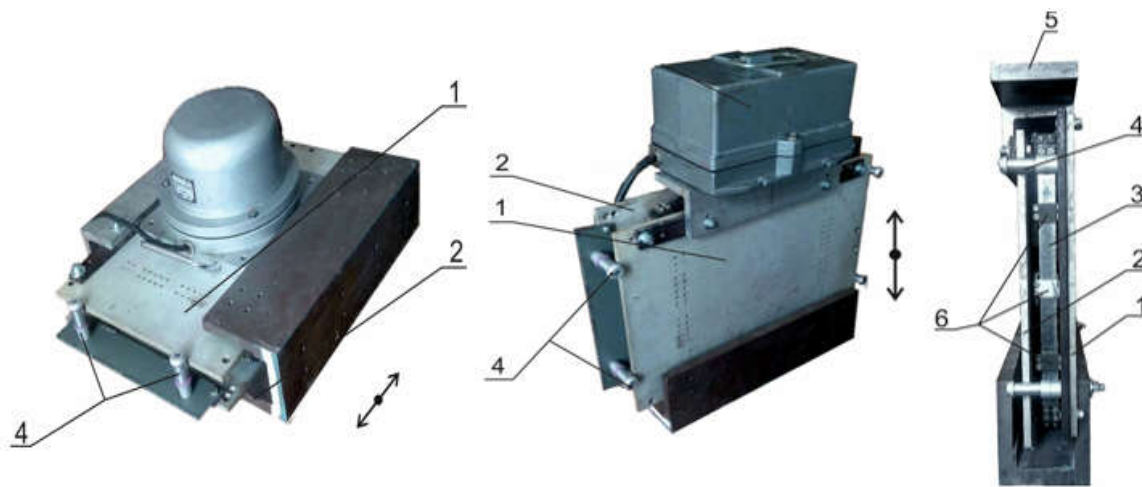


Рис. 1. Пристрій для збудження згасаючих коливань: а) у положенні дослідження горизонтальних коливань; б) у положенні дослідження вертикальних коливань; в) проекція, що демонструє пружні елементи пристрою

Необхідно зазначити, що залежно від режиму використання платформи, власна частота коливань змінюється. Так, при використанні стенду у режимі дослідження горизонтальних коливань (рис. 1, а), власна частота стенду складає 2,6 Гц, а для режиму дослідження вертикальних коливань – 5,7 Гц, що відповідає частотам коливань споруд при сейсмічній активності [2]. Допустима максимальна маса тестованих датчиків з додатковими вантажами для режиму горизонтальних коливань складає 20 кг, для режиму вертикальних коливань – 12 кг.

Оскільки більшість ЧЕ, що призначені для визначення технічного стану будівель, інженерних споруд та конструкцій мають аналоговий вихід, то для отримання інформації від ЧЕ при перевірці їх працездатності на стенді, був створений вимірювальний канал, що слугує для передачі інформації від ЧЕ до ПК, і програмне забезпечення для реєстрації і збереження отриманих результатів.

#### **Канал опитування та програмне забезпечення для стенду перевірки чутливих елементів**

Канал опитування реалізований із використанням мікросхеми збору даних m-DAQ14 фірми Холіт

Дейта Системс [7]. Модуль m-DAQ14 – це універсальний набір мікросхем для реалізації вимірювальних каналів та систем для промислового і лабораторного використання. Наведений модуль може бути підключений до ПК через USB-інтерфейс, а вхідні сигнали підключаються через роз'єм типу DB-25F, що розміщений на боковій панелі пристрою.

Для реалізації каналу опитування, m-DAQ14 буде використовуватись у режимі багатоканального АЦП. Склад каналу опитування наведений на рис. 2, де 1 – модуль АЦП m-DAQ14, який через роз'єм DB-25F підключається до комутаційного кабелю 2. Кабель 2 виконаний за UTP cat.5e і має два роз'єми DB-25M та DB-9F. До DB-9F кабелю 2 підключається кінцевий роз'єм 3 типу DB-9M із дротами з універсальними затискачами необхідними для швидкого підключення чутливих елементів.

Для обробки отриманої інформації і встановлення працездатності пристроїв було розроблено програмне забезпечення, що реалізує наступні функції:

- формування масивів інформації отриманої від первинних перетворювачів;

- вивід обробленого масиву інформації у вигляді графічної залежності на екран ПК;
- збереження результатів у файл ПК або на твердотільний накопичувач.

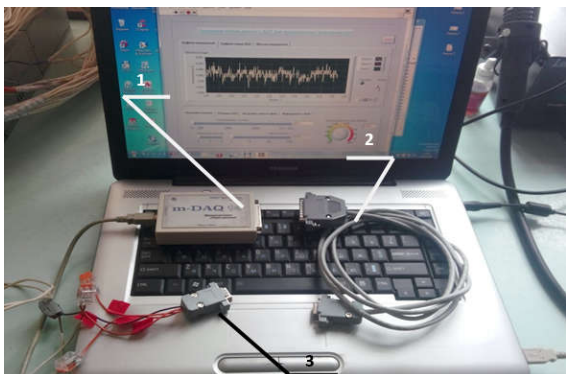


Рис. 2. Склад каналу опитування

Для реалізації зазначеного функціоналу, у середовищі графічного програмування NI LabVIEW [8, 9] було створено програмне забезпечення системи реєстрації і збереження інформації, що виконано у вигляді віртуального приладу, лицьова панель якого представлена на рис. 3.

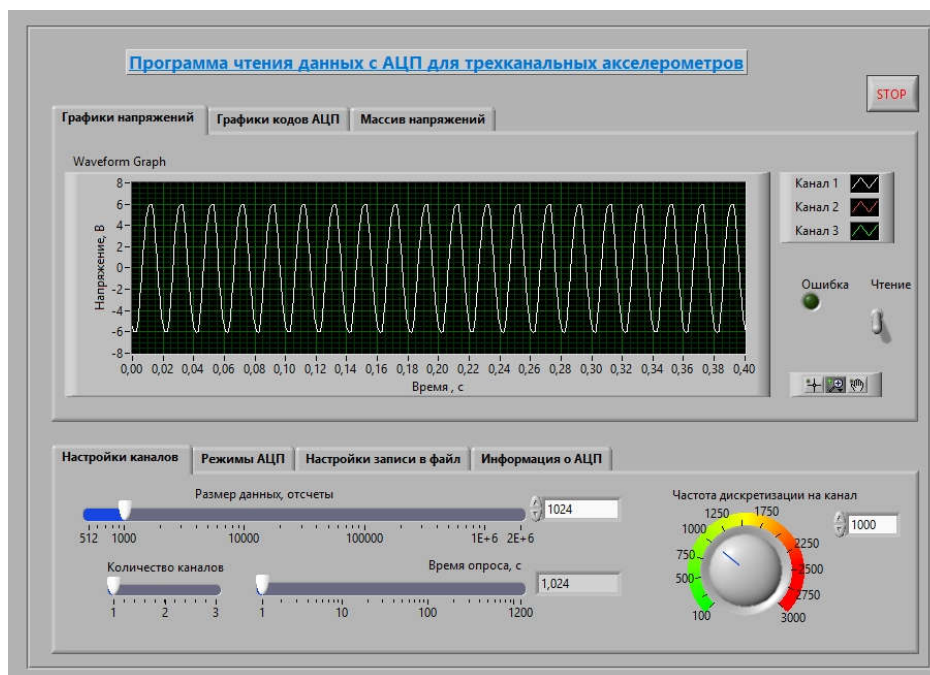


Рис. 3. Загальний вигляд лицьової панелі віртуального приладу системи реєстрації та збереження інформації

Нижня панель – сервісна і на ній розміщені елементи налаштування каналів для опитування, АЦП, та режимів запису. На панелі розміщені наступні вкладки: «Настройка каналов», «Режим АЦП», «Настройки записи в файл» та «Информация о АЦП». Вкладка «Настройка каналов», що призначена для установки характеристик каналів опитування, має наступні елементи керування: слайдер

Для більш ефективного та інтуїтивно зрозумілого керування розробленим програмним забезпеченням, інтерфейс лицьової панелі розроблений у вигляді мультивкладкової структури. Загальний принцип створення віртуальних приладів для систем технічної діагностики детально розкритий в [10].

Стенд надає можливість перевірки датчиків з декількома осями чутливості, тому, програмне забезпечення повинно опитувати від однієї до трьох інформаційних ліній одночасно, виводити отримані результати у вигляді графічних залежностей та збережати отриману інформацію.

Віртуальний прилад умовно розділений на дві інформаційні панелі. Верхня панель призначена для виведення інформації. На ній містяться 3 вкладки: «Графики напряжений» – основне графічне вікно, у якому відображається результат вимірювання у вольтгах; «Графики кодов АЦП» – відображає результат вимірювання у кодах АЦП, який може бути використаний або для більш точних обчислень, або для порівняння із результатами з АЦП різної розрядності; «Массив напряжений» – на вкладці відображається масив числових значень, що дозволяє швидко визначити основні параметри сигналу.

«Размер данных, отсчеты» в якій вказується розмір масиву отриманої інформації у відліках. Мінімальне значення отриманих значень – 512 вимірювань, максимальне –  $2 \cdot 10^6$ . Встановлене значення повинно бути кратним 512 (кратність значення встановлюється автоматично).

Поворотна ручка «Частота дискретизации на канал» встановлює частоту опитування на кожний

канал у Гц. Частота опитування датчиків за замовчуванням ініціалізована значенням  $f_{\text{оп}}=1$  кГц, і може змінюватись у діапазоні від 60 Гц до 3 кГц. При необхідності, смуга частот може бути розширена до 100 кГц.

Слайдер «Количество каналов» встановлює кількість одночасно опитуваних каналів від 1 до 3. У подальшому, функціонал ПЗ може бути модифікований для опитування більшої кількості каналів. За замовчанням встановлене значення 1 канал, оскільки більшість випробуваних датчиків однокомпонентні.

Інформаційний слайдер «Время опроса, с» показує розрахунковий час опитування у секундах. Таким чином, для встановленої частоти опитування в 1кГц і 1го каналу, час опитування, залежно від значення вибірки даних  $i$ , відповідно, положення слайдера «Размер данных, отсчеты» може бути від 0,5 с до 2000 с (~33 хв.) безперервного запису.

За замовчуванням запис у файл відбувається у режимі пакетного зберігання. При кожній процедурі опитування-запису створюється файл у форматі data\_{дата збереження}\_{час збереження}\_номер запуску.lvm Файл з розширенням \*.lvm – інформаційний файл середовища NI LabVIEW, проте доступний для опрацювання більшістю текстових редакторів і може розглядатись як звичайний текстовий файл, що дозволяє обробляти отриману інформацію в будь-якому програмному середовищі.

Після запуску віртуального приладу і встановлення необхідних параметрів опитування ЧЕ, для запуску процедури опитування-запису достатньо натиснути на тумблер «Чтение» на лицьовій панелі (рис. 3). Виведення результатів відбувається тільки після закінчення опитування, тобто для великих вибірок інформації (час опитування >10 с) обов'язково необхідно дочекатись виведення інформації у графічне вікно і тільки після цього можна активувати тумблер запису повторно.

#### **Методика перевірки працездатності чутливих елементів**

Метою перевірки працездатності інерціальних ЧЕ є перевірка функціонування його основної вимірювальної частини та виявлення можливих технічних та функціональних порушень в роботі датчиків. Для перевірки використовується вібраційний метод, що полягає у збудженні коливальних і подальшому аналізі вібраційних відгуків (згасаючих вихідних сигналів вимірювального каналу ЧЕ) на ці збудження.

Конструкція пристрою для збудження згасаючих коливальних (рис. 1) забезпечує тестове первинне зміщення рухомої пластини відносно нерухомої на величину до 15 мм, як при горизонтальних, так і вертикальних коливаннях. Величина первинного зміщення може бути змінена за допомогою регулюючого гвинта і вимірюється по переміщенню рухомого індексу відносно нерухомої шкали інструментальної лінійки.

Рухома платформа пристрою разом із закріпленим на ній досліджуваным приладом після відхилення її і відпускання здійснює неперервні згасаючі коливання в горизонтальній або (залежно від розташування) вертикальній площині.

Перевірка працездатності ЧЕ проводиться за наступною розробленою методикою:

1. Встановити досліджуваний прилад на рухомій платформі пристрою.
2. Орієнтувати вісь чутливості пристрою відносно вектору переміщення платформи.
3. З'єднати кабель вихідного вимірювального каналу приймача зі входом аналого-цифрового перетворювача системи реєстрації і збереження інформації (та / або з осцилографом)
4. Відхилити рухому платформу на величину тестового зміщення 15 мм та відпустити.
5. Зареєструвати вихідний сигнал ЧЕ в системі реєстрації та збереження інформації.
6. Повторити випробування (пункт 4 та пункт 5) 3 або 5 разів.

Методика забезпечує:

- перевірку працездатності приладу та виявлення можливих явних технічних порушень в роботі ЧЕ;
- візуальне спостереження та оцінювання на екрані осцилографа:
  - величин вихідного сигналу датчика;
  - характеру загасання сигналу;
  - власну і вимушену частоту коливальних в системі датчик – об'єкт;
  - інтенсивність шуму у вихідному сигналі;
- реєстрацію, збереження та первинну обробку вихідних сигналів у розробленій системі реєстрації та збереження інформації.

Дослідження доцільно проводити при різних частотах вібраційного збудження, зміна частоти вібраційного збудження здійснюється за допомогою встановлення додаткових вантажів.

#### **Висновки**

При визначенні технічного стану будівель, інженерних споруд та конструкцій необхідно використовувати працездатні ЧЕ, що відповідають своїм паспортним характеристикам. Оскільки з часом, або при впливі зовнішніх факторів, механічний, електричний та електронний стан будь-якого чутливого елемента інерціальних датчиків змінюється, то вони потребують технічного обслуговування, підтвердження працездатності та калібровки. Оскільки калібровка і перевірка працездатності можуть проводитись на одному і тому ж випробувальному стенді, який повинен відповідати жорстким вимогам, то було розроблено універсальний стенд для перевірки працездатності ЧЕ, що не потребує обов'язкової сертифікації. Для цього було створено пристрій для збудження згасаючих коливальних, що дозволяє перевіряти працездатність чутливих елементів із горизонтальними та вертикальними осями чутливості, має можливість розміщу-



вати декілька датчиків із максимальною масою 20 кг. Частоти коливання стенду можуть змінюватись від 2 Гц до 10 Гц, що відповідає частотам коливань будівель та інженерних споруд.

Для отримання інформації від аналогових датчиків, був створений канал опитування на базі мікросхеми збору даних m-DAQ14 та програмного забезпечення розробленого у середовищі графічного програмування NI LabVIEW. Програмне забезпечення призначене для візуалізації та збереження отриманої інформації на твердотільний накопичувач або жорсткий диск ПК, з можливістю подальшої обробки та аналізу.

Для перевірки інерціальних чутливих елементів, була розроблена методика, що дозволяє прийняти рішення про працездатність ЧЕ в цілому.

У подальшому планується модернізувати розроблений стенд за рахунок додання електромеханічного актюатора, що дозволить розширити діапазон частот, орієнтовно до 50 – 70 Гц. Реалізація можливості плавної зміни частоти коливань платформи у межах всього діапазону частот дозволить виявляти нелінійні сегменти АЧХ чутливих елементів, що значно розширить функціональні можливості випробувального стенду.

#### Література

- [1] Б. Н. Кузовков, В. К. Совмен, Б. В. Эквист, В. Г. Вартанов, *Безопасность сейсмического и воздушного воздействия массовых взрывов*. Москва, Россия: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004.
- [2] А. Ф. Еманов, “О применении вибраторов для определения сейсмостойкости зданий и в микросейсмораионировании”, *Геология и геофизика*, Т. 36, № 7, с. 87-93, 1995.
- [3] Н. И. Бурау, Э. В. Кулиш, Ю. В. Клефа, “Разработка метода диагностики функционального технического состояния элементов конструкций противооползневых анкерных сооружений. Сообщение 1. Анализ напряженно-деформированного состояния и собственных частот анкера”, *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, №2, с. 40-45, 2011.
- [4] Н. И. Бурау, Э. В. Кулиш, *Вибрационная диагностика противооползневых защитных сооружений*. Киев, Украина: Центр учебной литературы, 2016.
- [5] С. А. Цыбульник, “Эффективное средство защиты резервуаров от ветровой нагрузки. Часть 1”, *Вісник НТУУ «КПІ» Серія Приладобудування*, Вип. 46, с. 80-85, 2013.
- [6] С. В. Щербина, “Устройство для калибровки и метрологической поверки цифровых сейсмических регистраторов”, *Геофизический журнал*, Т. 36, № 2, с. 161-171, 2014.
- [7] Модули АЦП/ЦАП с USB [Электронный ресурс]. Доступно: [http://holit.com.ua/modules\\_board/m-daq14-dac.html](http://holit.com.ua/modules_board/m-daq14-dac.html).
- [8] Дж. Тревис, *LabVIEW для всех*. Москва, Россия: ДМК Пресс; Приборкомплект, 2004.
- [9] Программирование в NI Labview [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.labview.webhost.ru>. – 01.02.2017.
- [10] О. М. Павловський, “Використання пакету LABVIEW для моделювання та аналізу ефективності системи обробки вібраційних сигналів авіаційного двигуна”, *Вісник НТУУ «КПІ» Серія приладобудування*, Вип. 45, с. 148-157, 2013.

УДК 621.8-1/-9

**П. С. Мироненко, А. М. Павловский**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина*

#### СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

В статье продемонстрировано создание стенда для проверки работоспособности инерциальных чувствительных элементов, имеющих амплитуду колебаний до 10 мм и частотный диапазон до десятков герц. Такими чувствительными элементами могут быть акселерометры, велосиметры и сейсмоприемники, предназначенные для определения технического состояния зданий, инженерных сооружений и конструкций. Разработанный стенд состоит из универсального устройства для возбуждения затухающих колебаний, которое позволяет испытывать чувствительные элементы с разным расположением оси чувствительности, измерительного канала на базе микросхемы сбора данных m-DAQ14, и программного обеспечения, разработанного в среде графического программирования NI LabVIEW для визуализации и сохранения полученной информации. Такой подход позволил быстро установить работоспособность чувствительных элементов и сделать первичные выводы об их возможности использования на контролируемом объекте.

**Ключевые слова:** стенд, проверка работоспособности, акселерометр, измерительный канал.

**Pavlo Myronenko, Oleksii Pavlovskiy**

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,*

*Ukraine***OPERABILITY TEST STAND FOR LOW-FREQUENCY INERTIAL MODULES**

Over time, the mechanical, electrical, and electronic parameters of any sensitive element of inertial sensors is change. For example, there are irreversible changes in the resistance of the sensor coils, which needed to generate a signal. There is a decrease in the magnetic field of the permanent magnets, or a change in the rigidity of the elastic elements. Changing the characteristics of the sensors also occurs after their repair, maintenance and configuration. This predetermines the need to check their technical conditions and metrological control, and more generally, to check the operability of the sensitive element and the sensor as a whole.

A review of the works showed that in modern studies of the technical condition of buildings, engineering structures, great attention is paid to the processing of the information received from sensitive elements, however, it is indicated that sensor must comply with its passport characteristics. Since establishing the operability of the device, by obtaining a signal and its ratio to a predetermined disturbance value, does not require compliance with such stringent requirements, although it is carried out on the same test benches for calibration, the actual task is to develop operability test stand for low-frequency inertial modules.

The article demonstrated the creation of a operability test stand of inertial sensing elements with an amplitude of oscillation up to 10 mm and a frequency range up to 10 Hz. Accelerometers, velocimeters and seismic receivers designed to determine the technical condition of buildings and engineering structures can be such sensitive elements. The developed stand consists of a universal device for the excitation of damped oscillations, which allows you to check the performance of sensitive elements with horizontal and vertical axes of sensitivity, has the ability to place several sensors with a maximum weight of 20 kg. The study should be carried out at different frequencies of vibration exposure. The frequency change of the vibration perturbation is carried out by installing additional mass.

To obtain information from analog sensors, a survey channel was created based on the m-DAQ14 data acquisition chip, and software developed in the NI LabVIEW graphical programming environment. The software is designed to visualize and save the received information on a solid-state drive or a PC hard disk, with the possibility of further processing and analysis. To test inertial sensing elements, a technique was developed that allows you to make a decision of operability sensor.

Such an approach made it possible to quickly establish the operability of sensitive elements and to draw primary conclusions about their ability to use at a controlled object.

**Keywords:** stand, operability test, accelerometer, measuring channel.

*Надійшла до редакції  
16 жовтня 2018 року*

*Рецензовано  
26 жовтня 2018 року*