

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК53.084.2.389

УСТАНОВКА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

С.О. ГАПОНЕНКО, А.Е. КОНДРАТЬЕВ, Е.Е. КОСТЫЛЕВА, А.Р. ЗАГРЕТДИНОВ

Казанский государственный энергетический университет

Проведение любых экспериментальных исследований, связанных с измерением вибраций, невозможно без калибровки применяемых датчиков. Цель калибровки – определение чувствительности датчиков в рабочем диапазоне частот и амплитуд. Для этого разработана методика и изготовлена установка с унифицированным пакетом прикладных программ в программной среде LabVIEW.

Ключевые слова: виброакустический сигнал, резонансная частота, полезный сигнал, спектр, пьезоэлектрический датчик, вибрация, амплитуда.

Анализ состояния вопроса

Вибрация – это механические колебания точки или механической системы. Вибрация тела или механизма всегда вызывается какими-то силами возбуждения, ее направлениями и частотой. По этой причине вибрационный анализ позволяет выявить силы возбуждения при работе машины. Эти силы зависят от состояния машины, и знание их характеристик и законов взаимодействия позволяет диагностировать дефекты [1].

Самыми распространенными датчиками для измерения вибраций являются пьезоэлектрические.

Пьезоэлектрические датчики предназначены для измерения механических параметров (усилий, давлений, ускорений, массы, угловых скоростей, моментов, деформаций и т.п.), построения тепловых приборов (термодатчиков, датчиков расхода, вакуума, измерителей электрических параметров, датчиков тепловых потоков), а также для контроля составов, концентраций газов, влажности и микромасс. По разрешающей способности и точности эти устройства во многих случаях превосходят датчики, выполненные на других физических принципах.

Конструкции контрольно-измерительных пьезоэлектрических преобразователей, с одной стороны, определяются необходимыми электроакустическими параметрами, с другой – общими геометрическими, механическими, химическими и температурными требованиями, предъявляемыми к системе, в которой они используются. Естественно, во многих случаях эти требования противоречат друг другу, тогда приходится искать некоторое компромиссное конструктивное решение [2].

Общий вид вибропреобразователя показан на рис.1.

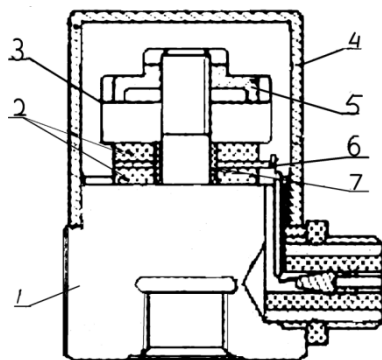


Рис.1. Общий вид вибропреобразователя: 1 – основание; 2 – пьезоэлементы; 3 – инерционная масса; 4 – крышка; 5 – пружинная гайка; 6 – контакт для снятия электрического потенциала; 7 – втулка

Измерение вибраций осуществляется посредством виброизмерительной аппаратуры, состоящей из измерительного преобразователя вибраций (вибродатчика) и контрольно-измерительной аппаратуры, подключаемой к вибродатчикам. В виброизмерительный тракт может входить регистрирующая и анализирующая аппаратура. Регистрирующей аппаратурой являются приборы измерения уровня вибрации, анализаторы спектра (спектрометры), осциллографы, самописцы и специальные магнитофоны (магнитографы). Для автоматизации процессов измерения и анализа вибрационных процессов в состав виброизмерительного тракта включается ЭВМ [3].

Для анализа вибрации используются анализаторы спектра различных типов, осциллографы, самописцы регистрации параметров вибрации. Удобство регистрации вибрации в виде записи состоит в том, что записанная вибрация исследуемой машины может быть всесторонне проанализирована с применением ЭВМ [3].

Разработка установки для калибровки пьезоэлектрических датчиков (вибростенд)

Для получения достоверных результатов при измерении параметров колебаний исследуемого объекта необходимо знать калибровочные параметры применяемых датчиков. Основной целью калибровки пьезоэлектрических преобразователей является определение чувствительности в рабочем диапазоне частот и амплитуд. Для этих целей разработана и изготовлена установка для калибровки пьезоэлектрических преобразователей. Принципиальная структура установки показана на рис. 2.

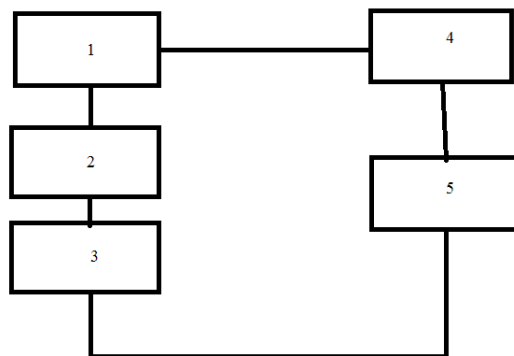


Рис. 2. Структурная схема установки: 1 – вибростенд; 2 – усилитель колебаний звуковой частоты; 3 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 4 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 5 – ПК для регистрации и дальнейшего анализа выходных параметров датчиков

На рис. 3 представлена фотография установки для калибровки пьезоэлектрических датчиков.

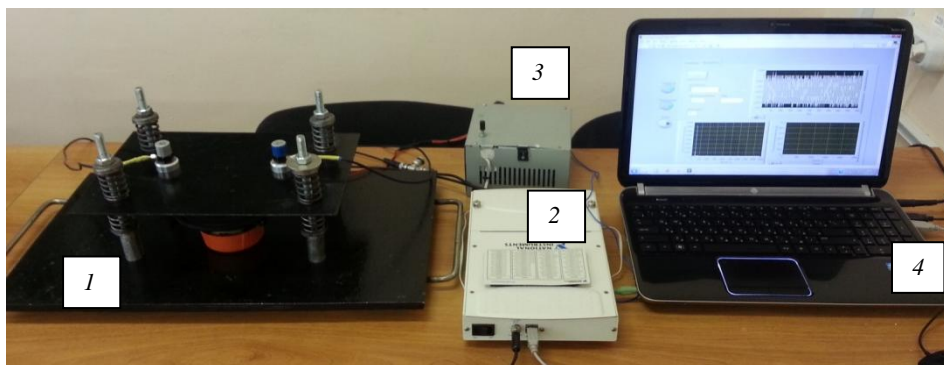


Рис.3. Фотография установки: 1 – вибростенд; 2 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 3 – усилитель; 4 – ПК

Вибростенд

Вибростенд предназначен для создания регулируемого воздействия на калибруемые пьезодатчики. Вибростенд состоит из: массивного основания 1; подвижной пластины 5 и направляющей системы 2 (рис.4).

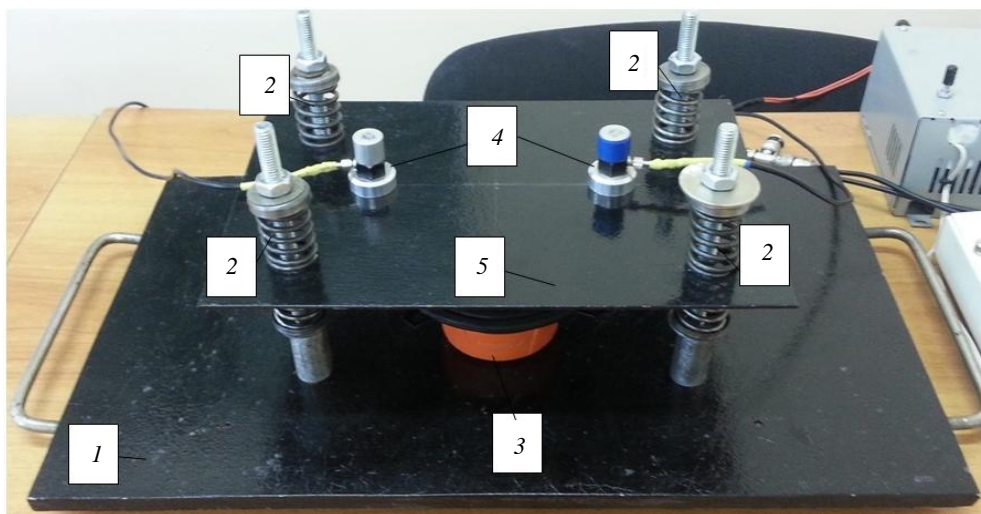


Рис.4. Фотография вибростенда: 1 – массивное основание; 2 – пружина с направляющим стержнем; 3 – электроакустический излучатель; 4 – пьезоэлектрические датчики; 5 – подвижная пластина

Массивное основание представляет собой металлическую плиту, которая снабжена ручками для переноса и опорами для установки на ровную поверхность. За счет большой толщины основания предотвращаются появления нежелательных колебаний в самом основании, так как это может привести к потере достоверности результатов измерений.

На массивном основании устанавливается система направляющих для подвижной пластины. Она представляет собой 4 шпильки, на которых размещены 8 одинаковых пружин с одинаковыми параметрами. Шпильки заворачиваются в специально предназначенные отверстия в массивном основании. Подвижная пластина представляет собой лист стали, толщиной 1,2 мм. Она предназначена для установки на нее калибруемых датчиков. Благодаря системе упругих направляющих, она может

совершать колебания по оси чувствительности калибруемого датчика. Между массивным основанием и подвижной пластиной устанавливается генератор колебаний, представляющий собой электроакустический излучатель. В качестве генератора звуковой частоты используется ЭВМ с ЦАП и программным обеспечением с возможностью регулировки частоты и амплитуды сигнала в широком диапазоне. Калибруемые датчики устанавливаются на подвижной пластине с помощью магнитов. Чувствительность датчиков определяют соотношением параметров входного сигнала, прикладываемого к датчику генератором колебаний и выходного сигнала датчиков. При этом датчики устанавливаются таким образом, чтобы их ось чувствительности совпадала с направлением колебаний, возбуждаемых акустическим излучателем с помощью регулируемого воздействия, амплитуда и частота которого лежат в пределах соответствующих диапазонов датчиков [9-12].

С целью исключения влияния собственных частот вибростенда необходимо произвести их расчет.

Расчет собственных частот вибростенда

Последовательность модального анализа свободных механических колебаний включает в себя:

1. Создание геометрической модели.
2. Задание свойств материалов.
3. Создание контактных условий.
4. Выбор опций расчета. Создание сетки конечных элементов (КЭ).
5. Проведение расчета.
6. Просмотр расчетных результатов и создание отчета.

Создание геометрической модели:

Основой проведения анализа является геометрия исследуемого объекта. В *ANSYSWB* возможно два различных варианта создания модели исследуемого объекта: создание геометрии внутренними инструментами либо импорт модели из внешней системы автоматизированного проектирования (САПР). В связи с этим, импортируем геометрию САПР *Solid Works 2013* (рис. 5).

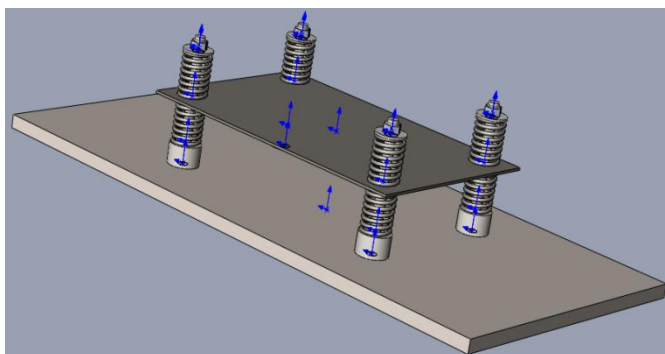


Рис. 5. Импортированная модель

Задание свойств материалов:

Предел текучести: $3,25e+008 \text{ N/m}^2$

Предел прочности: $3,85e+008 \text{ N/m}^2$

Плотность: 7870 kg/m^3

Модуль упругости: $2,05e+011 \text{ N/m}^2$

Коэффициент Пуассона: 0,29

Создание контактных условий: создается фиксированное крепление за нижнюю грань модели. Включение контактов в модальный расчет возможно, но, поскольку модальный анализ является линейным, контакты в нем отличаются от контактов

статического анализа. Нелинейные типы контактов проявляют себя как линейные типы. Если задан зазор, то принимается отсутствие контакта [4].

Для выбора опций расчета учитываются основные допущения и ограничения при модальном анализе:

- отсутствует затухание;
- матрица масс $[M]$ и жесткости $[K]$ постоянны;
- колебания предполагаются свободными;
- поведение системы (в том числе контактов) линейное.
- форма свободных колебаний вычисляется в относительных единицах и не позволяет определить абсолютные смещения.

В программном комплексе *ANSYS* существует несколько методов проведения модального анализа. В опциях выбора используем метод Ланцоша [5].

Создаётся сетка конечных элементов (рис. 6).

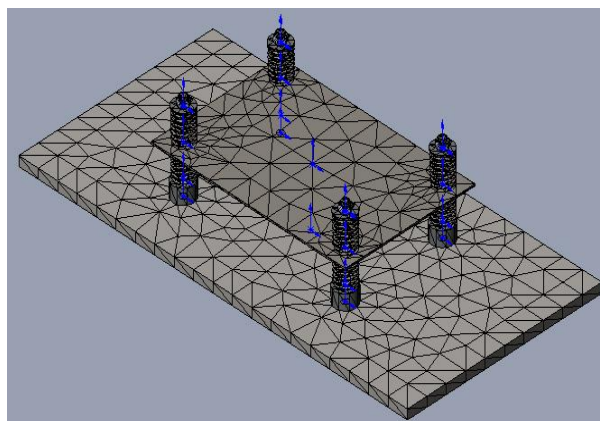


Рис. 6. Сетка КЭ

Тип сетки: сетка на твердом теле.

Используемое разбиение: стандартная сетка.

Точки Якобиана: 4 точки.

Качество сетки: высокое.

Количество узлов: 21872.

Количество элементов: 9297.

Результат исследования.

В результате модального исследования определяется 5 первых мод колебаний модели вибростенда (рис. 7).

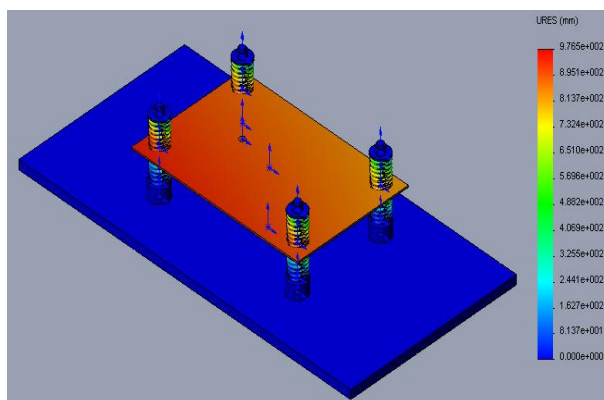


Рис. 7. Модальный анализ

Результаты сводятся в табл.

Таблица

| Номер мод колебаний | Частота, Гц. |
|---------------------|--------------|
| 1 | 16,14 |
| 2 | 17,956 |
| 3 | 23,997 |
| 4 | 32.613 |
| 5 | 38,319 |

Из табл. видно, что основные моды колебаний установки лежат в области низких частот.

Прикладная программа «Калибровка пьезодатчиков»

Для обеспечения работы установки при калибровке пьезоэлектрических датчиков в программной среде *LabVIEW* разработана прикладная программа «Калибровка пьезодатчиков» [6–8]. Структурная схема показана на рис. 8.



Рис. 8. Структурная схема программы

Генератор колебаний предназначен для создания сигналов требуемой частоты и амплитуды. Сигнал из генератора колебаний направляется на электроакустический излучатель, установленный под подвижной пластиной вибростенда. Под действием электроакустического излучателя подвижная пластина начинает вибрировать с частотой колебаний излучателя. На подвижной пластине на одинаковом расстоянии от центра пластины устанавливаются пьезоэлектрические датчики. При этом датчики устанавливаются таким образом, чтобы ось чувствительности совпадала с направлением колебаний, создаваемых электроакустическим излучателем. С помощью контролируемого регулируемого воздействия, амплитуда и частота которого лежат в пределах соответствующих диапазонов датчиков, они генерируют электрический сигнал пропорционально величине создаваемых колебаний. Выходные значения преобразуются в аналогово-цифровом преобразователе для дальнейшей регистрации и анализа данных (рис. 9, а)[7].

Для анализа характеристик датчиков создана подпрограмма «Осциллограф» (рис. 9, б).

При воздействии на датчики одинаковых колебаний амплитуда выходных колебаний должна быть одинакова. Для этого сигналы датчиков можно скорректировать с помощью встроенного усилителя. При этом величина амплитуды выходных колебаний калибруемого датчика должна совпасть с величиной амплитуды контрольного датчика[8].

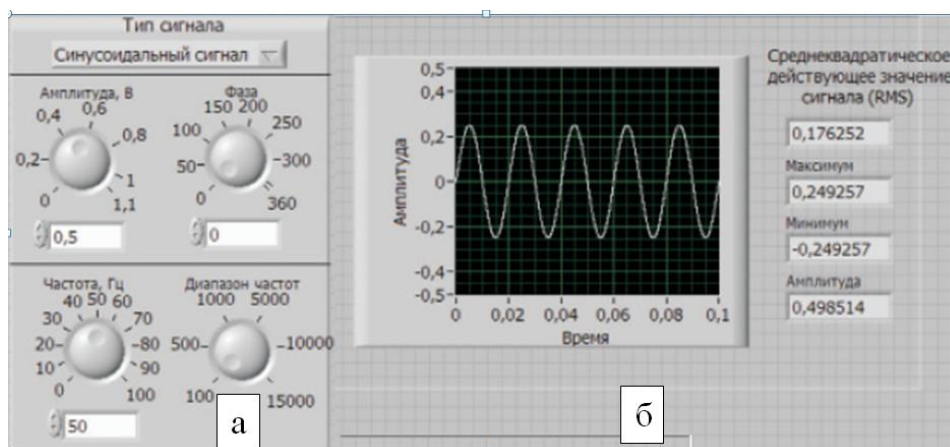


Рис. 9. Панель управления подпрограмм: (а – «Генератор сигналов» б – «Осциллограф»)

Заключение

Результаты, полученные с помощью установки для калибровки пьезоэлектрических датчиков, показали возможность калибровки любых пьезоэлектрических датчиков в диапазоне частот выше 100 Гц. При калибровке датчиков на частоте менее 100 Гц необходимо учитывать искажения, связанные с собственными модами колебаний вибростенда.

Summary

Carrying out any experimental studies related to the measurement of vibration there are impossible without calibrating of sensors. The objective of calibration is to determine the sensitivity in the operating range of frequencies and amplitudes. For this purpose developed a technique and assembled the device with unified software package in LabVIEW programming environment.

Keywords: *vibroacoustic signal, resonant frequency, wanted signal, range, piezoelectric sensor, vibration, amplitude.*

Литература

1. Основы измерения вибрации. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.vibration.ru/osn_vibracii.shtml
2. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. Москва: Техносфера, 2012. 632 с.
3. Богущ М.В. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации / Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 3. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦВШ, 2010. 346 с.
4. Шалумов А.С., Ваченко А.С., Фадеев О.А., Багаев Д.В. Введение в ANSYS: прочностной и тепловой анализ: Учебное пособие. Ковров: КГТА, 2002. 52 с.
5. Общие сведения по ANSYS. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.ansys.msk.ru>.
6. Виноградова Н.А., Листратов Я.И., Свиридов Е.В. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2005. 49 с.
7. Кондратьев А.Е., Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Хафизов Р.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015613009: Программный комплекс для калибровки пьезоэлектрических преобразователей / от 27 февраля 2015 г.
8. Кондратьев А.Е., Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Самарханов А.Р. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612970: Программный комплекс для универсального калибровочного стенда / от 27 февраля 2015 г.
9. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Модельная установка для разработки способа определения местоположения скрытых трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. №7-8. С.123–129.

10. Гапоненко С.О. Варианты регистрации и анализа полезного виброакустического сигнала в программном продукте *LabVIEW* // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. №5(44), С.8-15, 2014 г.

11. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом. // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. №2(47). С.8–15.

12. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Измерительно–диагностический комплекс для определения расположения скрытых трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. №3-4. С.138–141.

Поступила в редакцию

16 июня 2016 г.

Гапоненко Сергей Олегович – аспирант кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8 (987) 4170041. E-mail: sogaponenko@yandex.ru.

Кондратьев Александр Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Костылева Елена Евгеньевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Загретдинов Айрат Рифкатович – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).