

УДК 539.216:546.824-31

## ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ДАТЧИКОВ ВИБРОУСКОРЕНИЯ, ВСТРОЕННЫХ В СОВРЕМЕННЫЕ МОБИЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ, ДЛЯ ЗАДАЧ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.Г. ДАВЫДОВ, С.А. МИГАЛЕВИЧ, С.Ю. ВАСЮКЕВИЧ, А.В. ЦУРКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 20 ноября 2013*

Проведена оценка технических характеристик датчиков виброускорения, встроенных в современные мобильные платформы. Сделаны выводы о возможных задачах и границах применимости современных мобильных платформ в качестве элементов распределенной диагностической системы.

*Ключевые слова:* вибродиагностика, датчики виброускорения.

### Введение

Современное промышленное оборудование содержит большое количество вращающихся узлов, таких как подшипники и зубчатые передачи, которые работают на больших скоростях и под сильной нагрузкой, вследствие чего быстро изнашиваются и выходят из строя. Для предотвращения аварийных ситуаций необходимо своевременно выявлять, производить ремонт и замену неисправных узлов, что в большинстве случаев требует специального диагностического оборудования и обученных специалистов.

Перспективным средством проведения экспресс-анализа промышленного оборудования являются распределенные диагностические системы, имеющие в своем составе мобильные платформы. Концепция мобильной диагностики заключается в пространственном разделении диагностической системы на устройства съема данных и устройства их обработки, хранения, анализа. Типовая схема распределенной диагностической системы представлена на рис. 1 и выглядит следующим образом. Мобильная платформа фиксирует данные и передает их на сервер по радиоканалу. Сервер объединяет новую информацию с имеющейся базой данных и проводит анализ. Результаты анализа могут быть переданы обратно на мобильную платформу, а также становятся доступны через веб-ресурс в сети интернет, который является инструментом управления сервером и представления отчетных данных.

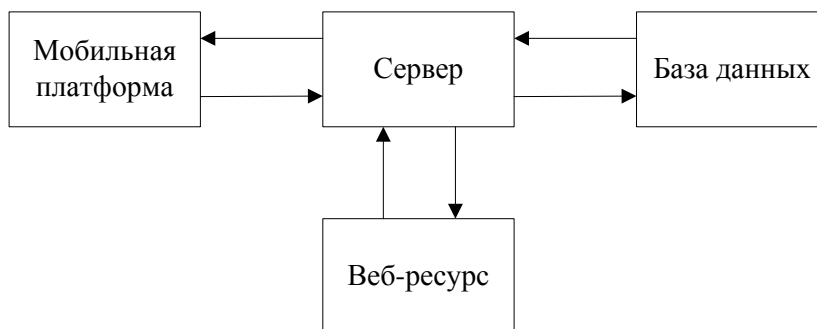


Рис. 1. Схема распределенной диагностической системы

Достоинства предложенной системы заключаются в следующем:

- отчет о состоянии оборудования можно получить мгновенно, а новые измерения занимают не более нескольких минут;
- в режиме экспресс-анализа из системы исключается эксперт по диагностике, что снижает затраты на обучение и содержание специального персонала;
- объединение нескольких источников и базы данных дает необходимое количество информации для диагностики с высокой чувствительностью и точностью;
- независимый диагностический сервер дает необходимый вычислительный ресурс для реализации сложных алгоритмов и минимизации времени анализа;
- серверный анализ позволяет внедрять новые методы и алгоритмы программно, не требуется замена оборудования;
- веб-ресурс предоставляет возможность гибкого доступа к данным, статистического анализа, сокращает затраты времени на подготовку отчетности;
- независимость от мобильной платформы позволяет выбирать измерительное оборудование в зависимости от сложности задачи.

### **Оценка технических характеристик датчиков виброускорения, встроенных в современные мобильные платформы**

Датчики виброускорения, встроенные в современные мобильные платформы, представляют собой микроэлектромеханические системы (технология MEMS), и зачастую являются емкостными датчиками ускорения, собранными в корпусах микросхем [1]. Принцип действия емкостного сенсора основан на перемещении внутри чувствительного элемента инерционного тела, являющегося электродом, что вызывает изменение расстояния между обкладками, и, таким образом, емкости конденсатора.

Основные характеристики акселерометров [2]: пределы измерения – диапазон изменения ускорения; чувствительность – минимальное фиксируемое ускорение; нестабильность чувствительности – отклонение под действием различных факторов; смещение нуля – показание при нулевом кажущемся ускорении; нестабильность смещения нуля – отклонение под действием различных факторов; рабочий диапазон – полоса частот, в которой возможно измерение ускорения; нелинейность – отклонение масштабного коэффициента в рабочем диапазоне; шум – пределы случайных искажений электрического сигнала. Рассмотрим основные характеристики MEMS-акселерометров, встроенных в современные мобильные телефоны (табл. 1), в сравнении с характеристиками акселерометров для промышленной диагностики (табл. 2).

Таблица 1. Основные характеристики акселерометров, встроенных в смартфоны

Наименование	LIS302DL	LSM330DLC	BMA150	KXTF9
Производитель	STMicroelectronics	STMicroelectronics	Bosch	Kionix
Применение	Apple iPhone 4	Samsung Galaxy S 3	HTC Inspire 4	LG-P999
Пределы измерения	±2g/±8g	±2g/±4g/±8g/±16g	±2g/±4g/±8g	±2g/±4g/±8g
Чувствительность	16,2/64,8 mg/digit	1/2/4/12 mg/digit	256/128/64 LBS/g	1024/512/256 counts/g
Нестабильность чувствительности	0,01 %/°C	0,05 %/°C	–	0,01/0,03 % /°C
Смещение нуля	±40/±60 mg	±60 mg	±60 mg	±125 mg
Нестабильность смещения нуля	±0,5 mg /°C	±0,5 mg /°Cs	1 mg/K	0,4/0,7 mg/°C
Рабочий диапазон	50 Гц / 200 Гц	150 Гц / 2,69 кГц	1,5 кГц	400 Гц / 1,59 кГц
Нелинейность	–	–	±0,05	1 % of FS
Шум	–	220 µg /√Hz	0,5 mg /√Hz	–
Габариты, мм	3×5×0,9	4×5×1,1	3×3×0,9	3×3×0,9
Цена, долл. США	2	4	5	5

Таблица 2. Основные характеристики акселерометров для промышленной диагностики

Наименование	CMCP770	ACC786A	A-15	ADXL001
Производитель	STI Vibration Monitoring	Omega Engineering	Раменский приборостроительный завод	Analog Devices
Применение	Промышленность	Промышленность	Авиация	Медицина
Пределы измерений	±80 g	±80 g	±25 g	±70 g/±250 g/±500 g
Чувствительность	100 мВ/g	100 мВ/g	1,5 мА/g	16/4,4/2,2 мВ/g
Нестабильность чувствительности	±10 % (range)	±5 % (range)	±0,02 % /°C	–
Смещение нуля	–	–	±8×10 <sup>-3</sup> g	1,65 В
Нестабильность смещения нуля	–	–	±2,5×10 <sup>-3</sup> g	–
Рабочий диапазон	0,5 Гц–14 кГц	0,5 Гц–14 кГц	–	0,5 Гц–32 кГц
Нелинейность	1 %	1 %	–	0,2 %
Шум	4 μg/√Hz	5 μg/√Hz	–	4 mg/√Hz
Габариты, мм	18×18×46	22×22×53	24×24×20	5,3×4,6×2,4
Цена, долл. США	129	185	6500	33

На основе анализа данных табл. 1 и 2 можно сделать следующие заключения. Рабочий диапазон «мобильных» акселерометров на порядок уже, чем промышленных акселерометров среднего уровня, но покрывает значительную часть диапазона измеряемых колебаний до 1 кГц [3]. Аналогично, диапазон измерений и чувствительность также ниже на один-три порядка. Параметры нестабильности, такие как изменение чувствительности и смещения нуля под действием температуры, нелинейность амплитудных характеристик и уровень шума в большинстве случаев равны, либо меньше у промышленных моделей. Обратим особое внимание на то, что данным, снятым с помощью мобильных устройств, соответствует значительная нестабильность частоты дискретизации, обусловленная частотой опроса датчика [4].

### Экспериментальное исследование статистических характеристик сигналов с датчиков виброускорения, встроенных в современные мобильные платформы

Определим статистические характеристики сигнала, полученного с акселерометра, встроенного в мобильный телефон Samsung Galaxy S3. Снятые данные соответствуют трем перпендикулярным осям датчика, каждый набор данных также содержит метки времени для каждого отсчета. Графики снятых сигналов во временной области представлены на рис. 2 – 4.

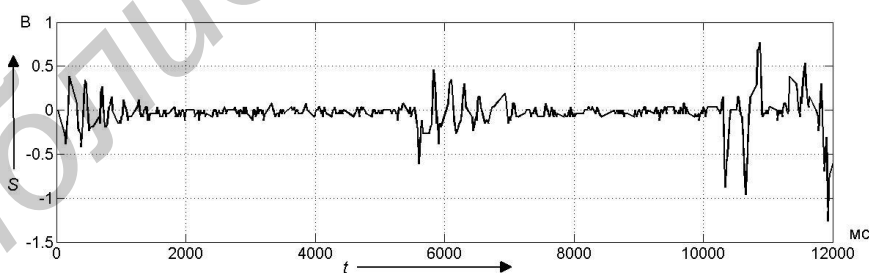


Рис. 2. Данные по оси X акселерометра

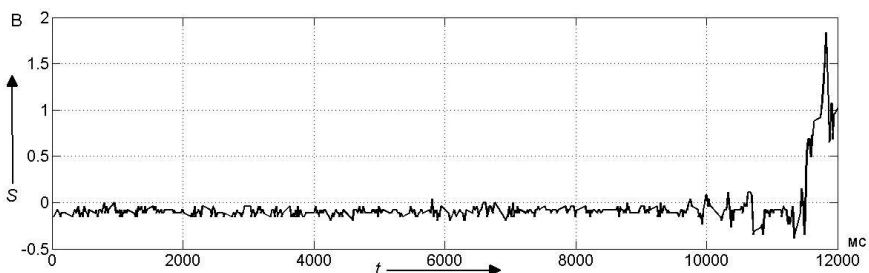


Рис. 3. Данные по оси Y акселерометра

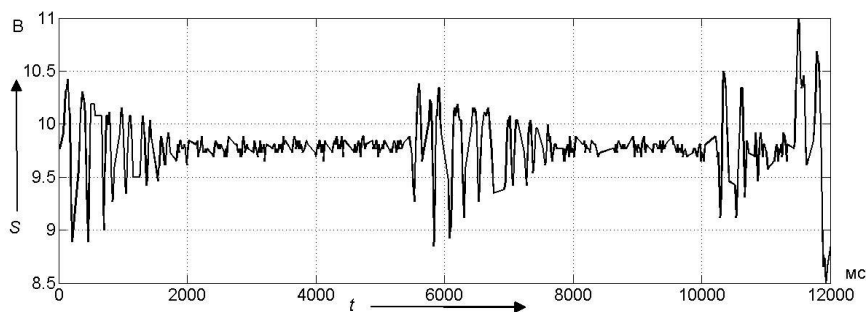


Рис. 4. Данные по оси Z акселерометра

Для оценки пригодности полученных данных для дальнейшего использования проводится оценка статистических характеристик данных с оси Z.

Среднее арифметическое значение отсчетов времени вычисляется по формуле (1):

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j, \quad (1)$$

где  $n$  – количество отсчетов,  $z$  – значение отсчетов времени.

$$\bar{Z} = 3,4107 \cdot 10^{-14} \text{ В.}$$

Дисперсия для набора отсчетов определяется по формуле (2):

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (z_j - \bar{z})^2}{n-1}, \quad (2)$$

$$S^2 = 0,1257 \text{ В.}$$

Среднеквадратичное отклонение равно  $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,1257} = 0,3545$ .

Для оценки стабильности частоты вычислим разницу между соседними отсчетами времени. Результат покажет, с какой частотой была приведена выборка отдельного значения. Данная характеристика вычисляется по формуле (3):

$$\Delta\tau_i = \tau_i - \tau_{i-1} = (0, N). \quad (3)$$

Полученные значения разности представлены на рис. 5. Математическое ожидание данной величины составляет 21,33 единиц дискретного времени, дисперсия 570,7; среднеквадратическое отклонение 23,89.

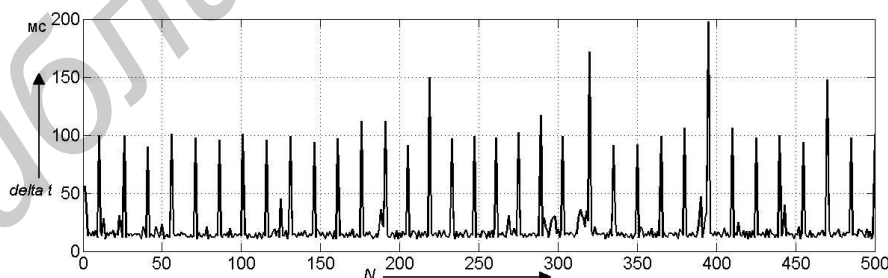


Рис. 5. Разность между соседними временными отсчетами

### Заключение

Анализ характеристик позволяет заключить, что акселерометры мобильных телефонов пригодны для предварительной диагностики выраженных дефектов на низких и средних частотах. Однако, особенности аппаратной и программной реализации обуславливают значительную нестабильность частоты опроса датчиков таких устройств, в силу чего, как показал анализ статистических характеристик, снятый сигнал обладает недостаточной

стабильностью частоты дискретизации и не может считаться квазистационарным, а следовательно не пригоден для решения диагностических задач в чистом виде. В качестве решения данной проблемы предлагается провести накопление данных, статистическую обработку, интерполяцию и передискретизацию.

## **MODERN MOBILE ACCELEROMETERS APPLICATION ABILITIES AND LIMITATIONS FOR THE SAKE OF VIBRATION PROCESSING IN MACHINERY**

I.G. DAVYDOV, S.A. MIGALEVICH, S.U. VASIUKEVICH, A.V. TSURKO

### **Abstract**

Technical characteristics of modern mobile accelerometers are evaluated in this paper. Application abilities for these accelerometers and its applicability limitations in distributed diagnostic system application are taken into consideration during the research.

### **Список литературы**

1. Дрожин А. MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 1 // 3Dnews. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/editorial/MEMS-microelectromechanical-systems-Part-1/print>. – Дата доступа: 26.09.2013.
2. Характеристики акселерометров / Справочник метролога // РСТ, Главный форум метрологов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metrologu.ru/info/izmerenia/vibroizmerenia/6-harakteristiki-akselerometrov.html>. – Дата доступа: 26.09.2013.
3. Измерение и анализ механических колебаний. Справочное руководство. Дания, 1984.
4. *Woodman O.* Pedestrian Localisation for Indoor Environments: PhD thesis. Cambridge, 2010.