

### Литература

1. Волков А.Н. Метод синтеза систем автоматического управления с максимальной степенью устойчивости при наличии ограничений / А.Н. Волков, Ю.В. Загашвили // Известия РАН. Сер. Теория и системы управления. – 1997. – № 3. – С. 12–19
2. Шубладзе А.М. Способы синтеза систем управления максимальной степени устойчивости // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 1. – С. 28–37.
3. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза / Б.Н. Петров, Н.И. Соколов, А.В. Липатов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
4. Езангина Т.А. Проектирование робастной системы стабилизации положения буксируемого подводного объекта. // X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 13-16 ноября 2012 г., с.225-227.

## СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВИБРОДАТЧИКОВ

Фаерман В.А., Степанцов П.С.

Научный руководитель: Аврамчук В.С.  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: fcsevladfaerman@gmail.com

В настоящее время, для решения широкого спектра задач вибродиагностики оборудования созданы специализированные переносные программно – технические системы [1], которые называют портативными вибродиагностическими комплексами [2]. В состав таких комплексов могут входить следующие функциональные единицы – средства измерения вибрации, блок сбора и накопления данных, средства диагностики, средства конфигурации узлов и агрегатов (с базой, распространенных подшипников, шестерней и т.д.), конструктор отчетов [1]. Приблизительный состав комплекса приведен на рисунке 1.

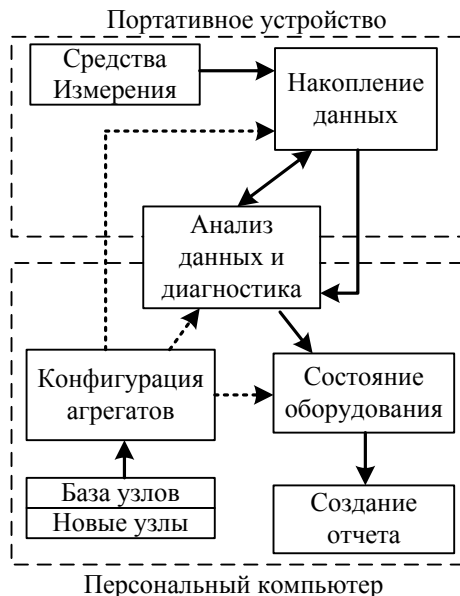


Рис. 1. Схематическое изображение комплекса

Важной частью системы, во многом определяющей диагностические качества комплекса, являются используемые в ней средства измерения вибрации [1]. В настоящее время используют различ-

ные принципы измерения параметров вибрации: бесконтактные (акустические, оптические, волновые) и контактные (механические и электрические). Бесконтактные методы, в силу большой громоздкости оборудования, высокой его стоимости и относительно низкой точности измерения, применяются лишь в тех ситуациях, где механический контакт с вибрирующим объектом не возможен [3]. Механические методы измерения вибрации – ранее использовались в качестве лабораторных, но впоследствии были вытеснены электрическими. В основу измерений параметров вибрации (прежде всего виброускорения) электрическими методами положено изменение электрических величин (таких как напряжение, сопротивление, емкость) вследствие воздействия вибрирующего тела на датчик [3].

Наиболее распространенными в промышленности вибродатчиками являются устройства на базе электрических акселерометров, которые бывают нескольких типов: пьезоэлектрические, пьезорезистивные, переменной емкости [4]. Пьезорезистивные преобразователи осуществляют преобразование механического напряжения в электрическое сопротивление и представляют собой монолитные устройства, обладающие высокой механической прочностью и хорошо подходящие для измерения низкочастотной вибрации и силы ударных воздействий, но испытывающие трудности с высокочастотными сигналами [4]. Преобразователи переменной емкости имеет две параллельные пластины, расстояние между которыми изменяется в результате воздействия механического напряжения, и приводит к изменению емкости. Устройства данного типа используются для измерения низкочастотной вибрации и виброперемещений и широко применяются при исследовании конструкции транспортных средств (самолетов, автомобилей) [4]. В промышленной вибродиагно-

стике наиболее широкое распространение получили пьезоэлектрические акселерометры, благодаря универсальности (имеют широкий частотный диапазон и линейную характеристику), долговечности и относительной простоте использования в датчиках [4].

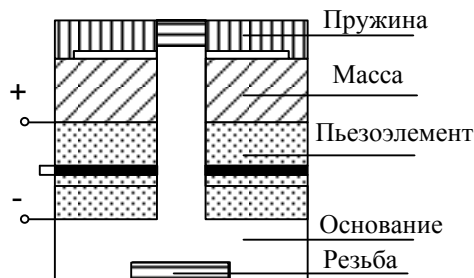


Рис. 2. Пьезоэлектрический преобразователь

Принцип действия пьезоэлектрических акселерометров основан на свойстве пьезоматериалов (обычно используется искусственно поляризованная ферроэлектрическая керамика) генерировать на своих поверхностях заряд, пропорциональной воздействующей силе. Помимо пьезоэлемента акселерометры данного типа включают в себя основание (с крепежной резьбой и электрическими выводами), пружину и инертную массу, обеспечивающие линейность и стабильность характеристики [5]. Схематически пьезоэлектрический акселерометр изображен на рисунке 2.

Для работы в составе вибродиагностического комплекса, акселерометр снабжается рядом дополнительных элементов, призванных обеспечивать его взаимодействие с другими устройствами, питание, первичную обработку поступающей информации, а также механическую защиту [5]. Данный набор элементов в совокупности представляет собой вибродатчик. Примерная функциональная схема представлена на рисунке 3.

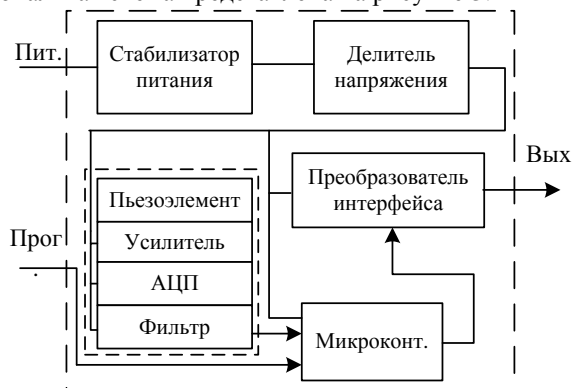


Рис. 3. Упрощенная схема вибродатчика

В соответствии со схемой на рисунке 3, был разработан вибродатчик в соответствии со следующими требованиями: надежность (пригоден для эксплуатации в течение длительного времени), точность (в широком диапазоне ускорений), универсальность и компактность (малые габари-

ты) [2]. Не полный перечень задействованных в датчике элементов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Используемые элементы

Элемент	Роль в схеме	Описание
ADXL345	Цифровой акселерометр	Трехосевой; многорежимный; миниатюрный
ATxmega16a4-AU	Микроконтр.	ТЧ 32 МГц; 2 кБ ОЗУ; разрядность 8/16 бит
LM-317D2T	Интегральный стабилизатор напряжения	На входе: до 40В; на выходе: от 1.2В до 37В (в схеме 12В)
P6AU-123R3ELF	Модульный преоб-тель	На входе: 12В; на выходе 3.3В; защита от КЗ
ADM3485arz	Преобр-тель интерфейса	Физ. интерфейс RS485; скорость до 10 Мбод
PLD 2x2 (шаг 2.54 мм)	Разъем; программ.; питание (24В)	4- контактная вилка
WAGO 236-401	Разъем; выход датчика	Четыре клеммных соединителя

Также, стоит отметить, что в реализованной схеме задействованы вспомогательные полупроводниковые элементы (диоды, резисторы, емкости), служащие для распределения нагрузки и коммутации интегральных микросхем. Разработка печатной платы производилась в PCad.

Используемый в датчике цифровой акселерометр ADXL345, имеет ряд настроечных параметров, позволяющих изменять диапазон измерения виброускорений, частоту получения данных о сигнале, а также точность (разрядность выходного сигнала). Настройка акселерометра осуществляется при посредничестве микроконтроллера. Кроме того, наличие программируемого микроконтроллера в датчике позволяет путем введения дополнительной обработки результатов измерений (например, интегрирования) изменять его назначение (то есть получить датчик виброскорости). За счет данных качеств, разработанный датчик может выполнять виброизмерения в различных условиях и при решении разнообразных задач, то есть является универсальным. Электронная схема датчика защищена стеклометаллическим корпусом и зафиксирована в нем при помощи эпоксидной смолы. Другие технические характеристики устройства также соответствуют заявленным требованиям. Основные характеристики датчика представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные характеристики датчика

Наименование хар-ки	Значение
Номинальное напр. питания, В	24±5
Оси измерения виброускорения	X, Y, Z

Наименование хар-ки	Значение
Точность, $m/c^2 \cdot \text{бит}$	до $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ г}$
Частота измерений, Гц	до 3200
Раб. диапазон температур, °С	от -40 до +85
Интерфейс связи	RS 485
Протокол связи	от ModBus-RTU

Таким образом, разработанный датчик может быть использован в составе вибродиагностических комплексов при решении разнообразных практических задач, после непродолжительного этапа предварительной настройки.

#### Литература

1. Сайт Центра Комплексных Технологий. Комплекс вибродиагностики [Электронный ре-

сурс] – URL: <http://www.ndtural.ru/razdel.html?gc=4&ci=30>

2. Фаерман В.А., Аврамчук В.С. Применение частотно-временной автокорреляционной функции для повышения эффективности вибродиагностики // СТТ: Сб. трудов – Томск, 2013. – С. 379-381.

3. Методы измерения вибрации. Сайт компании Евролаб [Электронный ресурс] – URL: [http://www.eurolab.ru/izmerenie\\_vibracii\\_pribory](http://www.eurolab.ru/izmerenie_vibracii_pribory).

4. Сайт метрологов. Виды акселерометров [Электронный ресурс] – URL: <http://metrologu.ru/info/izmerenia/vibroizmerenia/typ-e-akselerometr.html>.

5. В.М. Шарапов. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 629 с.

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МАШИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Фаерман В.А.

Научный руководитель: Аврамчук В.С.  
Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: fcsevladfaerman@gmail.com

Со времени начала промышленного производства и повсеместной эксплуатации электромеханических машин, остро стоит проблема оценки их технического состояния на всех этапах жизненного цикла [1]. Важность данного вопроса обусловлена критическим влиянием состояния электромашины на ход транспортно-производственного процесса, в том числе на объем и качество выпускаемой продукции, а также на эффективность расходования ресурсов [2]. Кроме того, только прекращение эксплуатации и своевременное ремонтное обслуживание, позволяют предотвратить дальнейшее развитие дефекта в устройстве, способное привести к его выходу из строя, а в особых случаях, к крупным экономическим потерям или человеческим жертвам [2].

Как правило, под техническим состоянием электромеханических устройств понимают совокупность их свойств, которые характеризуются в определенный момент времени и при определенных условиях среды, значениями некоторых структурных параметров, установленных технической документацией [3]. Данное определение свидетельствует о том, что техническое состояние любого устройства неразрывно связано с целостностью и невредимостью его структуры. В свою очередь техническая диагностика машины, как процедура определения технического состояния, позволяет выявить дефекты и изъяны, присутствующие в ней, для их последующего устранения [3].

В настоящее время, техническая диагностика является одной из основных задач неразрушающего контроля. Одним из быстро развивающихся

подходов к ее решению является применение вибрационных методов, основанных на исследовании вибрации, производимой объектом диагностики [3]. Известно, что информация о взаимосвязи между состоянием устройства и создаваемыми в процессе его работы механическими колебаниями использовалась со времён эксплуатации первых машин. В связи с тем, что измерение параметров колебаний в тот период происходило с использованием простейших оптических средств и характеризовалось низкой точностью и значительной трудоемкостью, исследования вибрации производились в основном при принятии конструкторских решений на этапе разработки машины [4]. В последние десятилетия, благодаря появлению более совершенных датчиков колебаний и интенсивному развитию микропроцессорной техники, исследование вибрации стало значительно более простым и эффективным, что привело к расширению круга решаемых таким образом практических задач [4]. В настоящее время, данный подход введен в реестр методов неразрушающего контроля [3].

Как отмечалось ранее, в основе вибрационных методов диагностики лежит измерение, регистрация и анализ параметров вибрации исследуемого объекта: виброускорения, виброскорости и виброперемещения. Как правило, датчики устанавливаются в различных точках на корпусе машины, это позволяет получать более полную информацию о состоянии ее основных узлов. В качестве основного информационного параметра колебаний, измеряемого непосредственно датчиком, обычно выступает виброускорение. Это связано с широким распространением пьезоэлектри-