

А. В. Костюков, А. В. Зайцев, В. В. Мельк (НПЦ «Динамика»),  
А. В. Щелканов, А. Е. Цурпаль (ОмГУПС)

## СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Выдающиеся возможности новейших программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), а именно встроенные процессорные ядра, гигабитные трансиверы, сотни высокоскоростных интерфейсов ввода-вывода общего назначения (GPIO) и сотни тысяч перепрограммируемых логических ячеек крайне редко используются в практических разработках. Связано это, прежде всего, с высокой стоимостью данных микросхем, достигающей нескольких тысяч долларов, и сложностью отладки разрабатываемых проектов.

Большое распространение на практике получили коммерчески доступные ПЛИС без встроенных процессорных ядер и трансиверов, стоимостью до 100 долларов. Использование данных ПЛИС (FPGA) накладывает некоторые ограничения на объём реализуемого проекта, связанные с необходимостью выделения большого объёма логических ячеек на реализацию интерфейсов связи с управляющими устройствами и интерфейсов подключения внешней памяти.

Наиболее перспективным направлением в разработке высокоеффективных измерительных устройств является совместное применение ПЛИС и сигнального процессора, например 16-разрядного Blackfin. Семейство Blackfin – это результат совместных усилий фирм Analog Devices и Intel по разработке новой архитектуры Micro Signal Architecture ADI. Особенностью данной архитектуры является сочетание в одном микропроцессоре возможностей цифровой обработки сигналов и RISC подобный набор команд. Главная цель создателей семейства Blackfin состояла в реализации цифровых процессоров обработки сигналов массового применения с наивысшими показателями производительности при минимальной стоимости.

Распределение функций между ПЛИС и сигнальным процессором Blackfin позволяет создавать многоканальные высокопроизводительные измерительные системы (см. рис. 1), в которых на ПЛИС возлагаются функции

управления АЦП и предварительная обработка получаемых данных – цифровая фильтрация, выделение акустических импульсов и расчёт их параметров, организация потока данных для приёма по каналу DMA и прочее [1].

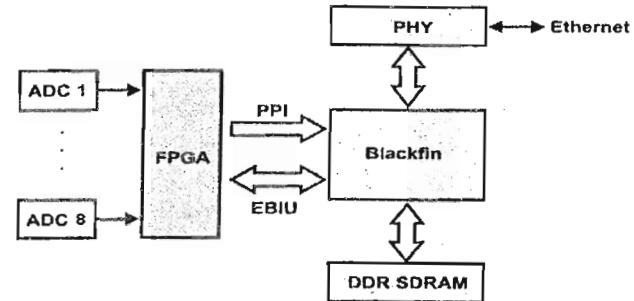


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы  
на базе ПЛИС и микропроцессора Blackfin

На рисунке показано: ADC1.. ADC8 – блоки аналого-цифровых преобразователей; FPGA – программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС); Blackfin – цифровой процессор обработки сигналов; DDR SDRAM – память хранения временной реализации; PHY – физический уровень интерфейса Ethernet.

Отличительной особенностью разработанного, в соответствии с вышеописанной архитектурой, измерительного модуля 3541 (см. рис. 2) является возможность непрерывной и равномерной (без пропусков данных) регистрации сигналов.

Применяемые в модуле 24-разрядные АЦП производства Analog Devices позволяет получить временную реализацию с разрешением в 16 «чистых» разрядов и частотой дискретизации до 4000 кГц.

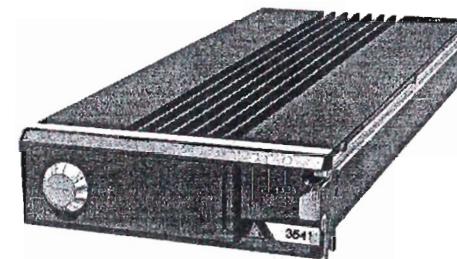


Рис. 2. Измерительный модуль 3541

Основные технические характеристики модуля 3541 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики модуля 3541

Количество измерительных каналов	8
Тип входа	дифференциальный
Разрядность АЦП (результатирующая), бит	16
Размер буфера временной реализации, Мб	8
Диапазон частот дискретизации АЦП по всем каналам одновременно, кГц	0,1÷4000
Полоса пропускания при максимальной частоте дискретизации (по уровню - 3дБ), кГц	0÷1500
Динамический диапазон, дБ, не менее	76
Диапазон входного сигнала:	
– канала измерения напряжения, мВ	$\pm(0÷1000)$
– канала измерения тока, мА	$\pm(0÷5)$
Относительная основная погрешность	
– канала измерения напряжения, %, не более	0,05
– канала измерения тока, %, не более	0,1
Напряжение питания модуля, В	15
Потребляемая мощность, Вт, не более	10
Интерфейс	Ethernet 100 Мбит/с

На рис. 3 в качестве примера показан результат работы модуля – выборка сигнала вибрации тягового электродвигателя электропоезда длительностью 250 секунд и частотой дискретизации 65 кГц, построенная в виде спектрограммы.

На спектрограмме выделяются два пика резонансной зоны датчика вибрации, использованного для получения данного сигнала (поз. 1). Кроме того выделяются пики (поз. 2), частота и уровень которых не зависят не только от скорости движения электропоезда (оборотной частоты), но и от наличия возмущающего воздействия на датчик (присутствуют, даже тогда, когда электропоезд не движется).

Гармонические составляющие спектра сигнала вибраций, частота которых изменяется пропорционально скорости движения электропоезда (поз. 3) сосредоточены в основном в диапазоне от 0 до 10 кГц в диапазоне скоростей от 0 до 120 км/час. На представленной форме визуализации данных отчетли-

во видны области, в которых электропоезд осуществлял разгон (поз. 4), а также двигался на выбеге (поз. 5).

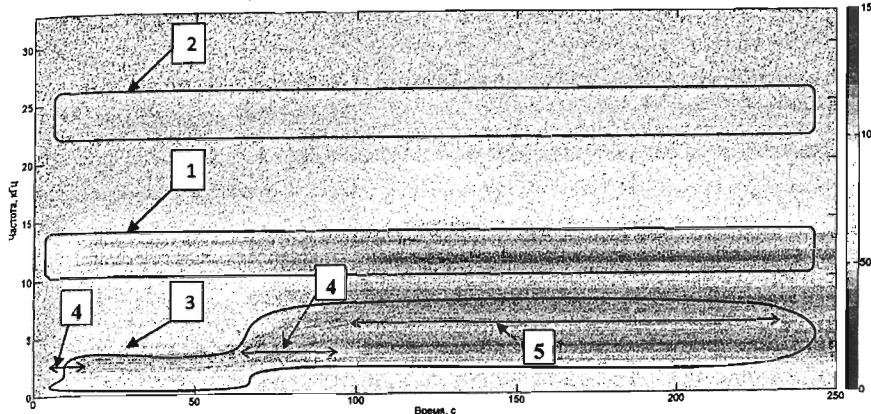


Рис. 3. Спектрограмма виброакустического сигнала тягового электродвигателя электропоезда длительностью 250 секунд в диапазоне частот от 0 до 32 кГц

На рис. 4 представлен амплитудно-частотный спектр сигнала вибраций того же тягового двигателя с разрешающей способностью по частоте 0,1 Гц, построенный по временной реализации с частотой дискретизации 260 кГц. На представленном спектре однозначно можно выделить аналогичные характеристические области.

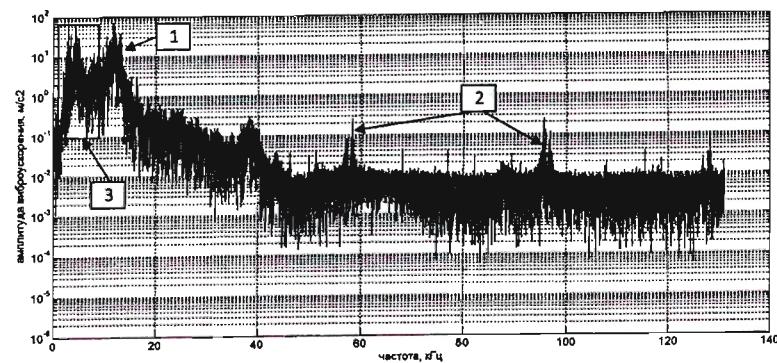


Рис. 4. Амплитудно-частотный спектр виброакустического сигнала тягового электродвигателя электропоезда в диапазоне частот от 0 до 130 кГц

Система, созданная на базе модуля 3541, позволяет проводить в реальном времени виброакустическую и акустико-эмиссионную диагностику оборудования, в том числе работающего в нестационарных режимах [2].

#### Библиографический список

1. Костюков, В. Н. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР КОМПАКС®) [Текст] / В. Н. Костюков, С. Н. Бойченко, А. В. Костюков. М.: Машиностроение. 1999. 163 с.
2. Костюков, В. Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение. 2002. 224 с.

УДК 377.4

В. Ю. Тэтгэр (ОмГУПС)

#### ПРАКТИКА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ВИБРОДИАГНОСТИКЕ ДЛЯ ЛОКОМОТИВНОГО И ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА

При эксплуатации и, особенно в процессе ремонта подвижного состава используются сложные электронные приборы, программно-аппаратные комплексы, испытательные стенды, измерительное и диагностическое оборудование (рис.1) [1].



Измерительное и диагностическое оборудование

Рис. 1. Диагностическое оборудование

Это обстоятельство требуют от пользователей соответствующей квалификации. ВУЗы и техникумы во многих случаях специализированную подготовку по ряду причин в свои образовательные программы не включают. В этой ситуации подготовка специалистов чаще всего производится предприятиями – разработчиками (далеко не всеми). Положительный опыт подготовки специалистов по вибродиагностике подвижного состава накоплен в компании «НПК «Энергосервис-Резерв». Большая номенклатура выпускаемого оборудования компании содержит ряд позиций относящихся к передовым средствам вибродиагностики подвижного состава – программно-аппаратные комплексы типа «Эксперт» (рис.2), которые могут использоваться для диагностирования колесно-моторных блоков локомотивов и путевой техники, буксовых узлов колесных пар вагонов [2].



Программно-аппаратные комплексы типа «Эксперт Д»

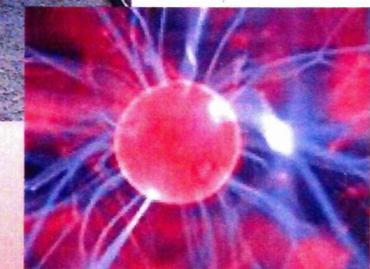
Рис.2. Диагностические комплексы типа «Эксперт»

Подготовка специалистов осуществляется в различных формах и в разных объемах. Для специалистов локомотивного хозяйства использовались курсы повышения квалификации в объеме 80 часов (40 часов теория, 40 – практические занятия, в том числе и в компьютерном классе). В таких случаях компания успешно сотрудничает с ОмГУПС, на базе которого и проводятся курсы.



Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
ОАО «Российские железные дороги»  
Омский государственный университет  
путей сообщения

## Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте



Омск 2013



Министерство транспорта Российской Федерации  
Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
ОАО «Российские железные дороги»  
Омский государственный университет путей сообщения

**ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ,  
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ДИАГНОСТИКИ В  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы всероссийской  
научно-технической конференции  
с международным участием  
(21, 22 ноября 2013 г.)

Омск 2013

**Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте:** Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2013. 425 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по ряду научных направлений, посвященных современному состоянию и перспективам развития приборов и методов контроля на транспорте, в различных отраслях промышленности и энергетики. Представлен широкий спектр приборов неразрушающего и аналитического контроля, обеспечивающих высокую надежность при эксплуатации, обслуживании и ремонте подвижного состава.

Большое внимание уделено современным системам учета и контроля в энергетике и электротехнических комплексах, включая методики повышения эффективности использования различных видов топливно-энергетических ресурсов.

Рассмотрены вопросы приборного и методического обеспечения контроля окружающей среды, а так же вопросы метрологии, стандартизации и сертификации.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области железнодорожного подвижного состава.

Библиогр. 275 назв. Табл. 24. Рис. 181.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, доцент С. М. Овчаренко (отв. редактор);  
доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин;  
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора);  
доктор техн. наук, доцент А. А. Кузнецов

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор Ю. М. Вешкурцев;  
доктор техн. наук, профессор В. И. Глухов.

© Омский гос. университет  
путей сообщения, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Сидоров Е. Н. (ООО «НПК «Энергосервис-Резерв», г. Омск). Новое поколение вибродиагностического оборудования для подвижного состава...	9
Кузнецов А. А. (ОмГУПС). Применение спектральных методов анализа на транспорте и в промышленности .....	13
Ахмеджанов Р. А., Бельский А. О., Нармухан И. М., Шабалин В. С. (ОмГУПС), Соловьев Н. А. (ООО «НПК «Энергосервис-Резерв», г. Омск) К вопросу автоматизации дефектоскопирования объектов железнодорожного транспорта.....	19
Костюков А. В., Зайцев А. В., Мельк В. В. (НПЦ «Динамика», г. Омск), Щелканов А. В., Цурпаль А. Е. (ОмГУПС). Система измерения широкополосных виброакустических процессов .....	26
Тэттер В. Ю. (ОмГУПС). Практика подготовки специалистов по вибродиагностике для локомотивного и вагонного хозяйства .....	30
Харламов В. В., Шкодун П. К., Долгова А. В. (ОмГУПС). Применение теории информации для определения величины пробега тяговых электродвигателей подвижного состава .....	36
Джаманбалин К. К. (Костанайский социально-техн. ун-т, Республика Казахстан). Фильтры очистки жидкостных и газовых сред на основе углеродных нанотрубок – «хризотил-асбест» .....	43
Черемисин В. Т., Ушаков С. Ю., Каиштанов А. Л., Пашков Д. В. (ОмГУПС). Обоснование необходимости создания единой автоматизированной системы учета электрической энергии на тягу поездов (ЕАСУЭ Т) .....	49
Незевак В. Л. (ОмГУПС). К вопросу об управлении режимом работы накопителя электрической энергии в системе тягового электроснабжения .....	55
Павлов В. М., Смердин А. Н., Томилов В. В., Голубков А. С., Емельянов М. В. (ОмГУПС). Экспериментальные исследования нагрузочной способности токоприемника магистрального электроподвижного состава .....	62
Салита Е. Ю., Ковалева Т. В., Редчиц Н. В., Косенко Е. С. (ОмГУПС), Кващук В. А., Лапенко Н. М. (Зап.-Сиб. ж. д. – филиал ОАО «РЖД»). Прибор для диагностирования силовых вентиляй преобразователей тяговых подстанций .....	69