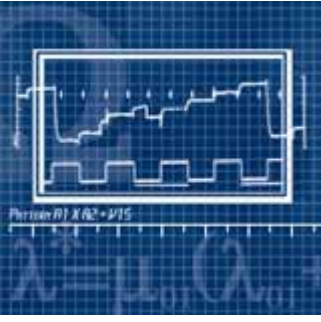




Устройства и системы для неразрушающего контроля изделий и агрегатов

Павел Галаган

Важность неразрушающего контроля в различных отраслях промышленности приобретает всё большее значение. Компания ПРОСОФТ-Системс на базе современных аппаратно-программных средств разрабатывает и выпускает устройства и системы для решения этой задачи, широко применяемые на предприятиях металлургии, энергетики, нефтегазовой и других отраслей. В статье представлены магниторезистивный дефектоскоп для контроля труб, система контроля вибросостояния агрегатов и тахометрический комплекс для измерения скорости вращения валов агрегатов. Описание каждой из разработок сопровождается информацией о внедрении и основных преимуществах перед аналогами.

Всегда актуальная задача обеспечения требуемого качества и надёжности изделий может быть решена только при наличии эффективных средств контроля.

Инженерная компания ПРОСОФТ-Системс практически с начала своей деятельности ведёт НИОКР по созданию оборудования для неразрушающего контроля (НК) изделий и агрегатов. Исторически в данной работе сложились два направления: приборы электромагнитного и вибрационного контроля.

В настоящей статье описываются аппаратно-программные средства НК, разработанные за последнее время и выпускаемые фирмой: магниторезистивный дефектоскоп для контроля цельнокатаных труб, система контроля вибросостояния агрегатов и тахометрический комплекс. Некоторые элементы нашего оборудования для НК не имеют аналогов.

ДЕФЕКТОСКОП МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ДМР-1

Дефектоскоп предназначен для автоматического выявления поверхностных и подповерхностных дефектов стальных бесшовных труб с толщиной стенки до 20 мм и выдачи сигнала на краскоотметчик технологической линии контроля для маркирования дефекта. Конструктивно дефектоскоп

состоит из двух блоков: датчика и контроллера (рис. 1), установленного в боксе заводской технологической линии. Качественное электропитание дефектоскопа обеспечивается источником бесперебойного питания и супер-фильтром, устанавливаемыми также в боксе технологической линии.

На передней панели защитного шкафа контроллера смонтированы TFT-монитор и клавиатура, а на внутренней монтажной панели шкафа — компактное шасси промышленного компьютера с процессорной платой PCA-6770 фирмы Advantech, платой АЦП фирмы «Руднев-Шиляев» (500 000 отсчётов/с), платой дискретного ввода-вывода PCL-725 фирмы Advantech, а также блок питания и клеммные зажимы фирмы WAGO (рис. 2).

Датчик дефектоскопа — это фактически магнитоэлектрический преобразователь. В качестве физической основы в нём применён нетрадиционный для дефектоскопии магнито-резистивный элемент (МРЭ), сопротивление которого зависит от магнитного поля рассеяния дефектов трубы. Конструктивно датчик представляет собой корпус из латуни, в котором на кросс-плате установлены 32 платы с МРЭ, источником тока и предусилителем (рис. 3). Кросс-плата производит усиление напряжения с выхода каждого МРЭ, мультиплексирование каналов, фильтрацию постоян-

ного напряжения и дополнительное усиление сигнала после мультиплексирования. Шаг установки МРЭ — 6 мм (суммарная длина чувствительной зоны — 200 мм). Датчик дефектоскопа монтируется на подвесе технологической линии над трубой по её образующей (рис. 4). Намагничивание трубы до насыщения производится электромаг-



Рис. 1. Контроллер дефектоскопа в боксе технологической линии



Рис. 2. Монтажная панель контроллера дефектоскопа

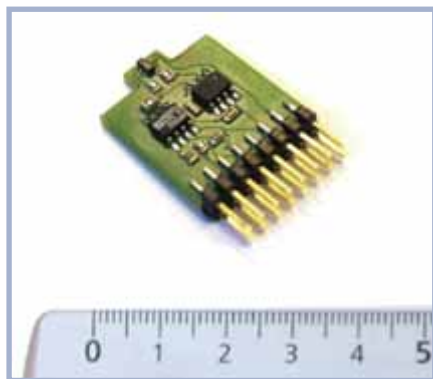


Рис. 3. Плата датчика дефектоскопа с чувствительным элементом



Рис. 4. Подвес технологической линии с датчиком

нитом, поле которого направлено поперёк оси трубы. Кабель датчика заводится на клеммник контроллера.

Программное обеспечение

Основой программного обеспечения дефектоскопа является оригинальная прикладная программа Graph, условно состоящая из двух подпрограмм: Online и Offline.

Подпрограмма Online производит:

- обработку сигналов с чувствительных элементов в масштабе реального времени и сравнение с уставками;
- выдачу сигнала на краскоотметчик в масштабе реального времени;
- подготовку информации, необходимой для составления конечного отчёта о работе дефектоскопа;
- подготовку информации для проведения графической визуализации магнитного поля рассеивания дефектов;
- индикацию процесса контроля труб с условными отметками дефектных участков и результатов работы краскоотметчика (рис. 5);
- регистрацию сигналов с датчиков начала/конца трубы для

установки начала/конца измерений и организации подсчёта труб.

Подпрограмма Offline производит:

- визуализацию полученных результатов измерений в виде кадров изображений магнитного поля трубы, автоматическое архивирование файлов этих изображений и обеспечение возможности их просмотра в виде последовательности рядом расположенных кадров с фильтрацией и без неё (рис. 6);
- настройку программы нижнего уровня, установку управляющих параметров;
- автоматическое формирование и архивирование итогового протокола о работе дефектоскопа за смену.

Основные преимущества

1. Использование магниторезистивных чувствительных элементов допускает работу дефектоскопа на любых скоростях движения трубы: от близких к нулю до суммарной скорости вращательно-поступательного движения 1,5 м/с, в отличие от дефектоскопа с индукционными преобразователями (наиболее эффективного среди магнитных), который не может работать на низких скоростях трубы из-за малой величины наводимой эдс, и дефектоскопа ультразвукового, который не может работать на высоких скоростях трубы.
2. Большая длина рабочей зоны датчика позволяет увеличить шаг вращения трубы, а следовательно, продольную скорость и производительность.
3. Дефектоскоп обеспечивает 100-процентный охват поверхности трубы, в том числе и приторцевых зон.
4. В программе Graph кадр сигналов с чувствительных элементов подвергается цифровой обработке с использованием пространственных фильтров (spatial filters) [1], что позволяет:
 - максимально подавить шумы и по-

- наилучшим образом выявлять дефекты труб с конкретными параметрами за счёт оптимизации набора фильтров (рис. 7);
- исключить точечные (протяжённостью в 1-2 чувствительных элементов) дефекты (такие дефекты допустимы в отличие от протяжённых дефектов — трещин).

Внедрение

Комплекс дефектоскопа и технологической линии создан в содружестве с Северским трубным заводом: датчик, контроллер и программное обеспечение разработаны и изготовлены компанией ПРОСОФТ-Системс, технологическая линия, подвес датчика и электромагнит — Северским трубным заводом.

Дефектоскоп успешно эксплуатируется на Северском трубном заводе с апреля 2003 года.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВИБРОСОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ЦВА

Контроль состояния агрегатов, авария и простой которых приводят к тяжёлым последствиям, является неизменно актуальной задачей. Виброконтроль — наиболее быстрый и информативный вид контроля для выявления порядка 80% дефектов, возникающих в агрегатах. Однако до сих пор вибро-

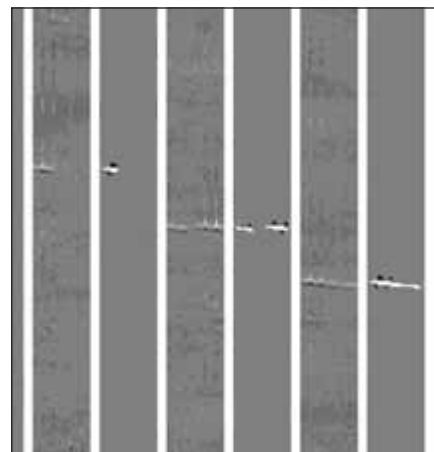


Рис. 6. Пример визуализации магнитного поля

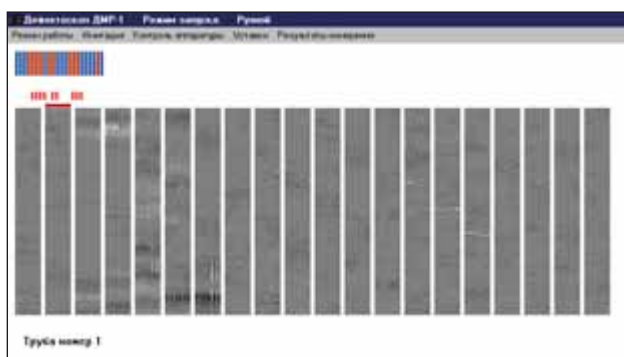


Рис. 5. Фрагмент главного окна программы

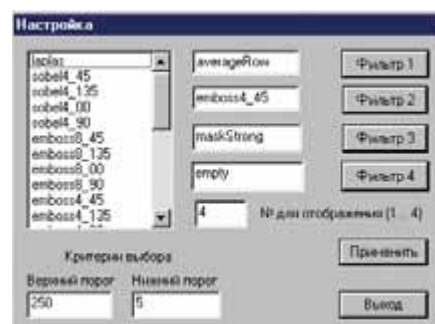


Рис. 7. Установка цифровых фильтров



Рис. 8. Вибродатчик ИВД-1

контроль применяется недостаточно широко, что исторически объясняется дороговизной, относительной сложностью и недостаточной надёжностью (это относится в основном к отечественной аппаратуре) измерительно-преобразовательных средств.

Самый распространённый вид промышленного контроля вибрационного состояния агрегатов заключается в измерении величины среднеквадратического значения виброскорости в частотном диапазоне 10-1000 Гц и сравнении с несколькими уставками, назначенными в соответствии со стандартами ISO 2372, ISO 2373.

Представляемая аппаратура ЦВА выполняет именно эту задачу. В предлагаемом решении сочетаются высокая надёжность, широкие функциональ-

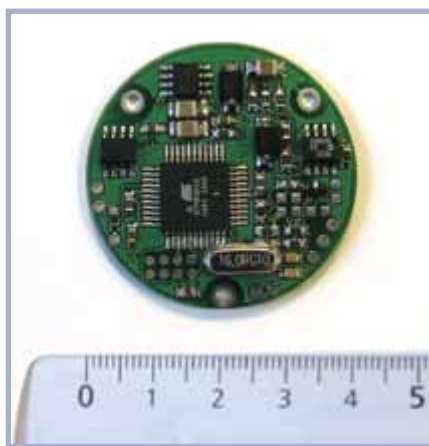


Рис. 9. Микропроцессорная плата преобразователя датчика ИВД-1

ные возможности и относительная дешевизна.

Существенная новизна аппаратуры ЦВА заключается в том, что преобразование механических колебаний в цифровую величину среднеквадратического значения (СКЗ) виброскорости в частотном диапазоне 10-1000 Гц и передача этой величины по интерфейсу RS-485 в контроллер осуществляется «интеллектуальным» датчиком ИВД-1. Совокупность таких датчиков и одного контроллера образуют систему вибрационного контроля и защиты турбоаг-



Рис. 10. Монтажная панель контроллера ПЕ2.781.001 системы ЦВА

регатов, насосов, электродвигателей и другого оборудования электрических, нефтеперекачивающих и газокompresсорных станций, котельных и иных промышленных объектов.

Датчик ИВД-1

Датчик ИВД-1 конструктивно выполнен в виде моноблока (рис. 8) с 4-жильным кабелем для внешних соединений и имеет два функциональных узла: чувствительный пьезоэлектрический элемент и плату преобразователя (рис. 9).

Таблица 1

Основные технические характеристики датчика ИВД-1

Рабочий амплитудный диапазон	До 70 мм/с
Основная погрешность измерения СКЗ виброскорости	Не более 5% во всём частотном диапазоне Не более 1% на базовой частоте 160 Гц
Скорость обмена	До 115200 бит/с
Частота обновления выходной информации	10 Гц
Период усреднения выходного параметра	1,6 с
Время установления рабочего режима	Не более 10 с
Напряжение питания	10-30 В
Диапазон рабочих температур	-40...+80°C
Степень защиты оболочки	IP67
Масса	0,4 кг
Габаритные размеры	50×50×55 мм

Датчик выполняет:

- преобразование заряда от чувствительного элемента в напряжение, пропорциональное ускорению;
- частотную фильтрацию НЧ- и ВЧ-составляющих сигнала, обеспечивая рабочий частотный диапазон;
- аналого-цифровое преобразование;
- интегрирование ускорения и расчёт СКЗ виброскорости;
- дистанционно программируемую калибровку выходной величины;
- преобразование данных внутренней шины в формат интерфейса RS-485;
- дистанционно программируемое технологическое конфигурирование сетевого адреса и скорости обмена;
- хранение параметров настройки в энергонезависимой памяти;
- стабилизацию внешнего питания, а также защиту от «переплюсовки» и импульсных перенапряжений.

Параметры настройки датчика хранятся в энергонезависимой памяти.

Основные технические характеристики датчика ИВД-1 представлены в табл. 1.

Контроллер

Контроллер ПЕ2.781.001 имеет два режима функционирования: рабочий и технологический.

В рабочем режиме производится:

- последовательный опрос датчиков, поддерживаемых контроллером;
- индикация величины виброскорости по каждому датчику;
- выдача релейного сигнала при повышенной и аварийной вибрации;
- формирование статусов каналов;
- связь с АСУ ТП верхнего уровня;
- ведение и просмотр журнала событий.

В технологическом режиме производится:

- установка сетевого адреса датчика и скорости обмена;
- задание двух уставок величин виброскорости;
- изменение оператором статусов каналов;
- установка тарифовочного коэффициента для каждого датчика.

Индикация величины виброскорости осуществляется последовательно для каждого датчика путём задания с клавиатуры его сетевого адреса.

В корпусе контроллера ПЕ2.781.001 установлены плата контроллера, блок барьеров искробезопасности, плата релейной коммутации, источник питания (рис. 10). Все узлы контроллера

разработаны и производятся компанией ПРОСОФТ-Системс.

На лицевой панели контроллера ПЕ2.781.001 размещены ЖК-индикатор (2×16 символов) и матричная клавиатура 4×4 (рис. 11). Подключение сети электропитания 220 В, цепей датчиков и релейных цепей производится разъёмами.

Плата контроллера имеет следующие порты:

- 2 порта приёма/передачи (интерфейс RS-232);
- 96 дискретных выходов с нагрузочной способностью 16 В/200 мА для управления реле;
- 1 вход питания (5 В/2 А).

Программное обеспечение разработано на языке Image Craft IDE for ICCAVR (Professional), Dongle Version.

Блок барьеров искробезопасности представляет собой плату с 6 барьерами искробезопасности цепей питания датчиков и одним барьером интерфейсной цепи RS-485.

На плате блока барьеров установлен также преобразователь интерфейса RS-485 в интерфейс RS-232. Каждый барьер имеет индикатор обрыва искро-

безопасной цепи. Напряжение питания блока составляет 15 В.

Плата релейной коммутации имеет 8 нормально разомкнутых однополюсных электромеханических реле. Коммутируемая нагрузка: 250 В/1,5 А переменного тока, 30 В/2 А постоянного тока. Номинальное время срабатывания реле равно 6 мс, время отпускания — 5 мс.

Источник питания имеет входное напряжение от 160 до 260 В (эфф.) и выходные номиналы 15 В/650 мА, 5 В/2 А.

Основные преимущества

1. Дистанционная установка тарифовочного коэффициента, сетевого адреса и скорости обмена для каждого датчика.
2. Высокие эксплуатационные характеристики аппаратуры, обеспечиваемые благодаря конструктивным решениям и использованию высоконадёжной, устойчивой к внешним воздействующим факторам элементной базы.
3. Отсутствие дополнительных выносных блоков (согласующих усилителей и приёмных блоков), определяющее меньшую по сравнению с традиционными системами виброконтроля стоимость и возможность широкого внедрения для разных агрегатов.

Внедрение

Аппаратура системы контроля вибросостояния ЦВА внесена в Государственный реестр средств измерений (№ 23646-02). Маркировка взрывозащиты для датчика ИВД-1 — PB Ex ib I/ IEx ib IIC T5 В, для контроллера ПЕ2.781.001 — [Ex ib] I/ [Ex ib].

Датчики и контроллеры системы эксплуатируются на Пуртазовской газокomppressorной станции, Комсомольской дожимной компрессорной



Рис. 11. Лицевая панель контроллера ПЕ2.781.001 системы ЦВА

Таблица 2

Основные характеристики тахометрического комплекса МТ-1

Относительная погрешность при задании входного сигнала от прецизионного генератора*, % • для цифрового измерения частоты • для цифрового измерения ускорения • для аналогового измерения	0,01 в диапазоне от 2 до 6000 об./мин (Гц), 0,02 в диапазоне от 6000 до 15500 об./мин (Гц) см. табл. 3 0,4 в диапазоне от 0,075 f_{max} до f_{max} (f_{max} — заданное потребителем значение максимальной частоты, об./мин)
Стойкость датчика к промышленным электромагнитным полям	выше соответствующей 5-й группе по ГОСТ Р50648 (фактически до 1500 А/м)
Напряжение питания, В • датчика • контроллера и преобразователя	10-24 220±22 переменного или постоянного тока
Диапазон рабочих температур, °С • датчик • контроллер • преобразователь	-40...+85 0...+70 0...+70
Масса, кг • датчик • контроллер • преобразователь	0,1 3,0 1,0
Габаритные размеры, мм • датчик • контроллер • преобразователь	M14×55 (возможны заказные размеры) 250×200×150 290×200×110

* При использовании измерительного колеса погрешность измерения определяется погрешностью шага зубьев и составляющей биения вала, перпендикулярной оси датчика.

станции и Качканарском горно-обогатительном комбинате. Датчики ИВД-1 также эксплуатируются на Среднеуральской ГРЭС в составе АСУ ТП станции.

Комплекс тахометрический МТ-1

Распространённой задачей является измерение скорости вращения валов в процессе работы турбоагрегатов, насосов, двигателей и т.п. Ныне эксплуатируемые отечественной промышленностью тахометрические системы (от первичных преобразователей до контроллеров) в подавляющем большинстве физически и морально устарели.

Компания ПРОСОФТ-Системс разработала и выпускает тахометрический комплекс МТ-1 для измерения скорости вращения валов агрегатов, имеющих зубчатое измерительное колесо из

ферромагнитного материала. Комплекс может входить в системы контроля и защиты агрегатов электрических станций, газокompрессорных станций и других промышленных объектов.

- Полный состав комплекса включает:
- датчик скорости вращения МЭД-1 (далее датчик);
 - преобразователь аналоговый МТ1-2 (далее преобразователь);
 - контроллер МТ1-1.

Возможна работа комплекса в конфигурациях: преобразователь и датчик, контроллер и датчик.

Основные характеристики комплекса отражает табл. 2.

Комплекс предназначен для непрерывного режима работы. Контроллер и преобразователь при штатном размещении могут быть проверены на работоспособность с помощью внешнего генератора.

Марка ферромагнитного материала зубчатого измерительного колеса не нормируется; число зубьев — от 1 (паз на валу) до 999, модуль колеса — не менее 0,8, толщина зуба — не менее 3 мм.

Датчик

Датчик формирует импульсы тока прямоугольной формы при прохождении возле него зубьев измерительной шестерни. Расстояние

от торца датчика до вершины зуба — до 5 мм, частота формируемых импульсов — от 2 до 20 000 Гц.

Относительная погрешность комплекса МТ-1 при цифровом измерении ускорения

Частотный диапазон, Гц	Погрешность, %
500-2500	±2
2500-4500	±3
4500-8500	±6
8500-10500	±8
10500-14500	±12

от торца датчика до вершины зуба — до 5 мм, частота формируемых импульсов — от 2 до 20 000 Гц.

Напряжение питания датчика должно быть в диапазоне 10-24 В. Имеется защита от «переплюсовки» и перенапряжения.

Конструктивно датчик выполнен в виде моноблока с экранированным 3-жильным кабелем для внешних соединений во фторопластовой оболочке (рис. 12). Корпус датчика имеет размеры M14×55 мм, но возможны исполнения с габаритами M22×55 мм или другими (по желанию заказчика). Внутри корпуса, выполненного из нержавеющей и немагнитной стали, установлена плата первичного преобразователя с чувствительным элементом и постоянным магнитом.

Материалы и конструкция датчика гарантируют его работоспособность в среде воды, масла, нефти.

Преобразователь

Преобразователь МТ1-2 (рис. 13) на основе сигнала датчика скорости вращения формирует два выходных сигнала: частотный сигнал и сигнал постоянного тока. По частотному выходу преобразователь ретранслирует поступающие от датчика токовые импульсы прямоугольной формы с уровнями 4 и 20 мА (соответственно логические «0» и «1») и частотой от 2 до 20 000 Гц. По аналоговому выходу выдаётся нормированный сигнал 0...20 или 4...20 мА в виде постоянного тока, величина

которого линейно зависит от скорости вращения зубчатого измерительного колеса.

Преобразователь содержит источник питания датчика.

На передней панели преобразователя предусмотрены индикаторы неисправности внутреннего источника питания.



Рис. 12. Датчик скорости вращения МЭД-1



Рис. 13. Преобразователь МТ1-2



Рис. 14. Передняя панель контроллера MT1-1

Контроллер

Контроллер имеет два режима работы:

- измерение;
- изменение уставок и просмотр архива.

В режиме измерения контроллер производит:

- расчёт и отображение на дисплее частоты (скорости) вращения и ускорения вала в диапазоне от программно задаваемого минимального значения $120/Z$ до 15500 об./мин (Z — число зубьев зубчатого измерительного колеса);
- расчёт и отображение на дисплее ускорения вращения до $2513,274$ рад/с² (400 Гц/с);
- выдачу двух релейных сигналов («Предупредительный», «Аварийный») при превышении текущим значением частоты вращения вала заданных значений предупредительной и аварийной уставок;
- выдачу релейного сигнала «Аварийный» при превышении текущим значением ускорения вала заданного значения уставки;
- выдачу релейного сигнала при останове агрегата;
- диагностику неисправности (обрыв или короткое замыкание) линии частотного входа;
- обмен информацией с АСУ верхнего уровня по изолированному интерфейсу RS-485 (протокол ModBus RTU).

В режиме задания уставок пользователь устанавливает (под паролем) аварийную и предупредительную уставки, число зубьев, параметры для программного усреднения периодов.

В режиме просмотра архивных данных индицируются:

- фактическая величина частоты вращения на момент выдачи релейного сигнала «Предупредительный»;
- фактическая величина частоты вращения на момент выдачи релейного сигнала «Аварийный»;

- фактическая величина ускорения вала на момент выдачи релейного сигнала «Аварийный»;

- минимальная и максимальная частоты за всё время измерения.

Контроллер имеет:

- гальваническую развязку по частотному входу 1000 В (50 Гц);
- энергонезависимое ОЗУ;
- дискретные выходы 24 В/ 300 мА постоянного тока каждый или релейные выходы с характеристиками, конкретизируемыми в паспорте на контроллер.

На передней панели контроллера (рис. 14) размещаются:

- 16-клавишная матричная клавиатура или разъём для её подключения (клавиатуру после программирования можно отключать под напряжением);
- 5 светодиодных индикаторов с высотой знака 20 мм или двухстрочный ЖКИ (по выбору пользователя);
- 3 светодиода индикации состояния (работа, неисправность линии частотного входа, останов агрегата).

На задней панели контроллера имеются:

- разъёмы питания 220 В, ввода-вывода сигналов, интерфейса RS-485, а также разъём для подключения внешнего генератора;
- тумблер для переключения частотного входа от датчика на внешний генератор.

Основой контроллера является плата цифрового измерителя частоты DFM-1F3C, разработанная в компании ПРОСОФТ-Системс на базе цифрового сигнального процессора с фиксированной точкой Analog Devices ADSP-2181-KS133 (тактовая частота 33 МГц). Плата имеет внешнюю энергонезависимую память для хранения уставок и архивных данных. Сторожевой таймер обеспечивает перезагрузку системы в случае «зависания». Непосредственное измерение частоты осуществляется на аппаратном уровне программируемой логической матрицей.

Программное обеспечение разработано на языках C и Assembler с использованием интегрированной среды разработки VisualDSP ++3.0.

Проверка и калибровка комплекса

Подключив внешний генератор импульсов к соответствующему разъёму контроллера или преобразователя и пе-

реключив тумблер в режим «Генератор», можно проверить работоспособность устройств комплекса. При аналогичных условиях проводится калибровка, которая выполняется согласно имеющейся в комплекте поставки методике.

Основные преимущества

1. Контроллер имеет функцию расчёта ускорения.
2. Использована современная элементная база, обеспечивающая высокие метрологические и надёжностные характеристики.

3. Программное задание нескольких параметров позволяет использовать комплекс для широкого круга задач (в частности, в качестве локомотивного скоростемера с дополнительной функцией расчёта расстояний).
4. Комплекс может иметь искробезопасное исполнение при включении в его состав блока барьеров искробезопасности.
5. Датчик МЭД-1 является первым отечественным датчиком с использованием двух дифференциально включённых элементов Холла и по своей стойкости к перенапряжению и магнитному полю промышленной частоты превосходит известные зарубежные аналоги, имея при этом существенно меньшую стоимость (например, цена МЭД-1 в 2,4 раза меньше, чем у датчиков A5S08 и A5S09 фирмы BRAUN).

Внедрение

Проведены испытания тахометрического комплекса МТ-1 с целью утверждения типа средств измерения.

Пять таких комплексов эксплуатируются на Среднеуральской ГРЭС.

На основе контроллера МТ1-1 и датчиков МЭД-1 создан трёхканальный

электронный автомат безопасности паровых турбин ЭПЗ-800.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в данной статье разработки по своим техническим характеристикам могут успешно конкурировать с соответствующими зарубежными аналогами, обладая при этом существенно меньшей стоимостью.

Постоянно развивающаяся элементная база открывает широкие возможности для создания новых и усовершенствования имеющихся приборов и систем неразрушающего контроля.

В ближайших планах фирмы:

- усовершенствование аппаратной части магниторезистивного дефектоскопа с применением новых чувствительных элементов и более совершенных средств обработки информации, в частности, цифровых сигнальных процессоров;
- испытание и внедрение разработанного интеллектуального вихретокового датчика абсолютной вибрации;
- усовершенствование датчика относительной вибрации с использованием интегральных акселерометров.

Автор считает необходимым сообщить, что инициаторами работ по созданию описанных в статье устройств и систем для неразрушающего контроля были сотрудники компании ПРОСОФТ-Системс Махов В. Н. и Елов А. И., а непосредственный и важнейший вклад в их разработку и изготовление внесли Варавкин А.В., Васильев А.П., Голов Е.М., Кияков А.Н., Ломаков Д.Б., Лопаткин Б.В., Решетов А.Л., Соколов А.П., Тузанкин С.В., Худяков С.В., Шишков О.Л.

Особую благодарность за поддержку и советы при подготовке материалов данной статьи автор выражает работникам Северского трубного завода Остафийчуку И.Г., Богдановичу Б.Н., Сабурову С.П., а также сотруднику Среднеуральской ГРЭС Кобылкину С.Я. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. IMAQ™ Vision for G. Reference Manual (Part Number 321379B-01). —USA: National Instruments Corporation, 1997.

Автор — сотрудник инженерной компании ПРОСОФТ-Системс

Телефон/факс:

(343) 376-2820/2830

Web: www.prosoftsystems.ru

E-mail: info@prosoft.ural.ru