



Новая продукция компании «Прософт-Системы» для неразрушающего контроля изделий и агрегатов

Павел Галаган

В данной статье представлены новые изделия, предназначенные для решения актуальной задачи неразрушающего контроля. Приведены их технические характеристики, показаны функциональные, коммутационные, конструктивные особенности, особо выделены преимущества перед аналогами и более ранними моделями. На примерах внедрения показаны области возможного применения представленных изделий.

Компания «Прософт-Системы» продолжает работы по созданию аппаратуры неразрушающего контроля агрегатов [1]. В 2005 году выпущены новые изделия, в том числе три новых датчика, не имеющих отечественных аналогов.

Трёхкомпонентный интеллектуальный акселерометр ИВД-3

Этот датчик предназначен для работы в системах вибродиагностики и виброзащиты турбоагрегатов, насосов, электродвигателей и другого оборудования. Он производит измерение параметров вибрации по 1, 2, 3 взаимно перпендикулярным направлениям, может работать как интеллектуальный выключатель оборудования (датчик-реле).

Датчик преобразует механические колебания основания в сигналы следующих видов:

- токовый сигнал, пропорциональный мгновенному значению ускорения;
- цифровой сигнал среднеквадратического значения (СКЗ) виброскорости;
- дискретные сигналы, выдаваемые при достижении пороговых значений виброскорости.

Датчик имеет несколько вариантов исполнения (табл. 1), которые формируются за счёт установки соответствующих комплектующих и прошивки ПЗУ: вариант ИВД3-х предназначен

для решения контрольно-защитных и диагностических задач одновременно, вариант ИВД3-х-Ц — только для контрольно-защитных задач, вариант ИВД3-х-В является датчиком-реле.

Конструктивно датчики выполнены в виде моноблока (рис. 1) с кабелем для внешних соединений и имеют в максимальной комплектации 5 миниатюрных функциональных плат: две платы с чувствительным элементом фирмы Analog Devices (рис. 2), аналоговую плату, плату микроконтроллера и плату дискретных сигналов. В минимальной комплектации имеется 3 платы: одна плата с чувствительным элементом, аналоговая плата, плата преобразователя.

Дискретный сигнал обеспечивает срабатывание реле с управляющим напряжением 24 В и током до 100 мА. Цифровые величины передаются по

интерфейсу RS-485 (протокол ModBus RTU). В исполнении ИВД3-х-В интерфейсная линия сохраняется и используется для изменения уставок.

Датчик производит:

- генерацию сигналов в виде напряжения и тока, пропорциональных ускорению по каждой пространственной оси;
- 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 внутренней шины в интерфейс RS-485;
- дистанционно программируемое технологическое конфигурирование сетевого адреса и скорости обмена;

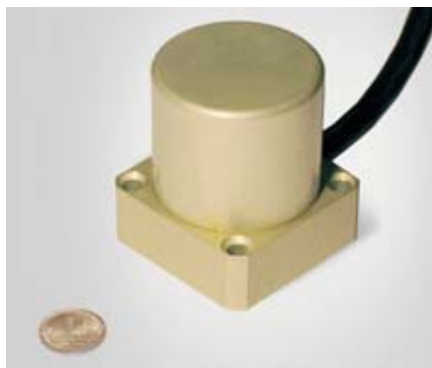


Рис. 1. Общий вид вибродатчика ИВД-3



Рис. 2. Платы с чувствительными элементами в датчике ИВД-3

Таблица 1

Варианты исполнения датчика ИВД-3

Вариант исполнения	Обозначение датчика	Количество осей чувствительности по ускорению	Характеристика выходного сигнала
1	ИВД3-1	1	Токовый сигнал (мгновенное значение ускорения), 1 канал
			Цифровой сигнал (СКЗ виброскорости)
2	ИВД3-1-Ц	1	Цифровой сигнал (СКЗ виброскорости)
3	ИВД3-1-В	1	Два дискретных сигнала, выдаваемых при достижении пороговых значений виброскорости
4	ИВД3-2	2	Токовый сигнал (мгновенное значение ускорения), 2 канала
			Цифровой сигнал (СКЗ виброскорости)
5	ИВД3-2-Ц	2	Цифровой сигнал (СКЗ виброскорости)
6	ИВД3-2-В	2	Три дискретных сигнала, выдаваемых при достижении пороговых значений виброскорости
7	ИВД3-3	3	Токовый сигнал (мгновенное значение ускорения), 3 канала
			Цифровой сигнал (СКЗ виброскорости)
8	ИВД3-3-Ц	3	Цифровой сигнал (СКЗ виброскорости)
9	ИВД3-3-В	3	Четыре дискретных сигнала, выдаваемых при достижении пороговых значений виброскорости

Таблица 2

Основные технические характеристики датчика ИВД-3

Наименование параметра	Величина
Диапазон цифрового измерения виброускорения, м/с ²	До 50
Диапазон цифрового измерения виброскорости, мм/с	До 70
Диапазон токового сигнала виброускорения, мА	±20
Диапазон токового сигнала виброскорости, мА	±20
Частотный диапазон изменения вибропараметров, Гц	10...1000
Основная погрешность измерения вибропараметров во всём частотном диапазоне, %	Не более 5
Основная погрешность измерения вибропараметров на базовой частоте 160 Гц, %	Не более 1
Частота обновления выходной информации, Гц	10
Период усреднения выходного параметра, с	1
Время установления рабочего режима, с	Не более 10
Напряжение питания, В	10-30
Ток потребления (без дискретных сигналов), мА	Не более 60
Степень защиты оболочки	IP67
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85
Масса, кг	0,2
Габаритные размеры корпуса, мм	55×50×50

- хранение параметров настройки в энергонезависимой памяти;
- стабилизацию внешнего питания и защиту от переполюсовки и импульсных перенапряжений.

Датчик обеспечивает дистанционный ввод заводского номера, а также величин предупредительной и аварийной уставок. В датчике предусмотрен режим «Тест», задаваемый программно с верхнего уровня; в этом режиме производится автоматическая проверка всех каналов, от чувствительного элемента до микроконтроллера.

Дискретный сигнал при вибрации, превышающей предупредительную уставку, выдаётся по каждому каналу. Если вибрация по одному каналу превышает аварийную уставку, выдаётся один дискретный сигнал.

Материал корпуса — алюминиевый сплав типа Д16. Степень защиты оболочки — IP67.

Основные технические характеристики датчика ИВД-3 приведены в табл. 2.

Преимущества

- Наличие кодовой связи.
- Дистанционная установка тарировочного коэффициента, сетевого адреса и скорости обмена для каждого датчика.
- Высокие эксплуатационные характеристики, достигаемые за счёт конструктивных решений и использования надёжной элементной базы, высокостойкой к внешним воздействующим факторам.
- Отсутствие дополнительных выносных блоков (согласующих усилителей и приёмных блоков), определяющее меньшую по сравнению с традиционными вибросистемами стоимость и возможность внедрения виброконтроля в широкий круг агрегатов и систем управления.
- Работа датчика в режиме интеллектуального выключателя.
- Возможность решения защитной и диагностической задач одним датчиком.

Цифровой вибродатчик ИВД-2

Датчик ИВД-2 тоже предназначен для работы в системах вибродиагностики и виброзащиты турбоагрегатов, насосов, электродвигателей и другого оборудования с самоконтролем температуры в процессе эксплуатации. Датчик производит одновременные измерения относительных перемещений

объектов из электропроводящих материалов, как статических, то есть зазора между торцом чувствительной части датчика и поверхностью объекта или осевого сдвига, так и динамических, то есть амплитуды виброперемещения объекта относительно датчика. Также датчик производит измерение температуры в районе торца



Рис. 3. Токовихревой датчик ИВД-2 и приспособление для калибровки измерения зазора

Датчик представляет собой единую конструкцию (рис. 3), объединяющую гильзу с чувствительным элементом (катушкой индуктивности на её торце) и корпус, в котором установлены максимум 3 миниатюрные функциональные платы: аналоговая плата, плата

микроконтроллера и плата дискретных сигналов. Плата микроконтроллера и плата дискретных сигналов датчиков ИВД-2 и ИВД-3 унифицированы. Гильза по заказу выполняется разной длины. В зоне катушки индуктивности размещается также температурный чувств-

Таблица 3

Варианта исполнения датчика ИВД-2

Вариант исполнения	Обозначение датчика	Характеристика выходного сигнала
1	ИВД2	Токовый сигнал (мгновенное значение зазора/осевого сдвига)
		Токовый сигнал (мгновенное значение перемещения)
		Цифровой сигнал (СКЗ зазора/осевого сдвига)
		Цифровой сигнал (СКЗ перемещения)
		Цифровой сигнал (температура)
2	ИВД2-Ц	Цифровой сигнал (СКЗ зазора/осевого сдвига)
		Цифровой сигнал (СКЗ перемещения)
		Цифровой сигнал (температура)
3	ИВД2-В	Два дискретных сигнала, выдаваемых при достижении пороговых значений зазора/осевого сдвига
		Два дискретных сигнала, выдаваемых при достижении пороговых значений перемещения
		Один дискретный сигнал, выдаваемый при достижении порогового значения температуры

вительный элемент, который позволяет измерять температуру подшипника скольжения одновременно с измерением радиального зазора и биения вала.

Датчик имеет несколько вариантов исполнения (табл. 3), которые формируются за счёт установки соответствующих комплектующих и прошивки ПЗУ: вариант ИВД2 предназначен для решения контрольно-защитных и диагностических задач одновременно, вариант ИВД2-Ц — только для контрольно-защитных задач, вариант ИВД2-В является датчиком-реле (в этом случае интерфейсная линия сохраняется и используется для изменения уставок).

Датчик производит:

- генерацию вихревых токов в металле объекта;
- преобразование изменения мощности генератора в напряжение, пропорциональное зазору/осевому сдвигу и виброперемещению;
- частотную фильтрацию сигнала, обеспечивая рабочий частотный диапазон;
- аналого-цифровое преобразование, а также расчёт зазора и виброперемещения;
- сравнение величины измеряемого параметра с уставками и формирование предупредительного и аварийного кодов состояния;
- преобразование внутреннего интерфейса в интерфейс RS-485;
- выдачу дискретных сигналов на внешние исполнительные устройства (реле) при превышении заданных уставок величины измеряемого параметра;
- дистанционно программируемую калибровку выходной величины;
- хранение параметров настройки в энергонезависимой памяти;

- стабилизацию внешнего питания и защиту от переплюсовки и импульсных перенапряжений.

Помимо перечисленного датчик обеспечивает возможность дистанционного программируемого конфигурирования сетевого, заводского адресов и скорости обмена.

Основные технические характеристики датчика приведены в табл. 4.

Высокие метрологические характеристики достигаются особым способом калибровки и использованием возможностей микроконтроллера. Например, для калибровки измерения зазора используется приспособление на базе микрометра (рис. 3) и технологическая программа ConfigIVD2. Процедура калибровки состоит из нескольких операций и производится на образце из стали заказной марки. Образец в виде диска установлен на винте микрометра и так подводится к торцу датчика, чтобы последовательно выставить 8 определённых

зазоров. При каждом зазоре в программу вводится измеряемое датчиком напряжение, строится интерполяционная кривая (рис. 4). Кривая разбивается на 768 поддиапазонов «зазор — напряжение», эти поддиапазоны вводятся в память датчика как таблица. Далее при измерении зазора каждому измеренному напряжению из этой таблицы сопоставляется конкретная величина зазора, датчик выдаёт её цифровое значение.

Схожим образом производится калибровка измерения виброперемещения с использованием вибростенда (рис. 5).

Преимущества

- Наличие кодовой связи.
- Дистанционная установка тарифовочного коэффициента, сетевого и заводского адреса и скорости обмена для каждого датчика.
- Высокие эксплуатационные и метрологические характеристики, достигаемые за счёт конструктивных решений, использования надёжной элементной базы, высокостойкой к внешним воздействующим факторам, и особых способов калибровки.

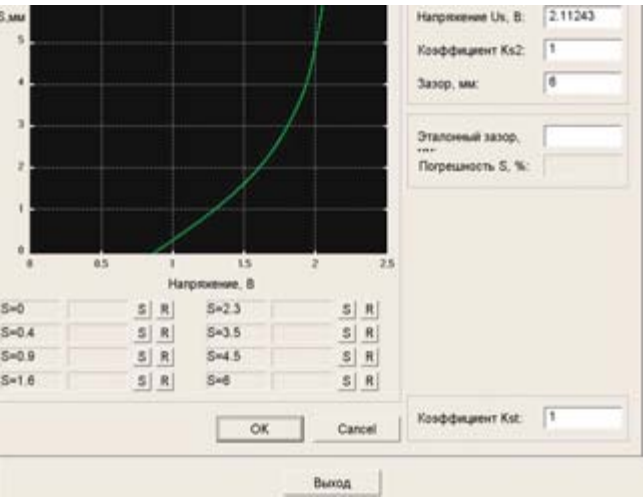


Рис. 4. Окно технологической программы с интерполяционной кривой



Рис. 5. Вибростенд с приспособлением для калибровки измерения виброперемещения датчиком ИВД-2



Рис. 6. Мелкомодульное зубчатое колесо

Таблица 4

Основные технические характеристики датчика ИВД-2

Наименование параметра	Величина
Диапазон измерения зазора/осевого сдвига, мм	От 0 до 6,0
Диапазон измерения виброперемещения, мкм	От 10 до 800
Диапазон токового сигнала зазора, мА	± 20
Диапазон токового сигнала виброперемещения, мА	± 20
Частотный диапазон изменения зазора, Гц	0...1,5
Частотный диапазон изменения виброперемещения, Гц	10...1000
Основная погрешность измерения зазора во всём частотном диапазоне, %	Не более 2
Основная погрешность измерения виброперемещения во всех диапазонах амплитуд и частот, %	Не более 8
Частота обновления выходной информации, Гц	10
Период усреднения выходного параметра, с	1,2
Время установления рабочего режима, с	Не более 10
Напряжение питания, В	10-30
Ток потребления (без дискретных сигналов), мА	Не более 60
Степень защиты оболочки	IP67
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+80
Масса, кг	0,4
Габаритные размеры корпуса, мм	$\varnothing 52 \times 76$
Габаритные размеры гильзы, мм	M12x54...51

- Отсутствие дополнительных выносных блоков (согласующих усилителей и приёмных блоков), определяющее меньшую по сравнению с традиционными вибросистемами стоимость и возможность внедрения виброконтроля в широкий круг агрегатов.
- Работа датчика в режиме интеллектуального выключателя.
- Возможность измерения температуры подшипника скольжения одновременно с измерением радиального зазора и биения вала.

Датчик тахометрический МЭД-2

Датчик тахометрический МЭД-2 предназначен для бесконтактного преобразования вращения зубчатого колеса в последовательность импульсов тока прямоугольной формы.

Его отличительной особенностью является чувствительность к мелкозубым зубьям толщиной свыше 0,6 мм. На рис. 6 показано колесо с толщиной зуба 0,8 мм.

Конструктивно датчик выполнен в виде моноблочного корпуса с экранированным кабелем во фторопластовой оболочке или с выводами в виде отдельных проводов. На концах жил кабеля (на выводах) устанавливаются разъемы в соответствии с пожеланиями заказчика. Исполнение корпуса — тоже по желанию заказчика.

На рис. 7 показаны общий вид тахометрического датчика МЭД-2 и плата

преобразователя датчика МЭД-2. В данном случае датчик выполнен в корпусе, аналогичном корпусу датчика МИД-ДУ300/400 «Турбоквант». Части корпуса изготовлены из титанового сплава и нержавеющей стали, внутри установлена плата преобразователя с чувствительным элементом и постоянным магнитом.

Преобразователь реализует следующие функции:

- преобразование магнитного поля рассеивания мерительной шестерни в токовый сигнал;
- стабилизацию напряжения питания и защиту от перенапряжения и переплюсовки.

Датчик имеет два исполнения: двухпроводное и трёхпроводное.

Свойства чувствительного элемента обуславливают помехозащищённость датчика, несоизмеримо более высокую, чем у обычного магнитоиндукционного датчика, что имеет решающее значение в системах коммерческого учёта жидких продуктов. Материалы и конструкция датчика гарантируют его работоспособность в среде воды, масла, нефти.

Датчик имеет исполнение **1Ex mq IIC T6** и сертифицируется с этой же маркировкой взрывозащиты.

Основные технические характеристики датчика приведены в табл. 5.

Таблица 5

Основные технические характеристики датчика МЭД-2

Наименование параметра	Величина
Верхний уровень двухпроводного датчика, мА	14
Нижний уровень двухпроводного датчика, мА	7
Верхний уровень трёхпроводного датчика, мА	20
Нижний уровень трёхпроводного датчика, мА	0
Частотный диапазон, Гц	0...10000
Стойкость датчика к промышленным электромагнитным полям, А/м	До 300
Время установления рабочего режима, с	Не более 1
Напряжение питания двухпроводного датчика, В	10-30
Напряжение питания трёхпроводного датчика, В	18-30
Ток потребления, мА	30
Степень защиты оболочки	IP67
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+80
Масса и габаритные размеры корпуса	В зависимости от заказного исполнения

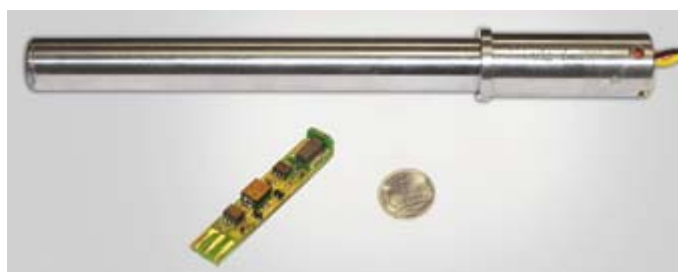


Рис. 7. Общий вид тахометрического датчика МЭД-2 и сборки преобразователя датчика МЭД-2

Преимущества

- Чувствительность к мелкозубым зубьям толщиной свыше 0,6 мм.
- Стойкость датчика к промышленным электромагнитным полям до 300 А/м.
- Взрывобезопасное исполнение.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АНАЛОГОВЫЙ МТ1-2 (МОДИФИЦИРОВАННЫЙ)

Компания выпускает тахометрический комплекс МТ-1 для измерения скорости вращения валов, имеющих зубчатое мерительное колесо из ферромагнитного материала. Комплекс описан в [1] и состоит из тахометрического датчика МЭД-1, контроллера МТ1-1 и преобразователя аналогового МТ1-2.

Произведена модификация преобразователя МТ1-2, расширяющая его возможности. Теперь он преобразует сигнал произвольной формы (не только прямоугольной, но и, например, квазисинусоидальной) любого тахометрического датчика в один частотный сигнал и два сигнала постоянного тока, выдаваемых на прибор заказчика, а также обеспечивает при необходимости питание датчика. Частотный выход преобразователя выдаёт импульсы тока прямоугольной формы с уровнями 4...20 или 0...20 мА, частота линейно

Основные технические характеристики модифицированного преобразователя МТ1-2

Наименование параметра	Величина
Амплитуда сигнала магнитоиндукционных датчиков, В	От 0,2 до 12
Частотный диапазон преобразователя, Гц	2...10000
Уровни выходного тока, мА	0...20/4...20
Пределы допускаемой основной погрешности аналоговых каналов при использовании прецизионного генератора, %	Не более 0,2
Время установления рабочего режима, с	Не более 5
Напряжение питания, В	24
Ток потребления, мА	Не более 250
Степень защиты оболочки	IP66
Диапазон рабочих температур, °С	-25...+55
Масса, кг	0,5
Габаритные размеры корпуса, мм	240×120×90



Рис. 8. Общий вид модифицированного преобразователя МТ1-2



Рис. 9. Разрезное зубчатое колесо для измерения скорости вращения вала

зависит от скорости вращения зубчатого измерительного колеса из ферромагнитного материала. Аналоговый выход преобразователя выдаёт два сигнала в виде постоянного тока 4...20 или 0...20 мА, величина сигнала линейно зависит от скорости вращения зубчатого колеса.

Внутри корпуса преобразователя (рис. 8) размещена печатная плата с электрорадиоизделиями и клеммниками с пружинными контактами под сечения провода от 0,08 до 2,5 мм². Корпус крепится на DIN-рейку или на монтажную панель. Вибростойкость преобразователя позволяет устанавливать его вблизи агрегатов.

Уровни выходных сигналов и номиналы напряжений питания датчиков выставляются переключателями на плате преобразователя.

Преобразователь может быть проверен на работоспособность при помощи внешнего генератора, имеет защиту от перенапряжения и переполосовки.

Основные технические характеристики преобразователя приведены в табл. 6.

Преимущества

- Возможность подключения тахометрического датчика с сигналом произвольной формы.
- Наличие двух выходных сигналов постоянного тока, линейно зависящих от скорости вращения зубчатого колеса, и одного выходного сигнала прямоугольной формы, частота которого тоже линейно зависит от скорости вращения зубчатого колеса.

КОЛЕСО ЗУБЧАТОЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА АГРЕГАТА

Данное колесо предназначено для замены зубчатых колёс, которые используются для измерения скорости вращения вала агрегата и должны иметь большой срок эксплуатации.

В настоящее время в длительной эксплуатации находится огромное количество зубчатых колёс, с помощью которых измеряется скорость вращения вала агрегата. Зачастую такие колёса находятся в плохом состоянии: забиты поверхности зубьев, увеличен посадочный зазор. Эти факторы уменьшают точность измерения скорости вращения вала.

С целью повышения точности измерений компания разработала и производит на высокоточных станках колёса для замены зубчатых колёс, находя-

щихся в длительной эксплуатации. Колесо выполняется как цельным, так и разрезным, последнее облегчает его установку на вал. Посадочный и наружный диаметры, ширина венца — по требованию заказчика. Зуб прямой, число зубьев любое. Погрешность шага зубьев — не более 1 угловой минуты. Накопленная ошибка шага составляет менее $D_H \cdot 10^{-4}$, где D_H — наружный диаметр колеса.

На рис. 9 представлено разрезное колесо с 60 зубьями, предназначенное для турбины паровой ПТМ-250-25-13/4.

Компания может производить колёса с числом зубьев, кратным 8, для компенсации накопленной ошибки шага с помощью современных микроконтроллерных устройств.

ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ

- Датчики ИВД2-Ц, ИВД3-Ц проходят опытную эксплуатацию в системе контроля шахтных вентиляторов производства завода «ВЕНКОН». Система разработана ООО «Ингортех» (г. Екатеринбург).
- Датчик МЭД-2 эксплуатируется производственным кооперативом «Помощь» (г. Тюмень) на образцовой установке для тарировки расходомеров узлов учёта нефти.

- Преобразователь МТ1-2 эксплуатируется на турбогенераторе № 1 Среднеуральской ГРЭС в системе с индукционным датчиком ППТ, миллиамперметром и индикаторным блоком ИЦТ-1, входящими в комплект турбины.

- Разрезное образцовое колесо установлено на турбине ПТМ-250-25-13/4 котельной города Всеволожска и эксплуатируется в составе системы, состоящей из тахометрического датчика МЭД-1 и контроллера МТ1-1.

Автор выражает благодарность Вавракину А.В., Голову Е.М., Елову А.И., Лопаткину Б.В., Соколову А.П., Тузанкину С.В., внесшим непосредственный вклад в разработку и изготовление описанных в статье изделий, а также Хайбуллиной Е.Ф. за предоставленные фотографии. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Галаган П. Устройства и системы для неразрушающего контроля изделий и агрегатов// Современные технологии автоматизации. 2005. № 1.

Автор — сотрудник инженерной компании «Прософт-Системы»
Телефон/факс: (343) 376-2820/2830
Web: www.prosoftsystems.ru
E-mail: info@prosoftsystems.ru