

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

О. В. Шишов

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»
Тел. (834-2) 29-06-23. E-mail: olegshishov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается определение интеллектуальных датчиков, типовые функции таких датчиков в системах промышленной автоматизации, примеры и тенденции их развития. Раскрываются возможности интеллектуальных датчиков, определяемые стандартом IEEE 1451 и спецификацией TEDS – электронной спецификацией данных преобразователя (электронным паспортом датчика).

Ключевые слова: промышленная автоматизация; интеллектуальные датчики; электронный паспорт датчика.

Для управления сложными техническими объектами (процессами) с динамично изменяющимся состоянием нужны распределенные компьютерные системы, способные решать задачи в высоком темпе реального времени. При создании распределенных систем акцент делается на развитие и применение распараллеливаемых интеллектуальных методов управления, распределенных вычислений и интеллектуальной обработки информации. Сегодня это касается и низового уровня управления. Интеллектуальными узлами систем управления являются уже не только промышленные компьютеры и контроллеры, ими становятся также датчики и исполнительные устройства.

Действительно, сложные, функционально насыщенные системы сбора и обработки технологической информации требуют применения датчиков, способных на что-то еще помимо выдачи сообщений об уровне сигналов или просто о включении-выключении элементов оборудования. Совершенствование современных электронных устройств обусловлено, в первую очередь, высокими темпами развития микроэлектроники. Непрерывное снижение стоимости микропроцессорных элементов и стремительный рост их функциональных возможностей позволяют встраивать эти чипы во все меньшие по размерам изделия. Именно с изменением элементной базы электронных устройств обработки сигналов первичных преобразователей связано появление нового поколения датчиков – получивших название интеллектуальных.

Термин «интеллектуальные» употребляют в узком смысле по отношению к устройствам, которые за счет использования в них переработки информации приобретают новые функциональные возможности. Интеллект у датчиков, как и у людей, проявляется в самых различных формах. Задача специалиста по автоматизированным системам – выбрать нужное «умное» устройство.

Своим интеллектом датчики обязаны микропроцессорным технологиям. Микропроцессор – это мозг датчика, позволяющий устройству «изучать» условия, в которых оно работает. Являясь самообучающейся микропроцессорной системой, такой датчик способен обрабатывать большие объемы информации с высокой скоростью. Именно благодаря микропроцессорам сегодня у пользователя есть весьма удобные в установке, настройке и применении датчики.

Попробуем перечислить более конкретно, какими функциональными возможностями наделяют разработчики устройства, которые можно отнести к классу интеллектуальных датчиков (ИД).

1. *Компенсация основных и дополнительных погрешностей.* Выделяются три вида компенсации:

- компенсация нелинейности;
- компенсация влияний температуры;
- компенсация изменений во времени, вызванная деградацией первичного преобразователя.

При этом, как правило, удается в несколько раз уменьшить основную и дополнительную погрешность. Интеллектуальный датчик способен самостоятельно подстраиваться под усло-

вия эксплуатации и непрерывно регулировать свою работу в целях достижения максимальной эффективности.

2. *Оценка достоверности данных.* Возможность обрабатывать данные не только выходного сигнала, но и дополнительных параметров первичного преобразователя, позволяет проводить непрерывную диагностику, отслеживая неисправности и делая выводы о достоверности измерений. В диагностику входит контроль стабильности объекта и состояния сенсора, а также отслеживание слишком слабого сигнала, предупреждающего об опасности полного отказа датчика. Пользователи получают возможность автоматического обнаружения обрывов провода, коротких замыканий, неверных настроек, отказов датчиков и модулей. Алгоритмы диагностики первичных преобразователей, естественно, зависят от их конструкции.

3. *Возможность передачи данных на цифровой интерфейс связи.* Сокращение аналоговых линий и передача информации в цифровой форме позволяют обеспечить независимость метрологических характеристик канала измерения от внешних линий связи и устройств передачи данных. Такой подход устраняет необходимость в аналого-цифровых преобразователях на уровне контроллера, облегчает реализацию гальванической развязки в каждом канале. Одной из привлекательных характеристик интеллектуальных датчиков является возможность подключать к одному кабелю (последовательному каналу) несколько датчиков и свести к минимуму количество проводных линий связи, а в итоге добиться большей надежности системы автоматизации, сократить сроки ее разработки, упростить обслуживание.

4. *Расширенные возможности связи.* Важнейшим аспектом внедрения интеллектуальных датчиков является расширение интерфейса. Применение цифровых интерфейсов позволяет обеспечивать двухстороннюю связь датчика с пользователем для гибкого управления: перенастройки, калибровки, конфигурирования и диагностики на расстоянии. Удаленное конфигурирование включает в себя такие функции, как настройка на объект, выбор режима. Возможность перенастройки приводят к унификации устройств, к тому, что несколько разных датчиков заменяются прибором одной модели, что дает преимущество как в их производстве, так и в стоимости обслуживания.

5. *Осуществление всего комплекса цифровой обработки сигнала первичного преобразователя.* Это позволяет передавать сигнал непосредственно в физических величинах, т. е. в удобном представлении, использовать управляемый объем выборки для уменьшения влияния случайных составляющих, оценивать временные и спектральные составляющие сигнала первичного преобразователя, осуществлять цифровую фильтрацию с управляемой полосой частот, выбирать оптимальное окно быстрого преобразования Фурье при спектральном анализе.

Рассмотрение этих функциональных возможностей позволяет сделать еще один вывод. Интеллектуальные датчики могут существенно отличаться от того, что мы привыкли понимать под понятием датчик. Сегодня это скорее специализированные контроллеры, которые получая сигнал от первичного преобразователя (сенсора) тут же занимаются его обработкой и способны делиться информацией с другими интеллектуальными узлами системы автоматизации по цифровым каналам. Единственно, что их продолжает «роднить» с обычными датчиками, да и то не всегда, это небольшие размеры, т. к. они должны устанавливаться непосредственно на объекте

Приведем примеры существующих и по-настоящему функционально насыщенных датчиков. Перечисление широкого спектра их возможностей должно продемонстрировать, что дает применение микропроцессорной техники на этом уровне систем автоматизации. Рассмотрение приведенных примеров.

В настоящее время на российском рынке к рассматриваемому классу устройств можно отнести серию датчиков давления ДД415 (ООО «Общемаш»), которые совмещают в себе функции прецизионного измерения давления и непосредственного управления локальными переменными объекта (процесса). Измеряемые среды: жидкость, пар, газ. Датчики этой серии (рис. 1) обеспечивают непрерывное преобразование в унифицированный токовый и/или цифровой выходной сигнал для дистанционной передачи следующих измеряемых величин:

- избыточного давления;
- абсолютного давления;
- разрежения;
- давления-разрежения;
- разности давлений;
- гидростатического давления.



Рис. 1. Датчик давления ДД415

Кроме основной функции контроля текущего значения измеряемого давления и преобразования в выходной токовый сигнал, используемая схемотехника позволяет:

- осуществлять непрерывную самодиагностику;
- осуществлять удобный контроль и настройку параметров датчика с помощью кнопочной клавиатуры и ЖК-индикатора;
- осуществлять оперативную установку «нуля»;
- одновременную индикацию текущего давления в установленных единицах и в процентах от диапазона в цифровом и шкальном виде;
- производить перенастройку вида выходного аналогового сигнала с 0–5 В на 4–20 мА и обратно;
- включение/выключение цифрового интерфейса RS-485;
- выдачу аналогового сигнала одновременно с цифровым выходом;
- обеспечить восемь пределов перенастройки;
- производить настройку на «смещенный» предел измерения;
- производить выбор зависимости выходного токового сигнала от входной величины (линейно-возрастающая, линейно-убывающая, пропорциональная корню квадратному перепада давления);
- производить настройку времени усреднения выходного сигнала;
- производить выбор системы измерения (СИ, СГС).
- производить регистрацию и хранение информации в виде трендов (графиков) с шагом от 1 минуты до 3 часов или по событию превышения или занижения заданного уровня давления;
- осуществлять управление исполнительными устройствами по двухпозиционному закону (твердотельное реле, открытый коллектор);

В процессе работы датчик непрерывно анализирует сопротивление измерительного моста, а также значение полученного выходного сигнала, определяя достоверность данных и сигнализируя о нештатных ситуациях и возможных причинах неисправностей на жидкокристаллическом индикаторе. К достоинствам приборов данной серии стоит отнести возможность перенастройки датчика в базовом исполнении на любой стандартный аналоговый и/или цифровой выходной сигнал, а также выбор системы измерений.

Интеллектуальные датчики температуры моделей 3144 и 3244MV принадлежат к известному семейству SMART FAMILY интеллектуальных приборов фирмы Rosemount. Датчик модели 3144 является датчиком, работающим с одним сенсором. Датчик модели 3244MV может одновременно принимать входные сигналы от двух сенсоров.

Микропроцессорная электроника позволяет этим датчикам работать с термосопротивлением, термопарой, омическим и милливольтowymi входами при одной и той же настройке электроники. Кроме того, для каждого датчика указывается окружающая температура, используемая при работе, чтобы гарантировать максимальную точность датчика и минимизировать дрейф в широком диапазоне рабочих температур.

Датчик обменивается цифровой информацией с коммутатором и системой управления на базе протокола HART (Highway Addressable Remote Transducer) без прерывания выходного сигнала.

Тип сенсора и конфигурация могут быть выбраны программным образом с клавиатуры коммутатора HART. Кроме того, пользователь может выбрать наиболее удобную шкалу для считывания показаний в технических единицах: Омах, милливольтах, градусах Фаренгейта, Цельсия, Рэнкина или миллиамперах.

Модуль электроники состоит из электронной платы в герметичном корпусе. Электронные схемы оцифровывают входной сигнал от сенсора и корректируют его с помощью коэффициентов коррекции, выбираемых из энергонезависимой памяти. Выходной блок электроники преобразует цифровой сигнал в выходной сигнал 4–20 мА и поддерживает связь с коммутатором HART или управляющей системой фирмы Fisher-Rosemount. Дополнительно можно заказать жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), который вставляется в электронный модуль и показывает цифровой выходной сигнал в технических единицах (°F, °C, °R, К, Ом, милливольты), процентах или миллиамперах, выбранных пользователем.

Программное обеспечение датчиков позволяет производить тестирование и конфигурирование датчиков с помощью коммутатора HART, системы управления фирмы Fisher-Rosemount или любого другого хост-компьютера, который поддерживает коммуникационный протокол HART. Конфигурирование состоит из настройки следующих рабочих параметров датчика:

- тип сенсора;
- число выводов сенсора;
- точки 4 и 20 мА;
- демпфирование;
- выбор технических единиц.

Кроме перечисленных конфигурационных параметров, программное обеспечение датчиков 3144 содержит параметры, которые не могут быть изменены пользователем: тип датчика, пределы сенсора и версия программного обеспечения.

Значительное улучшение точности измерения температуры может быть реализовано, если в датчик ввести константы из калибровочных характеристик конкретного применяемого термосопротивления и сгенерировать в датчике специальную характеристическую кривую, которая бы соответствовала кривой данного сенсора. Эти константы могут быть запрограммированы при изготовлении, а также введены или изменены произвольное число раз в полевых условиях при помощи коммутатора HART.

Следующим примером интеллектуальных датчиков является датчик температуры ТСТ11 компании ТЕКОНИК (рис. 2). Он предназначен для измерения температуры различных газообразных, сыпучих и жидких сред. ТСТ11 измеряет температуру с помощью чувствительного элемента, преобразует измеренную температуру и выдает ее значение в цифровом коде по последовательному интерфейсу RS-485.



Рис. 2. Датчик температуры ТСТ11

Основным достоинством датчиков ТСТ11 является возможность их работы в составе распределенной системы АСУ ТП на основе единой полевой сети RS-485. В такой сети могут одновременно работать до 255 устройств, поддерживающих протокол T4000, например, модули аналогового и дискретного ввода-вывода для контроллеров серий МФК и ТКМ компании ТЕКОНИК.

Использование ТСТ11 позволяет повысить точность измерений и получить существенную экономию на монтажных работах. Значительно облегчается создание систем температурного контроля в случаях, когда затруднена прокладка кабельных трасс для традиционных датчиков.

Выпускаются четыре модификации датчика, отличающиеся диапазоном измеряемых температур. Конструктивно ТСТ11 не отличается от привычных температурных датчиков на основе термопреобразователей сопротивлений или термопар.

Основные технические характеристики:

- последовательный интерфейс для передачи информации – RS-485 (протокол T4000);
- скорость обмена – от 1 200 до 115 000 бит/с;
- количество датчиков в одной сети – до 255;
- данные могут передаваться в следующих форматах:
 - инженерные единицы – значение температуры, представленное в виде числа с плавающей точкой. Значение +99 999. используется, если обнаружен обрыв канала.
 - условные единицы – коды, приведенные к температурному диапазону (диапазону измеряемой величины), код 0 соответствует минимальной границе диапазона, код 16 383 – максимальной границе диапазона. Измерения продолжают (если это возможно) за диапазоном в пределах – 1 024... 17 408. Значение 0x9 999 используется, если обнаружен обрыв канала.
 - проценты: 0 % – минимальная граница диапазона, 100 % – максимальная граница. Значение +999.99 используется, если обнаружен обрыв канала.
- наличие встроенного программного фильтра (апериодическое звено или ограничения по скорости нарастания сигнала);
- подавление симметричной помехи нормального вида промышленной частоты 50 Гц и амплитудой до 300 мВ;
- поправочные коэффициенты для корректировки показаний;
- напряжение питания – 24 В +/- 10 %;

- потребляемая мощность – не более 0,5 Вт;
- степень защиты от воздействия воды и пыли – IP65 по ГОСТ 14254;
- датчик ТСТ11 устойчив к воздействию следующих климатических и механических факторов:
 - температура окружающего воздуха от – 40 до +55 °С;
 - относительная влажность окружающего воздуха от 5 до 95 % при температуре +30 °С;
 - атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;
 - вибрация для частот от 5 до 9 Гц с амплитудой смещения 3,5 мм;
 - вибрация для частот от 9 до 150 Гц с ускорением 10 м²/с.

Рассмотрим еще один пример сферы интеллектуализации датчиков.

Одной из областей применения индуктивных бесконтактных переключателей (датчиков положения с релейным выходом) являются штамповальные прессы. Бесконтактные переключатели неплохо справляются с задачей определения наличия детали в рабочей зоне. Однако нередко круг связанных с производственным процессом проблем включает не только простое обнаружение детали. Системе управления может потребоваться информация, к примеру, о том, та ли деталь подана, либо о том, находится ли деталь в рабочей зоне полностью или частично. Решить подобные задачи можно с и помощью бесконтактных переключателей, но более полезны здесь будут устройства с аналоговым выходом. При соответствующей обработке из аналогового сигнала можно извлечь массу полезной информации, например, о профиле детали.

Еще большими возможностями здесь смогут обладать фотоэлектрические датчики. Например, информация о том, та ли деталь подана в рабочую зону прессы может считываться по штрих-коду, о том правильно ли деталь подана в рабочую зону можно судить по изменению аналогового сигнала с выхода датчика.

Большой интерес при использовании интеллектуальных фотоэлектрических датчиков вызывает возможность программирования уставок. Значительная доля связанных с фотоэлектрическими датчиками проблем обусловлена оседанием на объективах этих устройств пыли и грязи, что приводит к уменьшению освещенности чувствительных элементов. Встроенный микропроцессор способен непрерывно контролировать освещенность, сравнивая ее с эталонным значением. По достижении освещенностью некоторой пороговой величины микропроцессор сигнализирует обслуживающему персоналу о необходимости чистки объективов.

Таким образом, работы по интеллектуализации датчиков ведутся достаточно широко. Задача производителей датчиков и контрольно-управляющей аппаратуры заключается, таким образом, в разработке соответствующего инструментария, обеспечивающего внедрение новых сенсорных технологий. Примером такой деятельности сегодня, являются усилия групп разработчиков стандартов IEEE 1451. Работа ведется в рамках института IEEE и Американского национального института стандартов и технологий и нацелена на содействие распространению интеллектуальных преобразователей и упрощение их интеграции.

Стандарты IEEE 1451 призваны упростить задачу подключения преобразователей (устройств, объединяющих в себе датчик и исполнительный механизм) как к измерительным приборам, так и к сетям. Этой цели разработчики собираются достичь путем определения набора единых для всех преобразователей интерфейсов, в том числе и механизмов функционирования самонастраивающихся датчиков.

Прежде всего, эти стандарты закрепляют уже устоявшиеся понятия. Так интеллектуальные датчики определяются стандартом IEEE 1451 как датчики, которые выполняют функции сверх необходимых для формирования правильного представления, отображения и передачи измеряемой величины. К таким функциям относится не только измерение, нормализация и коррекция сигнала, но и самотестирование, а также цифровой интерфейс. Отличительной особенностью ИД является цифровая обработка сигнала непосредственно с выхода первичного преобразователя. Это гарантирует высокую точность и стабильность его характеристик во всех допустимых диапазонах измерений, а также низкую чувствительность к внешним помехам. Полевая шина позволяет одновременно с результатами измерения передавать данные для диагностики и мониторинга. Цифровая обработка сигнала и возможность модернизации программного обеспечения, позволяют реализовать различные функции преобразования контролируемых величин, с дальнейшим совершенствованием характеристик и выполняемых функций датчика. Передача измеренной величины происходит по последовательному каналу связи (интерфейс RS-485, протокол Modbus-RTU) в цифровом коде. Ввод сигнала в автоматических системах управления технологическими процессами на промышленных компьютерах

может осуществляться через стандартный COM-порт, или через шину USB. Максимальная протяженность линии связи может достигать 1 500 метров и зависит от количества датчиков в сети, типа применяемого кабеля и скорости передачи данных. Наличие модификаций с выходным сигналом 4–20 мА и 0–5 В позволяет использовать ИД в составе систем сбора информации с аналоговыми каналами или для замены аналоговых датчиков.

Стандарт IEEE 1451.1-1999 «Network Capable Application Processor Information (NCAP) Model» определяет единую объектную модель для подключаемых к сети интеллектуальных преобразователей и содержит спецификации интерфейсов.

В стандарте IEEE 1451.2-1997 «Transducer to Microprocessor Communication Protocol and TEDS Formats» определен цифровой двухточечный интерфейс для подключения модуля интеллектуального преобразователя с цифровым выходом к микропроцессорному сетевому адаптеру. Кроме того, в стандарте IEEE 1451.2 впервые появилась концепция TEDS (Transducer Electronic Data Sheet – электронная спецификация данных преобразователя или электронный паспорт датчика – ЭПД). Обеспечивающие самоидентификацию встроенные спецификации TEDS, являются, пожалуй, наиболее популярными компонентами и ключевыми элементами всего семейства IEEE 1451.

Стандарт IEEE P1451.3 определяет цифровую многоотводную шину преобразователя, рассчитанную на подключение большого числа физически разделенных датчиков.

В IEEE 1451.4 описывается механизм поддержки аналоговыми датчиками режима работы с самоописанием. Этот смешанный интерфейс состоит из традиционного аналогового канала для передачи данных датчика и недорогого последовательного цифрового канала, по которому осуществляется доступ в электронный паспорт датчика TEDS, который находится на самом датчике. С помощью этих данных датчик определяется и передает свои «паспортные» характеристики системе сбора данных, к которой он подключен.

Стандарт IEEE P1451.1 определяет смешанный интерфейс (рис. 3), в котором, наряду с обычным сигналом аналогового датчика, используется недорогой цифровой канал доступа к электронной спецификации TEDS, встроенной в датчик в целях самоидентификации. В обычном режиме работы выходной сигнал такого датчика является аналоговым. При поступлении от пользователя специальной команды датчик начинает передавать цифровую информацию. Передача цифровых данных осуществляется по той же паре проводников, при помощи которой подается напряжение питания и которая используется для передачи выходного высококачественного аналогового сигнала. По окончании цифровой передачи линия связи вновь подключается к аналоговым выходным цепям датчика.

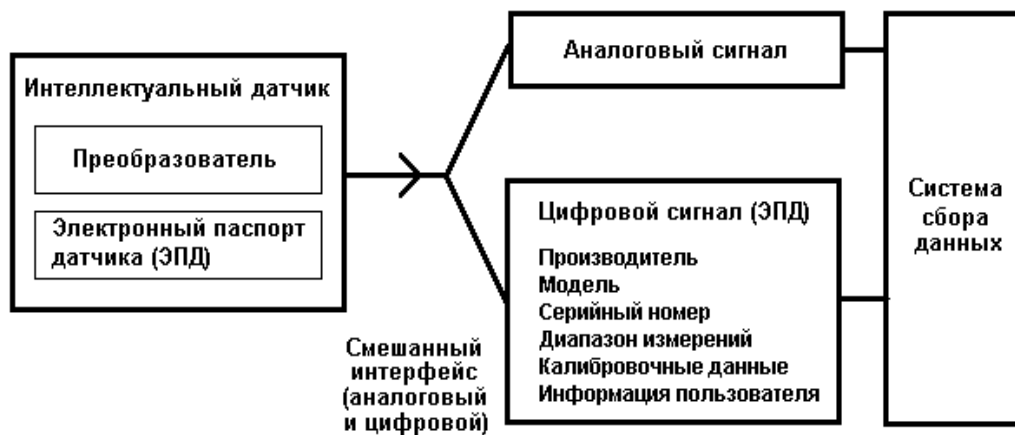


Рис. 3. Смешанный интерфейс TEDS-датчиков

Реализация этого стандарта позволит отказаться от традиционной практики учета использования датчиков, а также существенно снизить приходящиеся на один канал удельные затраты, связанные со сбором данных, их проверкой и анализом в многоканальных испытательных системах, применяющихся в промышленных и лабораторных условиях.

Стандартом IEEE 1451.4 определен следующий состав содержащейся в спецификации TEDS информации:

Постоянная память (ПЗУ):

- идентификатор производителя,

- код модели,
- серийный номер,
- дата выпуска,
- код типа.

Перепрограммируемая память (ППЗУ):

- калибровочные данные (чувствительность),
- единицы измерения,
- эталонная частота,
- дата калибровки,
- прочая информация,
- код местоположения датчика,
- частота среза фильтра нижних и верхних частот,
- история обслуживания,
- примечания.

Предназначенные только для чтения данные записаны в ПЗУ цифровой микросхемы. Другие параметры хранятся в перепрограммируемой памяти (ППЗУ) чипа.

Реализация системного подхода с TEDS (ЭПД) дает следующие возможности и преимущества.

Раньше настройка систем сбора данных требовала ручного ввода параметров датчика, таких как схема подключения, диапазон и чувствительность или предварительного прописывания всех этих данных в программе. Эти данные использовались для математического преобразования исходных показаний датчика в отмасштабированные технические единицы. Система, оборудованная интеллектуальным датчиком, автоматизирует этот процесс, считывая его параметры по цифровому каналу с чипа ЭПД.

Спецификация TEDS позволяет реализовать автоматическое конфигурирование датчика и упростить его согласование с другой электронной аппаратурой. Т. к. вся информация о датчике хранится в TEDS-памяти встроенной микросхемы, то отпадает необходимость в создании отдельной базы данных, предназначенной для хранения калибровочной информации. Текущие калибровочные данные загружаются в TEDS-память (ППЗУ) встроенной микросхемы при калибровке датчика.

В процессе развертывания обычной системы с множеством датчиков значительная доля непроизводительно затрачиваемого времени приходится на сопоставление серийных номеров датчиков с номерами соединительных кабелей и на проверку правильности всех соединений. В случае проведения подобных проверок человеком по мере возрастания числа каналов возрастает и число ошибок.

Благодаря тому, что датчики TEDS сами определяют себя в системе, Вам уже не нужно вручную следить за тем, к какому каналу подключен тот или иной датчик. В электронном паспорте датчика предусмотрен раздел для размещения пользовательской информации, куда Вы можете записывать такие данные, как физическое расположение датчика. Таким образом, при записи строки «кожух переднего подшипника двигателя» в ЭПД датчика, система сбора данных будет определять физическое расположение датчика вне зависимости от канала, к которому он подключен. Для ввода информации в TEDS-память датчика на месте можно воспользоваться удобным ручным программатором. Датчики сами определяют себя в системе и это похоже на технологию Plug&Play, применяемую в компьютерной технике.

Поскольку все характеризующие устройство параметры (чувствительность, поправочные коэффициенты и т. п.) могут записываться во встроенную TEDS-память датчики можно менять «на лету», не заботясь о внесении в систему каких-либо изменений. Интеллектуальный узел самостоятельно определит факт замены датчика и автоматически отрегулирует все необходимые характеристики (автоматическое конфигурирование).

Датчики также могут следить за своим расписанием калибровки. Поскольку электронный паспорт датчика хранит информацию о дате калибровки и сроке её действия, он может сообщать системе о необходимости повторной калибровки. При проведении калибровки вы можете занести новые данные о калибровке и сроке действия назад в микросхему электронного паспорта датчика.

SMART SENSORS IN THE SYSTEMS OF THE INDUSTRIAL AUTOMATION

O. V. Shishov

Annotation. In the article is examined the determination of smart sensors, the standard functions of such sensors in the systems of industrial automation, examples and trends of their development. Are revealed the possibilities of smart sensors, determined by standard IEEE 1451 and specification TEDS - by electronic specification of data of converter (by electronic passport of sensor).

The keywords: industrial automation; smart sensors; the electronic passport of sensor.