

## HART-ПРОТОКОЛ И ДРУГИЕ КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РОССИИ

Т.Л. Корнова (Промышленная группа "Метран")

*Представлены основные характеристики, достоинства и недостатки промышленных протоколов нижнего уровня автоматизации, используемых в настоящее время в России: AS-i, CAN, DeviceNet, Interbus, LON, Profibus-PA, Foundation Fieldbus H1. Подробно рассмотрен протокол HART. Приведены режимы работы, организация физического, канального и прикладного уровней, а также схемы взаимодействия приборов и аппаратуры с применением HART-протокола.*

Вы замечаете, как все чаще знакомые вещи постепенно приобретают "дополнительные" функции? В телефон встроена записная книжка, в телевизоре есть функция будильника, автомобиль оснащен сигнализацией, а в стиральной машине можно запрограммировать несколько режимов. Развитие микропроцессорной техники позволило встроить интеллект в окружающие нас предметы, затрагивая все области человеческой деятельности.

В промышленной автоматизации в связи с удешевлением вычислительных мощностей микропроцессоры проникают на самый нижний уровень — в полевые устройства, превращая их в интеллектуальные. Каждое интеллектуальное устройство (датчик, исполнительный механизм) может накапливать, хранить и выдавать информацию о том, где и кем оно было изготовлено, приобретено и установлено, о рабочих характеристиках, результатах диагностики и т.д. Это стало возможным с появлением цифровых промышленных сетей связи. Идеология "интеллектуальных устройств" становится частью практически любой продукции в сфере промышленной автоматизации.

Человек, принимающий решение об автоматизации ТП или замене устаревшего оборудования, нередко задается вопросами: "Какие приборы необходимы?", "Как организовать их связь с системой управления?" и "Какую технологию выбрать?" Однозначно технология должна соответствовать принципам открытых систем, которые подразумевают возможность совместной работы приборов от различных производителей, наличие разнообразных устройств от ряда независимых поставщиков, а также возможность их замены аналогичными устройствами от других производителей.

Сегодня на рынке промышленных сетей существует несколько десятков открытых протоколов — HART, Foundation Fieldbus, Profibus, Interbus, CAN, LON, As-i, ControlNet и др. Так как не существует одной совершенной технологии, всегда будет несколько возможных решений. Коммуникационные стандарты для промышленных предприятий не могут быть созданы по принципу "один подходит всем". Каждый из них — это лишь инструмент, который имеет свои области применения.

Сравнение технологий неизбежны, особенно при попытке выбрать подходящее для конкретного производства решение. Классификация протоколов позволит вам сделать правильный выбор. В зависимости

от области использования весь спектр промышленных сетей можно разделить на три уровня.

1. Сети датчиков — протоколы для взаимодействия контрольно-измерительных приборов и контроллеров/систем ввода/вывода. К этой группе относятся такие протоколы, как AS-i, CAN, DeviceNet, Interbus, LON, Profibus-PA, Foundation Fieldbus H1 и HART.

2. Сети контроллеров — протоколы, используемые для соединения систем ввода/вывода данных, контроллеров, операторских станций и систем оперативного управления. К этой группе относятся такие протоколы, как BACnet, ControlNet, Foundation Fieldbus HSE, Modbus, Profibus-FMS и Industrial Ethernet.

3. Сети промышленных предприятий — протоколы для административного уровня, системы управления производством (локальные и глобальные вычислительные сети) [1].

Рассмотрим сети самого нижнего уровня автоматизации — сети датчиков и исполнительных механизмов.

### AS-i (Actuator Sensor Interface)

AS-i разработана консорциумом европейских производителей средств автоматизации в 1993 г. Является самой простой промышленной шиной и применяется в небольших системах с устройствами дискретного ввода/вывода.

#### Основные технические характеристики

Структура сети .....	шина, звезда, кольцо или дерево
Максимальное число узлов, ед .....	31
Каждое устройство имеет входов/выходов .....	по 4 ед.
Размер сообщений, бит .....	8 (по 4 входящих/исходящих)
.....	на сообщение для одного устройства
Длина шины, м .....	≤100
Длина шины с ретрансляторами, м .....	≤300
Процедура доступа к шине .....	"ведущий/ведомый"
Скорость передачи, Кбит/с .....	167
Максимальная задержка в сети, мс .....	5
Физическая среда передачи .....	плоский неэкранированный
.....	двухпроводный кабель
Подача питающего напряжения .....	по сетевому кабелю
Чувствительность к электромагнитным и радиопомехам .....	отсутствует

Основными достоинствами данного протокола являются простота, дешевизна, высокое быстродействие, простое подключение и подача питающего напряжения по сетевому кабелю.

К недостаткам можно отнести ограниченные размеры сети и малые возможности для объединения устройств аналогового ввода/вывода.

AS-i применяется в сборочных, сварочных и транспортировочных агрегатах, конвейерных систе-

мах. Используется для подключения датчиков приближения, фотоэлементов, концевых выключателей, пневматических вентилях и индикаторов, а также для датчиков, устанавливаемых на подвижных частях механизмов.

Поддерживающая организация: AS-I Trade Organization.

### CAN (Controller Area Network)

CAN была создана компанией Bosch в начале 1980-х гг. для обеспечения надежности коммуникации между датчиками и исполнительными механизмами в автомобилях. Впоследствии эта технология стала применяться и в других отраслях промышленности.

Сам по себе CAN — это всего лишь низкоуровневый протокол обмена сообщениями. Для превращения его в полнофункциональный сетевой протокол необходим дополнительный программный уровень.

#### Основные технические характеристики

Структура сети	шина (моноканал)
	с терминаторами на концах
Число узлов на сегменте, ед.	до 127
Длина шины, м:	
при скорости передачи 1 Мб/с	≤40
при скорости передачи около 5 Кбит/с	≤1000
Физическая среда передачи	витая пара, силовые линии
	электропередачи, радиоканал,
	оптоволокно, коаксиальный кабель
Скорость передачи, Мбит/с:	
на длине 40 м	1
на длине 10 м	1,6
Режим передачи	последовательная асинхронная,
	возможность работы нескольких главных устройств
Задержка сигнала, мкс.	<120 (для 1 Мбит/с).

К достоинствам CAN относится разнообразие элементной базы, механизм обнаружения ошибок, устойчивость к электромагнитным помехам, возможность поддержки разнотипных физических сред передачи данных.

Недостатком является ограниченные показатели пропускной способности, размера и длины соединений; большое число разработок прикладных уровней CAN, несовместимых друг с другом.

Область применения: 80% всех выпускаемых микросхем с CAN-интерфейсом приходится на автомобильную промышленность, оставшиеся 20% распределяются на медицинское оборудование, морскую электронику, банковское оборудование для работы с кредитными картами, торговые автоматы. Протокол нашел применение и в промышленной автоматике, где имеется большое число устройств управления, механизмов и электроприводов, которые связаны единым технологическим циклом (системы отопления и кондиционирования, насосы, конвейеры, лифты, эскалаторы, транспортеры).

К настоящему времени известно уже более 40 CAN-протоколов высокого уровня. Наибольшее распространение получили: CAL/CANopen, CAN Kingdom, DeviceNet и SDS (Smart Distributed System).

Поддерживающая организация: международная ассоциация потребителей и производителей CAN in Automation.

### DeviceNet

Протокол DeviceNet разработан и опубликован в 1994 г. компанией Allen-Bradley. Основу протокола составляет технология CAN.

#### Технические характеристики

Структура сети	шина с отводами
Длина шины, м	100...500
Физическая среда передачи	4-х проводной кабель
Скорость передачи данных, Кбит/с	125, 250 и 500
Максимальное число узлов, ед.	64
Максимальный размер сообщения, байт	8 на
	сообщение для одного узла
Способы взаимодействия устройств	по схеме
	ведущий/ведомый, мультимастерный, равноправный
Питание устройств	от сетевого кабеля
Применение нескольких источников питания в любой точке шины	допускается

Достоинством DeviceNet является дешевизна, простота установки, эффективное использование пропускной способности, возможность изменения конфигурации без выключения системы и подача питающего напряжения по сетевому кабелю.

К недостаткам относятся ограниченные размер сообщений и длина соединения.

DeviceNet применяется в сборочных и транспортировочных агрегатах, используется в фото- и термодатчиках, стартерах, считывателях штриховых кодов, элементах ЧМИ: клавиатуре, дисплейных панелях и т.д. Особенно широкое распространение данная шина получила в автомобильной и полупроводниковой отраслях промышленности.

Поддерживающая организация: Open DeviceNet Vendor Association Inc.

### Interbus

Interbus разработана компанией Phoenix Contact в 1984 г. Считается одной из ведущих технологий в области организации промышленной связи на уровне датчиков.

#### Основные технические характеристики

Структура сети	физическое и логическое кольцо
Длина шины на сегмент, м	400 (в сумме до 13 км)
Физическая среда передачи	две витые пары
	(для режима дуплекс) и дополнительный провод
	для передачи сигнала "логическая земля"
Максимальное число узлов, ед.	256
Скорость передачи, Кбит/с	500 (возможна до 2 Мбит/с)
Размер сообщения, байт данных на узел	512
Процедура доступа к шине	по схеме "ведущий/ведомый"

Основными достоинствами данной шины являются расширенные диагностические возможности, малое время отклика, рациональное использование пропускной способности и подача напряжения питания (для устройств ввода) по сетевому кабелю.

Недостатком является то, что сбой любого соединения приводит к отказу всей сети, а также ограни-

ченные возможности по передаче данных большого объема.

Interbus применяется в системах освещения и климатического контроля, конвейерных линиях, упаковочных и транспортировочных агрегатах. Может применяться вместе с подсетями SensorLoop и AS-I.

Поддерживающая организация: ассоциация "INTERBUS Club".

### LON

LON (Local Operating Network) разработана американской компанией Echelon для создания систем автоматизации жизнеобеспечения жилых и промышленных зданий. В основе LON-технологии лежит использование специального интерфейсного Neuron-кристалла.

#### Технические характеристики

Структура сети	произвольная топология
	(шина, звезда, кольцо, множественные соединения)
Длина шины при, м:	
произвольной топологии	500...1400
соединении в "линию"	2000
Физическая среда передачи	витая пара, радиоканал,
	инфракрасный луч, линии напряжения,
	коаксиальный или оптический кабель
Число узлов, ед	64
Максимальная размерность LON-сети, узлов	32000
Диапазон возможных скоростей передачи	4,88 Кбит/с...1,25 Мбит/с
Наиболее часто используемые скорости	78 Кбит/с, 1,25 Мбит/с
Время реакции, мс	10...20

Достоинством технологии LON является свободная топология сети, которая позволяет оптимально сконфигурировать систему, число узлов в сети практически неограниченно.

Недостатком является то, что устройства, разработанные для одной топологии, из-за отсутствия универсальных трансиверов нельзя использовать для другой, а также ограниченные возможности по передаче данных большого объема.

Технология LON используется при построении систем жизнеобеспечения зданий (освещение, отопление, вентиляция, кондиционирование, системы охраны), в телекоммуникациях, транспортировке, автоматизации ТП, а также в других областях, где требуется децентрализованное измерение, управление и наблюдение.

Поддерживающая организация: ассоциация LONMark.

### Profibus-PA

Технология Profibus (PROcess Field Bus) появилась на свет благодаря усилиям группы немецких компаний: Bosch, Siemens и Klockner-Moller в 1989 г. и строится на совокупности трех отдельных протоколов Profibus-FMS, Profibus-DP и Profibus-PA. На полевого уровне сеть поддерживают два вида протоколов: Profibus-DP для быстрой коммуникации интеллектуальных приборов с контроллерами; Profibus-PA, который используется для тех же целей во взрывоопасных зонах.

#### Технические характеристики

Структура сети	линия, дерево
Число узлов на сегмент без повторителей, ед	32
	(всего до 127)
Длина соединения, км	0,1 ... 1,9 (без повторителей)
Физическая среда передачи	экранированная и
	неэкранированная витая пара, оптический кабель
Скорость передачи	9,6 Кбит/с... 12 Мбит/с
	(расстояние 1200...100 м соответственно)
Доступ к шине	эстафетное маркерное кольцо
	с режимом доступа "ведущий/ведомый"
Размер сообщения для одного узла, байт	≤246

Достоинствами протокола является минимальное время реакции, высокая стойкость к воздействию внешних электромагнитных полей и передача питания по сетевому кабелю. Вместе версии DP, FMS и PA удовлетворяют требованиям подавляющего большинства систем автоматизации.

К недостаткам протокола можно отнести относительно высокие накладные расходы при передаче коротких сообщений, а также необходимость подключать PA-устройства через специальные повторители.

Profibus применяется в крупных сборочных агрегатах, механизмах транспортировки материалов и дельта, подходит для построения распределенных систем сбора данных и управления. Данная шина позволяет осуществлять однокабельное соединение многовходных блоков датчиков, пневматических вентилях и сложных интеллектуальных устройств. Технология Profibus-PA используется в химической и нефтехимической индустрии и обеспечивает использование устройств во взрывоопасных средах.

Поддерживающая организация: Profibus Trade Organization.

### Foundation Fieldbus H1

Foundation Fieldbus (FF) появился в 1994 году в результате сотрудничества двух американских ассоциаций ISP и WorldFIP. Имеет как высокую, так и низкую скорость передачи: H1 для задач управления технологическими процессами, HSE — высокоскоростная магистраль Ethernet.

#### Технические характеристики FF H1

Структура сети	шина, звезда
Максимальное число узлов, ед	240 на сегмент
	(поддерживается до 65000 сегментов)
Длина соединения, м	<1900
Физическая среда передачи	витая пара,
	оптический кабель
Скорость передачи, Кбит/с	31,25
Методы обмена сообщениями	клиент/сервер,
	издатель/подписчик, уведомление о событиях.
Размер сообщения, октетов	128

К достоинствам протокола относятся внутренняя безопасность, передача питания по сети, интегрированный подход для уровней устройств автоматики и общезаводского оборудования (протоколы H1 и H2).

К недостаткам относится ограниченный набор совместимых устройств, а также затянута процесс стандартизации и принятия в промышленности.

Foundation Fieldbus применяется в PCSY для управления непрерывными и периодическими ТП, для работы во взрывоопасных газовых средах, нефтегазопереработке.

Поддерживающая организация: Foundation Fieldbus [2].

Конечно, это далеко не полный обзор цифровых протоколов нижнего уровня автоматизации. Здесь приведены наиболее популярные в России технологии. Однако есть протокол, занимающий особое место в этом списке. Это HART-протокол, обладающий всеми преимуществами цифровых протоколов и, в то же время, используемый в существующих аналоговых системах.

### HART (Highway Addressable Remote Transducer)

Протокол HART разработан фирмой Rosemount в середине 80-х гг. Он занимает промежуточное положение между аналоговой и полностью цифровой передачей данных и широко известен, как промышленный стандарт для усовершенствования токовой петли 4...20 мА до возможности цифровой коммуникации. При этом сохраняется полная совместимость и надежность существующих аналоговых линий 4...20 мА. Для передачи цифровой информации HART-протокол использует принцип частотной модуляции.

HART построен по принципу "ведущий/ведомый", то есть полевое устройство отвечает по запросу системы. Протокол допускает наличие двух управляющих устройств: ПК управляющей системы и коммутатора. Существует два режима работы датчиков, поддерживающих обмен данными по HART-протоколу.

*Режим передачи цифровой информации одновременно с аналоговым сигналом* представлен на рис. 1. Обычно в этом режиме датчик работает в аналоговых АСУТП, а обмен по HART-протоколу осуществляется посредством портативного контроллера – HART-коммуникатора (например, Метран-650) или компьютера (например, с использованием конфигурационной программы H-Master, через HART/RS-232 модем Метран-681). При этом можно удаленно осуществлять полную настройку и конфигурирование датчика.

*В многоточечном режиме* датчик передает и получает информацию только в цифровом виде. Аналоговый выход автоматически фиксируется на минимальном значении – 4 мА (только для питания устройства) и не содержит информации об измеряемой величине. Информация о переменных процесса считывается по HART-протоколу (рис. 2).

К одной паре проводов может быть подключено до 15 датчиков. Все приборы в многоточечном режиме имеют свой уникальный адрес 1...15. Коммутатор или система управления определяет все датчики, подключенные к линии, и может работать с любым из них.

В качестве среды передачи сигнала используется кабель типа экранированная витая пара. В опасных зонах могут быть использованы барьеры искробезопасности, которые пропускают HART-сигнал.

В HART-протоколе максимальная длина кабеля связана с эквивалентным сопротивлением сети и

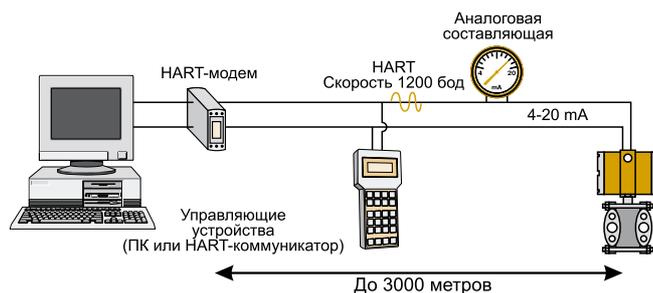


Рис. 1. Режим передачи цифровой информации одновременно с аналоговым сигналом

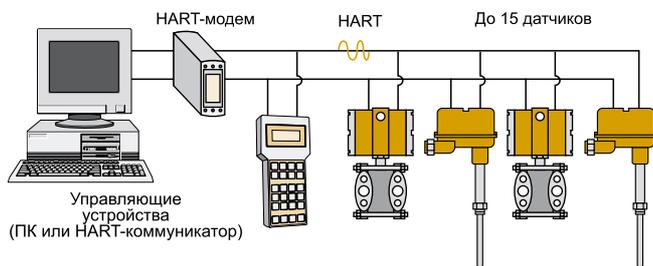


Рис. 2. Многоточечный режим работы датчиков

Таблица. Максимальная длина кабеля в многоточечном режиме (сечение кабеля 1,02 мм), км

Число приборов	65 нФ/км	95 нФ/км	160 нФ/км	225 нФ/км
1	2,8	2,0	1,3	1,0
5	2,5	1,8	1,1	0,9
10	2,2	1,6	1,0	0,8
15	1,8	1,4	0,9	0,7

максимально допустимой емкостью системы. В таблице представлена информация о максимальной длине кабеля как функции от числа приборов, подключенных к цепи и удельной емкости кабеля.

Зачастую в аналоговой АСУТП присутствует множество интеллектуальных полевых приборов, работающих в режиме совместимости с токовой петлей 4...20 мА. В этом случае удаленная настройка и конфигурирование датчиков при помощи HART-коммуникатора или модема требует последовательного подключения коммуникационного устройства к каждой линии 4...20 мА, идущей от соответствующих приборов. Для решения поставленной задачи предлагается использовать HART-мультиплексор (например, Метран-670). При таком подходе приборы продолжают передавать измерительную информацию в систему по токовому выходу 4...20 мА, а их конфигурация может быть изменена с одного цифрового выхода управляющей системы (рис. 3). При этом можно объединить в сеть около 500 приборов (например, 30 ед. 16-канальных мультиплексоров соединенных по RS-485).

Согласно семиуровневой модели взаимодействия открытых систем (модель OSI), HART-протокол реализует следующие три уровня: физический, канальный и прикладной. Физический уровень описывает характеристики сигнала и среду передачи данных. Для передачи цифровой информации HART-протокол версии 5.0 использует метод частотной модуля-

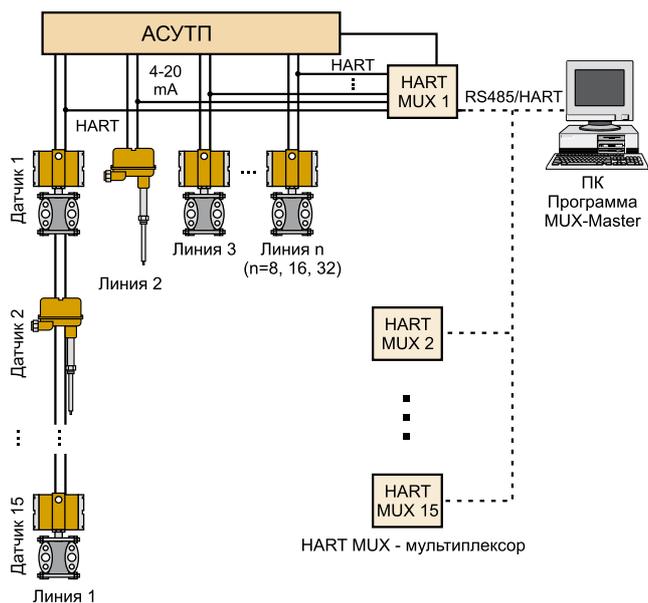


Рис. 3. Управление датчиками через мультиплексор, где линия 1 – многоточечный режим работы датчиков, линии 2, 3, ...n – режим передачи цифровой информации одновременно с аналоговым сигналом

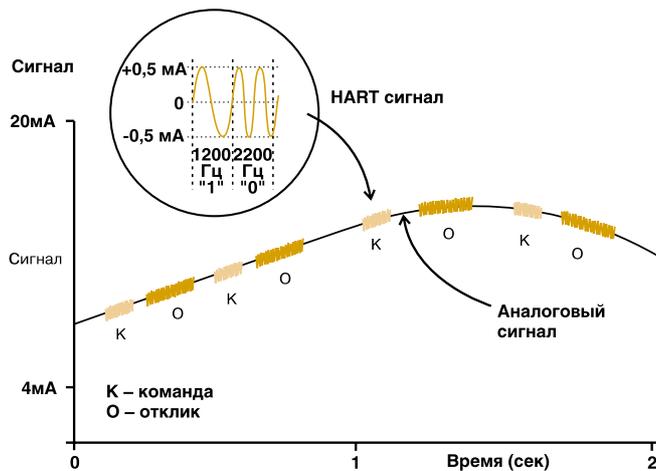


Рис. 4. Обмен данными по HART-протоколу



Рис. 5. Формат байта в HART-сообщении

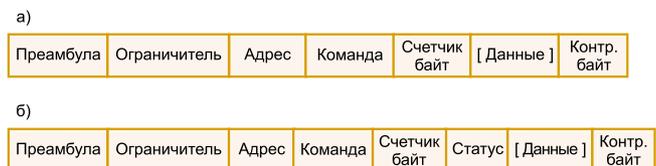


Рис. 6. Формат HART-кадра:  
а) Кадр "Управляющее устройство > Датчик";  
б) Кадр "Датчик > Управляющее устройство"

ции. В режиме тока высокочастотная HART-составляющая накладывается на аналоговый измерительный сигнал 4...20 мА.

Двоичные значения передаются со скоростью обмена данными 1200 Бод. Логическая "1" представлена одиночным циклом 1200 Гц, а логический "0" – приблизительно двумя циклами 2200 Гц [3]. Такой выбор частот для формирования сигнала и скорости передачи данных соответствует телефонному стандарту BELL 202 (кодировка сигнала методом частотного сдвига) в полудуплексной форме. HART-сигнал обеспечивает двухстороннюю цифровую коммуникацию. HART-протокол позволяет управляющей системе получить от полевого устройства 2..4 цифровых сообщения в секунду (рис. 4).

HART-сообщение кодируется как последовательность 8-разрядных байт, которые передаются с использованием стандартного UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – Универсальный Асинхронный Приемник/Передатчик). К каждому байту добавляется стартовый бит, бит четности и стоп-бит. Это позволяет принимающему устройству UART распознавать начало каждого символа и обнаружить ошибку в разрядах из-за помех. HART использует проверку на четность. Таким образом, одиночный 8-разрядный байт посылается как следующая последовательность битов (рис. 5): один начальный бит (0), восемь битов информации, один бит четности и один конечный бит (1). Бит четности верный (1), если число единиц в информационном байте четное.

Канальный уровень разделен на подуровни:

- логический контроль связи позволяет принимать сообщения;
- контроль доступа к среде определяет время обращения определенного устройства к каналу для передачи сообщения.

Обмен информацией между HART-объектами выполняется в виде кадров. Кадр ограничен комбинацией символов: преамбулой и ограничителем, которые определяют начало кадра, и полем счетчика байт, который определяет конец кадра (рис. 6). Всем кадрам, передаваемым HART-приборами, предшествует определенный набор шестнадцатеричных символов. Эти символы называются преамбулой и обусловлены задачами физического уровня для синхронизации приемника.

Все части кадра, включая ограничитель, обеспечены двойной проверкой на четность: в каждом передаваемом байте и контрольным байтом (рис. 7).

На прикладном уровне осуществляется взаимодействие с пользователем. Здесь описываются команды HART-протокола, используемые для работы с первичными HART-устройствами. Существует три типа HART-команд: универсальные, общие и специальные (рис. 8).

Универсальные команды поддерживают все полевые HART-приборы. Эти команды обеспечивают интероперабельность между продуктами от разных производителей и доступ к наиболее общей информации, оди-

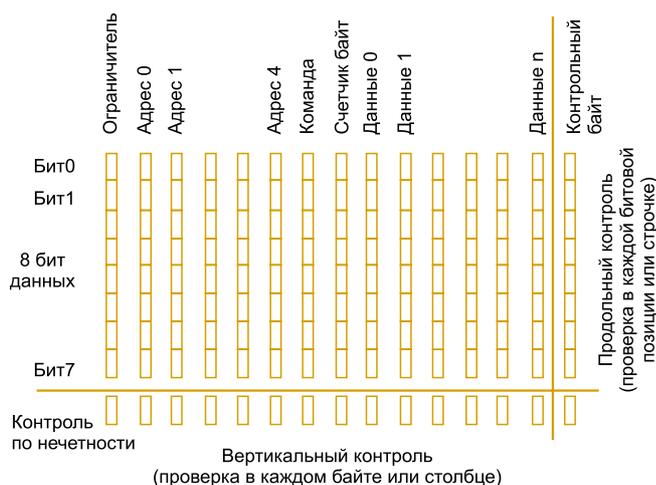


Рис. 7. Схема контроля ошибок

наковой для всех полевых приборов: переменные процесса, производитель, модель и маркировка.

**Общие команды** представляют функции, которые выполняют большое число полевых устройств. Эти команды являются необязательными. Они включают такие действия, как изменение диапазона, выбор единиц измерения и самотестирование. Обычно полевое HART-устройство поддерживает 12...15 общих команд.

**Специальные команды** различны для каждого прибора. Эти команды представляют уникальные функции устройства или способы доступа к данным и назначаются производителем.

Однако без подробного технического описания каждого полевого устройства трудно создавать ПО, использующее функции прибора в полном объеме. Эту возможность обеспечивает язык описания устройства (Device Description Language). Производители полевого оборудования применяют DDL для создания описания устройства (DD) со всеми уникальными характеристиками приборов. Таким образом, DDL-совместимая система может использовать все возможности устройства, включая поддержку специальных команд. Центральная БД всех описаний устройств поддерживается фондом HART-коммуникации (HART Communication Foundation). Таким образом, приборы от разных производителей становятся полностью совместимыми.

Для расширения возможностей протокола фондом HART-коммуникации недавно была утверждена версия протокола HART 6.0. Основным усовершенствованием этой версии является разработка нового фазомодулированного способа передачи данных, позволяющего значительно увеличить скорость обмена информацией (от двух транзакций в секунду в версии 5.0 до 12 – в версии 6.0). Новые спецификации HART 6.0 приведены в соответствии стандартам ISO (Международная организация по стандартизации) и IEC (Международная электротех-

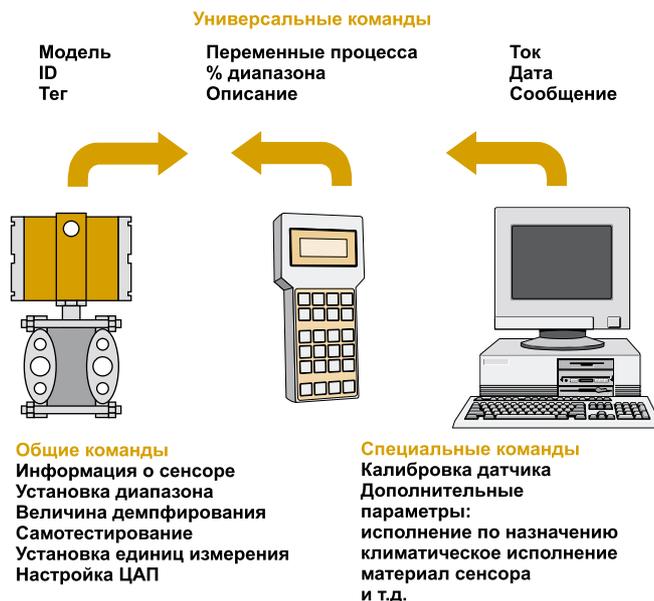


Рис. 8. Типы команд HART-протокола

ническая комиссия). Также в новой версии протокола расширен список стандартных команд. Основным требованием HART 6.0 является обеспечение обратной совместимости версий, то есть новая версия совместима с предыдущими.

Промышленная группа "Метран" – единственная российская компания, имеющая членство в фонде HART-коммуникаций. В течение последних пяти лет нами разработан и выпускается широкий спектр приборной продукции с поддержкой коммуникационного протокола HART, начиная от датчиков давления, температуры, расхода до устройств коммуникации (HART-коммуникатор, HART-модем, HART-мультиплексор) и программного обеспечения (H-Master и MUX-Master). Все производимые приборы прошли проверку на соответствие требованиям спецификаций HART-протокола, что гарантирует их полную совместимость с HART-приборами от сторонних производителей.

Использование HART-протокола для автоматизации ТП является оптимальным по стоимости и функциональности. Нет необходимости заменять существующую систему – датчики с HART можно устанавливать вместо аналоговых и использовать все преимущества цифрового обмена уже сегодня.

**Список литературы**

1. *Wally Pratt*. Evaluating fieldbus networks. // <http://www.hart-comm.org>
2. *Перри Синк*. Восемь открытых промышленных сетей и Industrial Ethernet. // <http://www.asutp.ru>
3. *Саинский И.В., Ушаков Л.В.* HART-протокол – перспективное решение для российских систем управления технологическими процессами // Датчики и системы. 2000. №11-12.

*Корнова Татьяна Львовна – менеджер по функциональной аппаратуре ПГ "Метран". Контактный телефон (3512) 41-83-52. E-mail: tatyana.kornova@metran.ru*