

Принципы построения АСУТП с использованием HART протокола

(Иван Саинский Группа компаний «ЭлМетро», Челябинск)

Введение

Коммуникационный протокол HART Field Communications широко известен в мире, как промышленный стандарт для усовершенствования токовой петли 4-20 мА до линии цифровой или интеллектуальной (smart) коммуникации. Использование этой технологии быстро расширяется, и в настоящее время все крупнейшие производители средств автоматизации используют в своих изделиях HART коммуникацию.

HART протокол был разработан компанией Rosemount в 1990 г. Спецификации по протоколу были доступны всем желающим, что сделало HART протокол открытым. В настоящее время HART протокол получил наибольшее распространение как средство коммуникации в АСУ ТП.

В отличие от других, полностью цифровых коммуникационных технологий для измерительных приборов, HART совместим с существующими аналоговыми системами. В существующих аналоговых системах 4-20 мА протокол HART обеспечивает многие преимущества, предлагаемые цифровыми протоколами fieldbus. HART протокол является значительным новшеством в возможностях измерительного процесса. Улучшенные коммуникационные характеристики этой технологии отражены в названии протокола: HART расшифровывается, как Удаленно Адресуемый Приемопередатчик (Highway Addressable Remote Transducer).

HART протокол осуществляет двухсторонний цифровой обмен между smart приборами, не влияя на аналоговый сигнал 4-20 мА. Аналоговая переменная и питание передается по петле 4-20 мА, дополнительная информация об измерениях, параметрах процесса, конфигурации прибора, калибровке и диагностике передается в цифровом формате HART по одному и тому же проводу в одно и то же время. Российские АСУТП в подавляющем большинстве являются аналоговыми, поэтому применение HART полевых приборов в таких системах в совокупности с недорогим HART коммуникатором или мультиплексором, является оптимальным и позволит использовать все преимущества интеллектуального КИП.

HART технология

Для передачи цифровой информации HART протокол использует принцип частотной модуляции (FSK): логической «1» соответствует один полный период синусоиды 1200 Гц, логическому «0» два периода синусоиды 2200 Гц, что соответствует американскому стандарту для телефонии Bell-202. Цифровой и аналоговый сигнал передаются по одной паре проводов, путем простого наложения HART на токовую петлю. Обмен сообщениями в аналоговой линии по HART протоколу представлен на рис. 1.

HART FSK сигнал обеспечивает двухстороннюю цифровую коммуникацию и дает возможность считывания дополнительной информации от датчика. HART протокол осуществляет коммуникацию при скорости 1200 бит в секунду, не прерывая сигнала 4-20 мА и позволяет управляющей системе получить два или больше цифровых сообщений от полевого устройства в секунду.

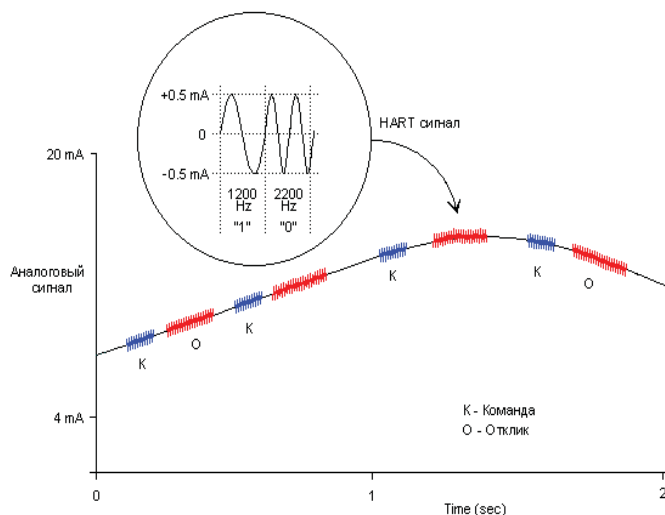


Рисунок 1 - Обмен данными по HART протоколу

HART составляющая имеет небольшую амплитуду и не влияет на аналоговый измерительный сигнал, поскольку среднее значение напряжения синусоидальной формы равно нулю. Кроме того, непосредственно перед использованием аналогового сигнала, HART составляющая может быть легко удалена из него при помощи простого фильтра нижних частот.

Важнейшим условием для успешного обмена данными по HART протоколу является значение активного сопротивления коммуникационного канала 250-1100 Ом. В противном случае, амплитуда HART

составляющей выходит за допустимые пределы и сообщения не воспринимаются ни датчиками, ни системой. Нагрузка, как правило, определяется активной составляющей входного импеданса системы или HART коммуникатора. Очень важным параметром являются реактивные составляющие импеданса HART канала, поскольку из-за них происходят задержки и затухания HART сигнала.

Таблица 1 Технические параметры протокола HART

<i>Параметры</i>	<i>HART</i>
Совместимость с токовой петлей 4-20мА	Да
Двухнаправленная цифровая коммуникация	Да
Многopараметрическая коммуникация	Да
Несколько Главных устройств в системе	Да (2)
Считывание измерительной информации по цифровому каналу	Да
Скорость передачи данных	1,2 кБод, 2,4 кБод - burs-режим
Многоточечный режим	Да
Использование во взрывоопасных зонах	Да
Максимальная протяженность линии связи	3 км
Вероятность ошибки, при условиях определенных стандартом HART	1 на 10 000 транзакций

Таблица 2 Типовая длина линий передачи HART сигнала в зависимости от типа кабеля

Использование двухпроводной линии	Неэкранированная	Экранированная витая пара, многожильный проводник	Экранированная витая пара, одножильный проводник
Сечение проводника	24 AWG/0.2 кв.мм	24 AWG/0.2 кв.мм	20 AWG/0.5 кв.мм
Длина линии	определяется внешними факторами	до 1500 м	до 3000 м

Обычно, для монтажа используется кабель типа экранированная витая пара. Экран заземляется только в одной точке, причем точка заземления обычно располагается на Первичном мастере (контроллере) или возле него. Неэкранированный кабель может быть использован, если электрические помехи в линии не влияют на качество связи (см. табл.2). Рекомендуются проводники следующих диаметров в зависимости от длины кабеля:

0,51 мм-1,38 мм – при общей длине кабеля менее 1500 м;

0,81 мм-1,38 мм – при общей длине кабеля более 1500 м;

Максимальная длина кабеля связана с эквивалентным сопротивлением сети и максимально допустимой емкостью системы и должна быть рассчитана. Максимально допустимая емкость системы нормируется и зависит активного сопротивления сети. Она может быть определена из графика представленного на рисунок 2

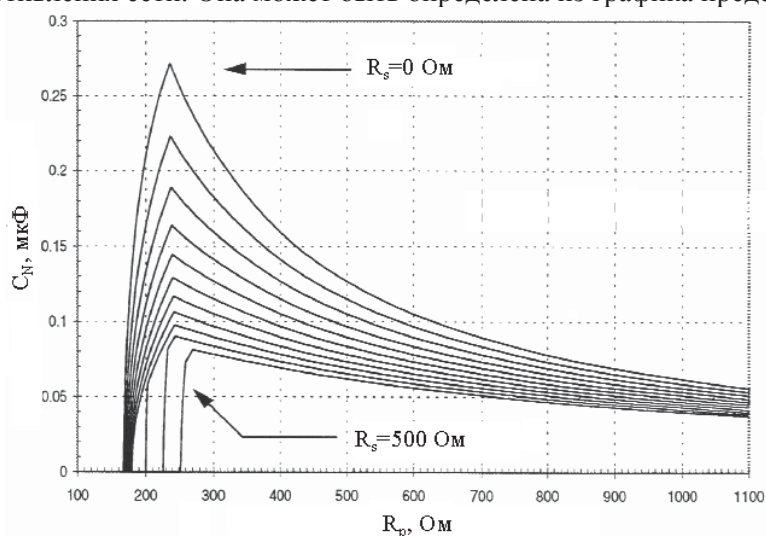


Рисунок 2 - Предельно допустимая емкость HART сети

C_N – предельно допустимая емкость сети.

Примечание – График показан с дискретностью 50 Ом.

Допустимая ёмкость системы представлена как функция от последовательного сопротивления R_s и параллельного сопротивление всех подключенных приборов R_p , где последовательное сопротивление – это

сумма последовательных сопротивлений кабеля, барьеров (искрозащитного, грозозащитного) и других возможных последовательных сопротивлений в сети.

Рассмотрим алгоритм определения допустимой длины кабеля для конкретной сети:

1) определим максимальную допустимую емкость системы, C_N по заданным R_s и R_p , используя кривые, показанные на рис.2;

2) рассчитаем емкость кабеля: $C_c = C_N - C_D$;

где C_D – суммарная входная емкость всех подключенных приборов. В качестве входной емкости каждого вторичного прибора берется большая из двух емкостей: межклеммная и емкость клемма-корпус сетевого устройства (датчика, барьера или приемного устройства);

3) рассчитаем максимальную длину кабеля по формуле: $L = C_c / K_c$,

где K_c – удельная емкость кабеля, которая выбирается из технических условий на кабель (см. табл.3.).

Рассмотрим простейший пример расчета длины линии связи HART сети:

1) Предположим в системе один. Сопротивление сертифицированного HART датчика должно быть не менее 10 кОм. Сопротивление HART линии 250 Ом пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением датчика, поэтому можно принять значение их параллельного соединения $R_p = 250$ Ом. Удельная емкость кабеля $K_c = 100$ пФ/м.

R_s определяется последовательным сопротивлением искрозащитного барьера и полного сопротивление линии связи. Как правило, сопротивление искрозащитного барьера мало по сравнению с сопротивлением линии, поэтому с учетом грубости расчета примем $R_s = 250$ Ом. По рисунку 2 находим максимально допустимую емкость системы C_N , равную 130 нФ.

2) В системе один датчик (его емкость не более 5 нФ, как любого HART датчика), емкость приемного устройства не более 10 нФ. Значит $C_D = 15$ нФ.

Ёмкость кабеля C_c будет равна:

$$C_c = 130 \text{ нФ} - 5 \text{ нФ} - 10 \text{ нФ} = 115 \text{ нФ}.$$

3) Максимальная длина кабеля = $115 / 0,1 = 1150$ м.

Более подробную информацию по расчету длин линий HART систем можно получить в компании «ЭлМетро-Инжиниринг», по контактной информации представленной на сайте www.elmetro.ru.

Таблица 3 Типовые параметры некоторых кабелей

AWG/сечение	Удельное сопротивление кабеля	Удельная емкость кабеля
14 AWG/2.09 кв.мм	18 Ом/км	150-200 пФ/м
18 AWG/0.8 кв.мм	18 Ом/км	300-420 пФ/м
24 AWG/0.2 кв.мм	178 Ом/км	75-100 пФ/м

Длина линии связи также определяется количеством приборов подключенных к линии в многоточечном режиме (см. раздел «Топологии подключения»). Многоточечный режим не рекомендуется использовать во взрывоопасных приложениях. При обычном режиме работы, в опасных зонах должны быть использованы барьеры безопасности и изоляторы, пропускающие HART сигналы.

В таблице 4 представлена информация о максимальной длине кабеля как функции от количества приборов и удельной емкости кабеля.

Таблица 4 Максимальная длина кабеля в многоточечном режиме

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

Топологии подключения

HART построен по принципу главный/подчиненный. Это означает, что Полевое (подчиненное) устройство отвечает только когда поступит запрос от Главного. Два главных (основной и вторичный) могут связываться с любыми подчиненными устройствами в HART сети. Вторичные главные, такие как переносные коммуникаторы, могут быть подключены практически к любой точке HART сети и взаимодействовать с

полевыми устройствами, не нарушая информационного обмена с Основным главным, которым обычно является компьютерная система сбора данных, мониторинга и настройки. Типичная схема включения с двумя главными показана на рис.2.

Существуют различные режимы коммуникационного обмена между интеллектуальными полевыми измерительными приборами и оборудованием центрального контроля и мониторинга. Наиболее распространена цифровая коммуникация одновременно с аналоговым сигналом 4-20 мА (Главный/Подчиненный). Этот режим, изображенный на рис.2, предоставляет собой цифровой обмен Подчиненного с Главным по запросу Главного. Аналоговый сигнал 4-20 мА может по-прежнему нести информацию о Первичной переменной.

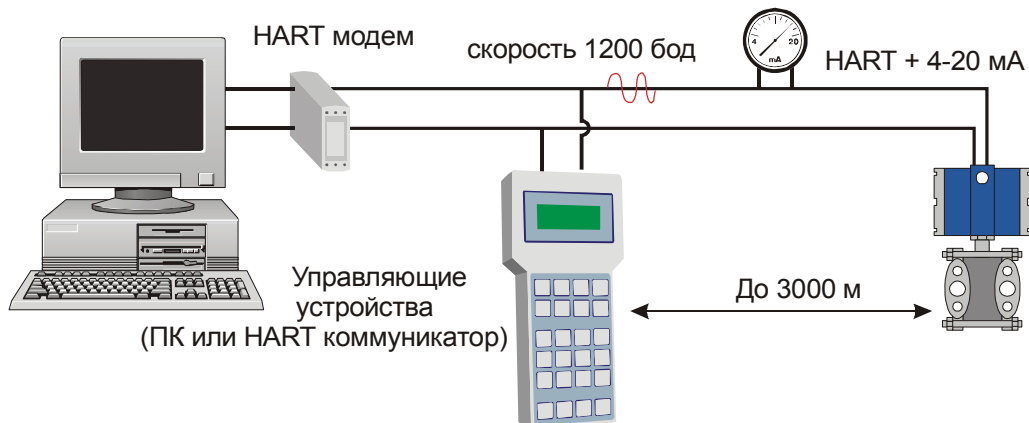


Рис.2 Схема включения с двумя Главными

"Burst" (монопольный) режим является дополнительным режимом коммуникации (рис. 3), в котором Подчиненный непрерывно передает данные об измеряемом процессе в стандарте HART. Этот режим освобождает Главное устройство от необходимости отправления повторных командных запросов для получения обновленной информации о процессе. Ответное сообщение Подчиненное устройство будет непрерывно передавать до тех пор, пока Главное не даст ему команду на выполнение другого действия. Временные промежутки между сообщениями позволяют Главному послать Подчиненному новую команду. Частота обновления данных 3-4 раза в секунду является типичной при коммуникации в режиме "burst" и меняется в зависимости от выбранной команды и объема передаваемых данных. Режим "burst" следует использовать в сетях только с одним подчиненным устройством.

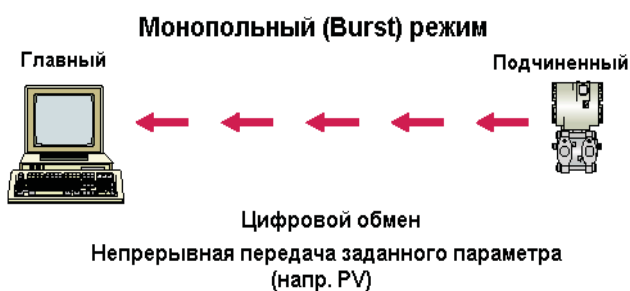


Рис. 3 Работа в монопольном режиме

Монопольный режим является необязательным к реализации, поэтому не все HART приборы поддерживают этот режим.

Кроме указанных режимов HART протокол позволяет объединять до 15 полевых устройств на одной и той же паре проводов в многоточечную сетевую структуру, как показано на рис.4. В многоточечных структурах HART коммуникация используется как полностью цифровая. Ток в петле фиксируется на минимальном значении (только питание устройства - обычно 4мА) и не содержит информации об измеряемом процессе.

При усовершенствовании системы сбора данных, в перспективе тот же провод, используемый для обычных аналоговых приборов 4-20мА, может использоваться для создания сетевой структуры с HART коммуникацией. Длина кабеля зависит от типа кабеля и количества присоединенных устройств.

Зачастую в аналоговой АСУТП присутствует множество датчиков, работающих в режиме совместимости с токовой петлей 4-20мА. В этом случае, удаленная настройка и конфигурация датчиков при помощи HART коммуникатора или модема, требует последовательного подключения коммуникатора к

каждой линии 4-20 мА, идущей от датчиков. Зачастую это неудобно, поэтому в этих рекомендуется использовать HART мультиплексор.

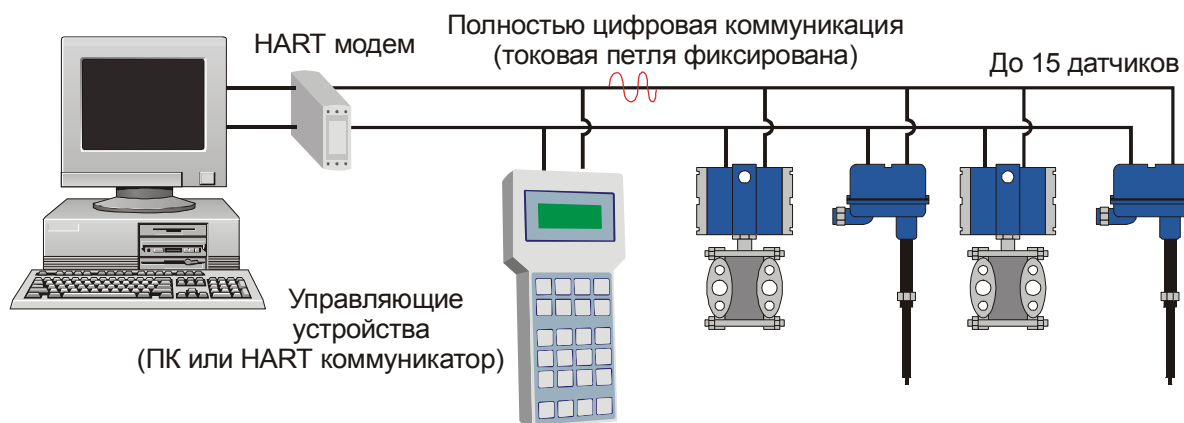


Рис. 4 Многоточечный (multi-drop) режим

Схема включения HART полевых приборов через HART мультиплексор представлена на рис.5. При таком подходе датчики передают информацию в систему по токовому выходу 4-20 мА, а все сервисные функции (калибровка, конфигурация, настройка параметров) осуществляются по каналу RS485 через HART мультиплексор. Подавляющее большинство промышленных контроллеров, предлагаемых на рынке, имеет свободно программируемый выход RS 485. Этот выход программируется для обмена по каналному и прикладному уровням HART протокола, а в качестве интерфейса физического уровня используется RS485. Практически все представленные на рынке мультиплексоры поставляются с драйверами в стандарте OPC, позволяющими их использовать в системах без дополнительного программирования контроллеров.

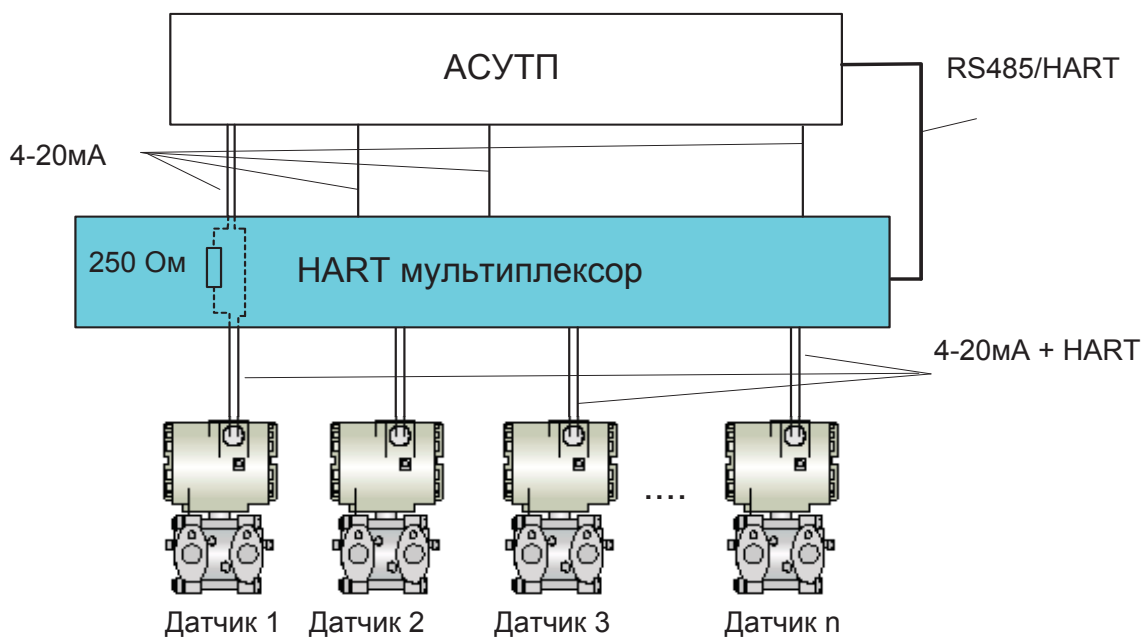


Рис.5 Включение HART полевых приборов через мультиплексор

При использовании мультиплексора количество аналоговых датчиков ограничивается только возможностями мультиплексора и интерфейса RS485. Рекомендуемое число HART полевых приборов в такой сети - до 465 приборов. Основным преимуществом такой структуры подключения является то, что все временные характеристики HART передачи сохраняются, за исключением времени прохождения сигнала через мультиплексор.

Комбинация HART и RS485/RS232 является удачным техническим решением, поскольку физический уровень на основе RS485/RS232 позволяет повысить скорость обмена данными по HART протоколу и использовать его как чисто цифровой протокол. Интерфейс RS485/RS232 широко распространен и известен в России, и относительно прост в реализации. В тоже время, верхние уровни HART протокола тщательно отработаны и проверены практикой и временем. Комбинация HART и RS485/RS232 позволяет реализовать полноценный, хорошо отработанный цифровой обмен. В настоящее время существует ряд приборов, использующих цифровой интерфейс RS485/HART.

К настоящему времени появилась беспроводная версия HART протокола (HART 7). Беспроводный HART реализован в международном нелицензируемом частотном диапазоне 2400-2483.5 МГц по стандарту IEEE 802.15.4b

Набор команд HART протокола

HART коммуникация основана на командах, то есть Главный посылает команду, а Подчиненный на нее отвечает. Все команды HART протокола можно разделить на два основных типа: это стандартные и специальные. Первые описаны спецификациями протокола HART и доступны всем разработчикам. Благодаря стандартным командам обеспечивается совместимость между приборами от различных производителей. Зачастую стандартных команд недостаточно для описания некоторых уникальных свойств прибора и разработчики вынуждены разрабатывать собственные команды, которые относятся к разряду специальных. Специальные команды устройства обеспечивают доступ к особым параметрам прибора или функциям, уникальным для этого устройства. Доступ к этим командам через приборы от сторонних производителей возможен только при наличии специального драйвера на языке описания устройства (DDL), речь о котором пойдет ниже. Визуальная классификация команд HART протокола представлена на рис.5.

Стандартные команды, в свою очередь, можно разделить на Универсальные и Общие. Универсальные команды обеспечивают совместимость между продуктами от разных производителей и доступ к наиболее общей информации, одинаковой для всех полевых приборов, независимо от их назначения: переменные процесса, верхние и нижние значения диапазона измерений и другая информация, такая как производитель, модель, маркировка и описание. Основным правилом HART протокола является то, что любой HART совместимый прибор, должен поддерживать все Универсальные команды.

Общие команды обеспечивают доступ к функциям, которые используются во многих, но не во всех приборах. Эти команды являются необязательными к реализации. Обычно HART полевое устройство поддерживает 12-15 Общих команд.

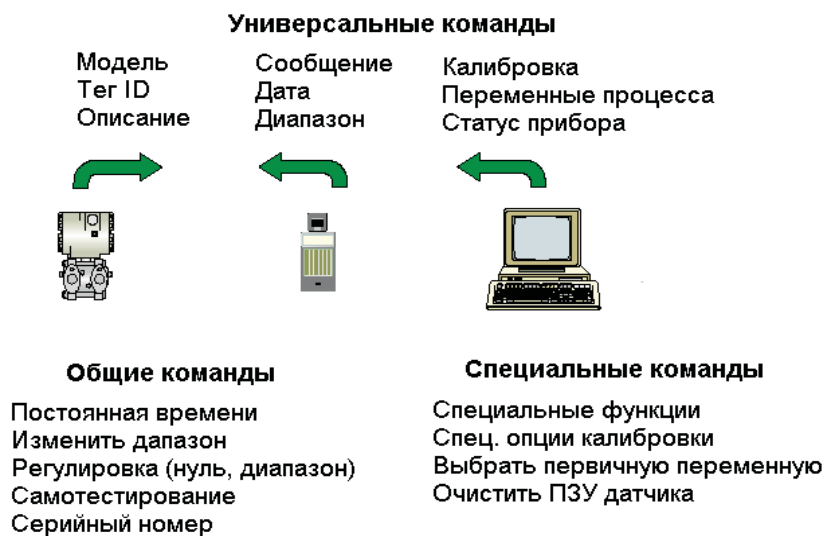


Рис. 5 Команды HART протокола

В каждой отклик на HART команду полевое устройство включает диагностическую информацию о себе, тем самым обеспечивая высокую надежность и управляемость системы в целом.

Язык Описания Устройства

Язык Описания Устройства (DDL) HART расширяет функциональность за пределы Универсальных и Общих команд. Производители полевых устройств (Подчиненных) используют DDL для создания файла программного обеспечения со всеми уникальными характеристиками устройства. Таким образом, DDL-совместимая система может полностью использовать все возможности устройства, включая поддержку специальных команд. Описание Устройства (DD) для HART устройства аналогично драйверу принтера для персонального компьютера. В настоящее время драйвер на языке DDL существует практически для каждого HART зарегистрированного прибора. DDL широко используется в портативных HART коммуникаторах. Заказчик имеет возможность добавлять, менять или обновлять набор описаний приборов записанных в коммуникатор через сайт фонда HART коммуникации. Центральный реестр всех Описаний устройств, совместимых с HART, поддерживается Фондом HART Коммуникации (HART Communication Foundation). Количество описаний постоянно растет и поэтому реестр обновляется ежеквартально. Описания устройств могут быть свободно загружены с сайта фонда HART коммуникации.

HART протокол - лучшее решение

HART протокол обеспечивает пользователей возможностью постепенного перехода от аналоговой системы управления технологическим процессом к цифровой, с целью максимального использования преимуществ современных интеллектуальных средств автоматизации. В настоящее время, по сравнению с другими коммуникационными протоколами, HART протокол используется и поддерживается наибольшим количеством производителей средств автоматизации. Технология является простой в использовании и приборы, совместимые с HART можно приобрести у многих поставщиков.

Появление полностью цифровых fieldbus-протоколов не заменит HART на уже существующем или новом производственном оборудовании. HART обеспечивает пользователей всеми преимуществами fieldbus, в то же время, сохраняя совместимость с системами 4-20 мА. HART протокол позволяет снизить затраты за счет инсталляции интеллектуальных полевых устройств, имеющих возможность удаленной настройки, точной передачи цифровых данных, диагностики, которые могут быть установлены без замены системы в целом.

Основным недостатком HART протокола считается низкая скорость передачи данных (1.2 кбит/сек – HART, 31.25 кбит/сек – fieldbus). Однако, основное назначение HART протокола это мониторинг и техническое обслуживание, а не управление, в котором требуется скорость реального времени. Беспроводная технология HART позволяет измерять параметры технологического процесса в труднодоступных местах, где провести кабели затруднительно.

Поддержка Фонда HART Коммуникации гарантирует, что технология будет продолжать развиваться, чтобы обеспечить HART приборы всеми необходимыми возможностями в настоящее и будущее время.

HART® – зарегистрированная торговая марка HART Communication Foundation.