

В литературе, в открытых источниках, в речи слово «Ethernet» употребляют совместно со словами «стандарт», «протокол», «интерфейс», «пакетная технология» и т.п. при описании промышленных сетей. Почему?

Историческая справка:

- Ethernet получил/а свое название от несуществующей субстанции (эфира), которой, как считали ученые в позапрошлом веке, был заполнен вакуум и который якобы служил средой для распространения света.
- Предшественница Ethernet - разработанная во второй половине 60-х годов система радиосвязи для разбросанных по Гавайскому архипелагу станций. Различные варианты случайного доступа к общей (разделяемой) радиосреде получили общее название Aloha.
- Днем рождения Ethernet можно считать 22 мая 1973 года, когда Роберт Меткалф (Robert Metcalfe) и Дэвид Боггс (David Boggs) опубликовали докладную записку, в которой описывалась экспериментальная сеть, построенная ими в исследовательском центре фирмы Херох.
- При рождении сеть получила имя Ethernet, она базировалась на толстом коаксиальном кабеле и обеспечивала скорость передачи данных 2,94 Мбит/с.
- В декабре 1973 г Меткалф опубликовал докторскую работу «Packet communications» ("Пакетная связь").
- В июле 1976 г. Меткалф и Боггс выпустили совместный труд «Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks» («Ethernet: распределенная пакетная коммутация для локальных компьютерных сетей») Тем самым была заложена теоретическая база для дальнейшего развития Ethernet-технологии.
- В феврале 1980 г. результаты деятельности DIX были представлены в IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers - Институт инженеров по электротехнике и электронике, национальная организация США), где вскоре была **сформирована группа 802 для работы над проектом.**
- В настоящее время термин Ethernet чаще всего используют для описания всех локальных сетей, работающих в соответствии с принципами CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий.
- В 1995 году появился **Fast Ethernet (100BASE-TX)**, увеличивший скорость до 100 Мбит/с.

- В 1998 году был разработан **Gigabit Ethernet (1000BASE-T)**, обеспечивающий скорость 1 Гбит/с. В
- дальнейшем, с ростом потребностей в пропускной способности, появились версии **10 Gigabit Ethernet** и **40/100 Gigabit Ethernet**, используемые в центрах обработки данных.
- На сегодняшний день Ethernet остаётся основой локальных сетей, поддерживая скорости до **400 Гбит/с** и более.
- Технология продолжает развиваться, включая решения для промышленных сетей и автономных систем, таких как Time Sensitive Networking (TSN).

Типы передачи:

Unicast — передача одному получателю.

Broadcast — передача всем узлам в сети.

Multicast — передача группе устройств.

Ключевые стандарты Ethernet:

- **10BASE-T** (10 Мбит/с): Первая версия Ethernet на витой паре с максимальной скоростью 10 Мбит/с.
- **Fast Ethernet (100BASE-TX)** (100 Мбит/с): Увеличенная скорость для поддержки новых приложений и потоков данных.
- **Gigabit Ethernet (1000BASE-T)** (1 Гбит/с): Стал стандартом для современных LAN.
- **10 Gigabit Ethernet (10GBASE-T)**: Поддерживает скорость 10 Гбит/с для требовательных сетевых решений.
- **Ethernet over Fiber (1000BASE-SX, 1000BASE-LX)**: Ethernet по оптоволоконным линиям для более дальних соединений и высокой надёжности.

Большинство Ethernet-карт и других устройств имеет поддержку нескольких скоростей передачи данных, используя автоопределение (autonegotiation) скорости и дуплексности для достижения наилучшего соединения между двумя устройствами. Если автоопределение не срабатывает, скорость подстраивается под партнёра и включается режим полудуплексной передачи. Например, наличие в устройстве порта Ethernet 10/100 говорит о том, что через него можно работать по технологиям 10BASE-T и 100BASE-TX, а порт Ethernet 10/100/1000 — поддерживает стандарты 10BASE-T, 100BASE-TX и 1000BASE-T.

Типы кабелей и среды передачи:

- **Коаксиальный кабель** (ранние версии): использовался в старых сетях Ethernet.
- **Витая пара** (Cat5, Cat6, Cat7): стандарт для современных LAN.
- **Оптоволокно**: используется в высокоскоростных сетях на больших расстояниях.

Ethernet и коммутация:

Современные Ethernet-сети строятся с использованием **коммутаторов (switches)**, которые позволяют каждому устройству иметь выделенный канал связи. Это устраняет коллизии и увеличивает пропускную способность сети. В отличие от концентраторов (hubs), коммутаторы анализируют MAC-адреса и направляют данные только нужному получателю.

Ethernet поддерживает различные топологии, включая:

- **Звезда**: все устройства подключены к одному коммутатору.
- **Кольцо**: используется в промышленных сетях.
- **Шина**: исторически использовалась в Ethernet на основе коаксиала, но сегодня практически не применяется.

Преимущества Ethernet:

- **Высокая скорость передачи данных**: Поддержка скоростей до 400 Гбит/с в новейших версиях.
- **Простота настройки**: Ethernet легко масштабируется и поддерживает автоматическое определение скоростей.
- **Универсальность**: Работает как на витой паре, так и на оптоволкне.
- **Совместимость**: Ethernet стандартизирован и поддерживается всеми сетевыми устройствами.

Недостатки Ethernet:

- **Ограниченная дальность**: Витая пара ограничена 100 метрами, но это решается использованием оптоволкна.
- **Отсутствие приоритезации трафика в базовой версии**: Хотя современные стандарты Ethernet (например, IEEE 802.1p) поддерживают приоритезацию, изначально это не было предусмотрено.
- **Неустойчивость к помехам**: Витая пара может быть подвержена электромагнитным помехам, хотя экранированные кабели решают эту проблему.

Протокол Ethernet в чистом виде не поддерживает функцию приоритезации трафика. Для решения этой проблемы организация IEEE разработала стандарт создания виртуальных локальных сетей VLAN IEEE 802.1q. В нём предусматривается вставка дополнительного четырёхбайтового тега VLAN в заголовок Ethernet исходного фрейма, содержащий метку приоритета (Priority) класса обслуживания (Class of Service — CoS) IEEE 802.1p.

Идея приоритезации состоит в том, чтобы пакеты, помеченные как «важные», пропускать в первую очередь, а менее важные — придерживать, пока линия не освободится.

Также в стандарте Ethernet прописана поддержка механизма приоритезации, называемого QoS («Quality of Service» — «Качество обслуживания»). Поддержка QoS подразумевает правильную маркировку пакетов данных, формирование очередей отправки данных через один интерфейс и сброс «лишнего» трафика.

Будущее Ethernet:

- **400 Gigabit Ethernet (400G Ethernet):** используется в центрах обработки данных.
- **1 Terabit Ethernet:** находится в разработке и станет следующим шагом в эволюции сетевых технологий.
- **Ethernet для промышленных сетей (TSN — Time Sensitive Networking):** обеспечивает передачу данных с низкой задержкой для критически важных приложений, таких как промышленная автоматизация и автономный транспорт.
- Ethernet остаётся основной технологией для построения локальных сетей благодаря своей надёжности, простоте и скорости. Он продолжает развиваться, обеспечивая всё более высокие скорости и возможности, оставаясь фундаментом для современных и будущих сетевых решений.

Но это все краткая справка, которая не дает нам однозначного ответа, как все-таки верно говорить: «Ethernet» употреблять совместно со словами «стандарт», «протокол», «интерфейс», «пакетная технология» и т.п. при описании промышленных сетей?

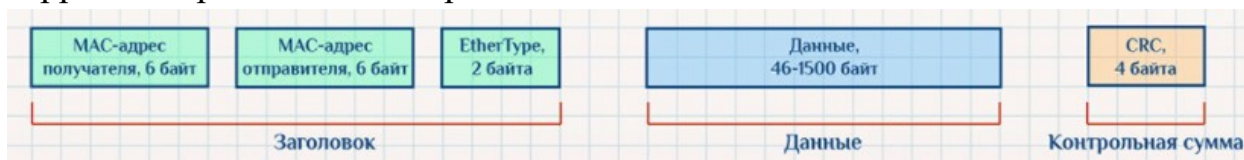
Глобально термин «Ethernet» — пакетная технология передачи данных.

Стандартами Ethernet определяются проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, а на канальном уровне модели OSI определяются формат кадров и протоколами управления доступом. В основном Ethernet описывают стандарты IEEE группы 802.3 (см. подробнее файл «Кабели и Кабели_продолжение»).

Это самая распространенная технология ЛВС (локальные вычислительные сети), особенно в середине 90-х годов прошлого века. Своим появлением Ethernet вытеснила такие устаревшие технологии, как Arcnet, FDDI и Token ring.

С другой стороны, можно сказать, Ethernet — стандартный набор связанных протоколов и оборудования, описывающий, как сетевые устройства могут форматировать и передавать данные другим устройствам в той же локальной сети. Ethernet поддерживает различные типы данных, в зависимости от протокола верхнего уровня.

При использовании Ethernet поток данных разделяется на короткие части, или фреймы (формат кадра ниже, не полный, без преамбулы), каждый из которых содержит дополнительную информацию об источнике и приемнике данных. Такая структура необходима для того, чтобы сеть корректно принимала и отправляла данные:



- MAC-адрес устройства, которому предназначен данный кадр.
- MAC-адрес отправителя.

Распределением MAC-адресов занимается регулирующий комитет IEEE Registration Authority, именно сюда производитель сетевого устройства должен обращаться для выделения ему некоего диапазона адресов, которые он сможет использовать для своей продукции. Каждая сетевая карта (равно как и встроенный сетевой интерфейс) должна иметь уникальный шестибайтный номер (MAC-адрес), прошитый в ней при изготовлении. Т.е. каждый порт Ethernet (каждый сетевой интерфейс) имеет уникальный идентификатор, называемый MAC-адресом. Это 12-значное шестнадцатеричное число, обычно разделенное двоеточиями, например, ab:01:23:ef:45:dc (: форма записи используется чаще всего в Linux системах; - самая распространенная и привычная для

всех форма записи). Как сказано на странице ранее – это 6 байтовое число, или 48-битовая последовательность цифр и букв в шестнадцатеричной системе (цифры от 0 до 9 и буквы от A до F).

Этот номер используется для идентификации отправителя и получателя кадра, и предполагается, что при появлении в сети нового компьютера (или другого устройства, способного работать в сети) сетевому администратору не придётся настраивать MAC-адрес.

- EtherType - двухбайтное поле, которое служит для указания типа протокола для данных, передаваемых в этом кадре. Для наглядности, некоторые возможные значения:
 - ✓ 0x0800 - IPv4
 - ✓ 0x86DD - IPv6
 - ✓ 0x0842 - Wake-on-LAN
 - ✓ 0x809B - AppleTalk
- Далее следуют непосредственно передаваемые данные.
- И завершает все это поле контрольной суммы CRC, для контроля целостности и отсутствия ошибок в кадре.
- На данной схеме не указаны два поля, относящиеся к физическому уровню, а именно преамбула (preamble) и признак начала кадра (SFD - start frame delimiter). Преамбула представляет из себя семь последовательных байт с чередующимся единицами и нулями (10101010), а SFD - один байт, имеющий фиксированное значение 10101011.
- Некоторые системы Ethernet не передают непрерывно, поэтому преамбула используется для синхронизации часов приема перед передачей данных. В других системах Ethernet передача данных непрерывна, но преамбула сохраняется для сохранения структуры кадра.

Все поля, кроме поля данных, являются служебными.

Методика анализа контрольной суммы абсолютно стандартна: отправитель рассчитывает контрольную сумму на основе остальных данных кадра и добавляет рассчитанное значение к этому же отправляемому кадру. Получатель также рассчитывает контрольную сумму на основе принятых данных и сравнивает ее с принятой (которую рассчитывал отправитель). Несовпадение рассчитанного и принятого значений CRC - явный сигнал к тому, что данные повреждены и некорректны.

При этом контрольная сумма в данном случае никоим образом не может помочь в устранении ошибки, она только сигнализирует о ее наличии. В

результате принятый кадр целиком считается некорректным. Это, в свою очередь, приводит к необходимости передать ошибочный кадр еще раз.

Кроме этого, возможна еще одна неприятная ситуация, так называемая коллизия - когда несколько узлов начинают передавать данные одновременно. Для предотвращения этого в Ethernet используется технология CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection — множественный доступ с прослушиванием несущей и обнаружением коллизий.

СЛОВАРИК:

- **среда передачи данных** – в рамках современного Ethernet представляет собой витую пару или оптоволоконный кабель, к которому подключаются Ethernet-устройства для создания маршрута передачи данных;
- **сегмент** – обособленная логически часть сети;
- **узлы** – устройства, которые подключаются к сегментам.

Все, что сейчас коротко обсуждалось со словом Ethernet в текущих реалиях больше пригодно к локальным **«офисным сетям»**, обмен же информацией **между устройствами, входящими в состав автоматизированной системы** (компьютерами, контроллерами, датчиками, исполнительными устройствами), происходит в общем случае **через промышленную сеть (Fieldbus, «полевую шину» и Industrial Ethernet)**.

*Определим терминологию: **Industrial Ethernet** = промышленная сеть, **Fieldbus** = полевая шина. В российской промышленной автоматике случается путаница в терминах, касающихся полевой шины и промышленной сети нижнего уровня. Часто эти термины объединяются в единое расплывчатое понятие «нижний уровень», который именуется и полевой шиной, и шиной нижнего уровня, хотя это может быть и не шина вовсе.*

*Такая путаница, скорее всего связана с тем, что во многих современных контроллерах соединение модулей ввода-вывода часто реализуется с помощью объединительной панели (англ. backplane) или физической шины. То есть используются некие шинные контакты и соединители, чтобы объединить несколько модулей в единый узел. Но такие узлы, в свою очередь, могут быть соединены между собой как промышленной сетью, так и полевой шиной. В западной терминологии есть четкое разделение: сеть — это сеть, шина — это шина. Первое обозначается термином **Industrial Ethernet**, второе — **Fieldbus**.*

Промышленные сети отличаются от «офисных» следующими свойствами:

- специальным конструктивным исполнением, обеспечивающим защиту от пыли, влаги, вибрации, ударов;
- широким температурным диапазоном (обычно от -40 до +70 град);
- повышенной прочностью кабеля, изоляции, разъемов, элементов крепления;
- повышенной устойчивостью к воздействию электромагнитных помех;
- возможностью резервирования для повышения надежности;
- повышенной надежностью передачи данных;
- возможностью самовосстановления после сбоя;
- детерминированностью (определенностью) времени доставки сообщений;
- возможностью работы в реальном времени (с малой, постоянной и известной величиной задержки);
- работой с длинными линиями связи (от сотен метров до нескольких километров).

В настоящее время насчитывается более 50 типов промышленных сетей (Modbus, Profibus, DeviceNet, CANopen, LonWorks, ControlNet, SDS, Seriplex, ArcNet, BACnet, FDDI, FIP, FF, ASI, EtherNet/IP, PROFINET, EtherCAT, WorldFIP, Foundation Fieldbus, Interbus, BitBus и др.). Однако широко распространенными является только часть из них. В России подавляющее большинство АСУ ТП используют сети Распространенность в России той или иной промышленной сети связана, в первую очередь, с предпочтениями и активностью Российских фирм, продающих импортное оборудование.

Промышленной сетью называют комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают обмен информацией (коммуникацию) между несколькими устройствами. **Промышленная сеть** является основой для построения распределенных систем сбора данных и управления.

У соединяемого друг с другом **оборудования есть сетевые интерфейсы**, где интерфейсы могут быть неотъемлемой частью соединяемых устройств, а если сетевое программное обеспечение прикладного уровня модели OSI выполняется на основном процессоре промышленного контроллера, то **отделить сетевую часть от устройств, объединяемых в сеть, иногда физически невозможно**. С другой стороны, смену одной сети на другую часто можно выполнить с помощью замены сетевого ПО и сетевого адаптера или введением преобразователя интерфейса или введением

дополнительных блоков с сетевыми интерфейсами, поэтому часто один и тот же тип ПЛК может использоваться в сетях различных типов.

Соединение промышленной сети с ее компонентами (устройствами, узлами сети) выполняется с помощью *интерфейсов*. Сетевым интерфейсом называют логическую и (или) физическую границу между устройством и средой передачи информации (напоминаю, что среда передачи данных чаще всего – витая пара или оптоволоконный кабель). Обычно этой границей является набор электронных компонентов и связанного с ними программного обеспечения. При существенных модификациях внутренней структуры устройства или программного обеспечения интерфейс остается без изменений, что является одним из признаков, позволяющих выделить интерфейс в составе оборудования.

Наиболее важными параметрами интерфейса являются пропускная способность и максимальная длина подключаемого кабеля. Промышленные интерфейсы обычно обеспечивают гальваническую развязку между соединяемыми устройствами. **Наиболее распространены в промышленной автоматизации последовательные интерфейсы RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet, CAN, HART, AS-интерфейс.** Говорить, что это разъем, не совсем корректно, интерфейсы — совокупность физических разъемов, кабелей, портов и других элементов, которые обеспечивают взаимодействие между аппаратными устройствами.

Для обмена информацией взаимодействующие устройства должны иметь одинаковый *протокол обмена*. В простейшей форме протокол - это набор правил, которые управляют обменом информацией. Он определяет синтаксис и семантику сообщений, операции управления, синхронизацию и состояния при коммуникации. **Протокол может быть реализован аппаратно, программно или программно-аппаратно (на примере Профибуса четко видно программно-аппаратную составляющую протокола).**

Обычно сеть использует несколько протоколов, образующих *стек протоколов* - набор связанных коммуникационных протоколов, которые функционируют совместно и используют некоторые или все семь уровней модели OSI [см. задание с осени]. Для большинства сетей стек протоколов реализован с помощью специализированных сетевых микросхем или встроен в универсальный микропроцессор.

Подытожим, какие в итоге термины употребляют совместно с «Ethernet» («стандарт», «протокол», «интерфейс», «пакетная технология» и т.п.) Если Вы начнете углубляться в тему того, как правильно именовать Ethernet,

то найдете множество различных интерпретаций в открытых источниках, форумах и т.д., например:

- Ethernet — это не прикладной протокол. Но я бы всё равно назвал его «протоколом».
- Сетевой протокол определяет правила и соглашения для обмена данными между сетевыми устройствами.
- Ethernet - это целый коммуникационный стек
- Ethernet - это семейство компьютерных сетевых технологий для локальных сетей и MAN
- Ethernet — это всего лишь физический уровень и уровень передачи данных. Сам по себе Ethernet ничего не делает; это просто «канал».
- Я полностью согласен с тем, что Ethernet — это НЕ протокол. Ethernet не сильно отличается от, скажем, RS-485. Я использую аналогию, что Ethernet — это служба экспресс-доставки посылок, а последовательный порт — это модем с коммутируемым доступом или грузовая перевозка. Морской контейнер или поддон (посылка) не знают, как их перевозят.
- И т.д.

Но прошу Вас НЕ говорить ~~ПРОТОКОЛ ETHERNET~~, это стандарт, Комитет по стандартам IEEE 802® LAN/MAN разрабатывает стандарты. Хотя я соглашусь, что, например, есть протокол (семейство протоколов) Ethernet и технологии Metro Ethernet (для городских сетей), Industrial Ethernet (для промышленных сетей) (контекстно-специфичные применения протокола Ethernet), построенные на его базе.

Еще раз, технология - набор протоколов и среды передачи;

протокол - соглашение о передаче информации определенным способом.

Например, **технология Ethernet** включает: протоколы передачи данных Ethernet, спецификацию на физические среды передачи (медь витой пары, оптика, wifi). Может быть иногда достаточно сказать, что есть интерфейс, реализующий протокол Ethernet. А на самом деле этот протокол реализован, например, через среду передачи InfiniBand (высокоскоростная сеть для суперкомпьютеров), которые тоже имеют свои протоколы передачи.

Т.е. говоря о технологии, подразумевают совокупность протоколов и физической организации. А говоря о протоколе, подразумевают только протокол, а по какой среде передачи он идет - неважно.

Можно ведь передавать трафик Ethernet внутри канала vpn через интернет с подключением по InfiniBand.

Если развивается технология передачи данных, то развиваются и физические устройства, участвующие в передаче, например, достаточно крупная российская фирма Авеон анонсировала выпуск линейки промышленных коммутаторов EKI-9778 (серия EKI-9700). EKI-9778 является 28-портовым управляемым Ethernet коммутатором 2-го уровня, с высокой плотностью портов и поддержкой комбо-портов, обеспечивающий большую надежность системы и возможность резервирования для непрерывной работы оборудования.

Безвентиляторный дизайн коммутатора гарантирует исключительную долговечность устройства, а высокий уровень производительности достигается за счет использования четырех 10-гигабитных Ethernet-портов.

Технология 10GbE обеспечивает большую пропускную способность коммутаторов и идеально подходит для создания сетей нового поколения, в том числе промышленных Ethernet инфраструктур для автоматизации технологических и транспортных приложений, требующих постоянного роста объемов трафика.

Коммутатор EKI-9778 имеет 28 портов Ethernet, поддерживает 16 комбо (1000Base-T и SFP) и оснащен 4 SFP 10-гигабитными Ethernet-оптическими портами.

В абзаце выше введен термин **промышленный Ethernet («Industrial Ethernet»)**. В речи вы слышите термины **«Ethernet», «промышленный Ethernet» («Industrial Ethernet»), EtherNet/IP ((Industrial Ethernet Protocol))**. В чем отличия?

Industrial Ethernet - это обобщенное название для семейства протоколов, основанных на стандарте Ethernet. Это адаптация стандартного протокола Ethernet для промышленных нужд. Они используют те же физические среды и сетевые устройства, что и обычный Ethernet, но добавляют специальные механизмы для повышения производительности, надежности и реального времени передачи данных на высоком уровне.

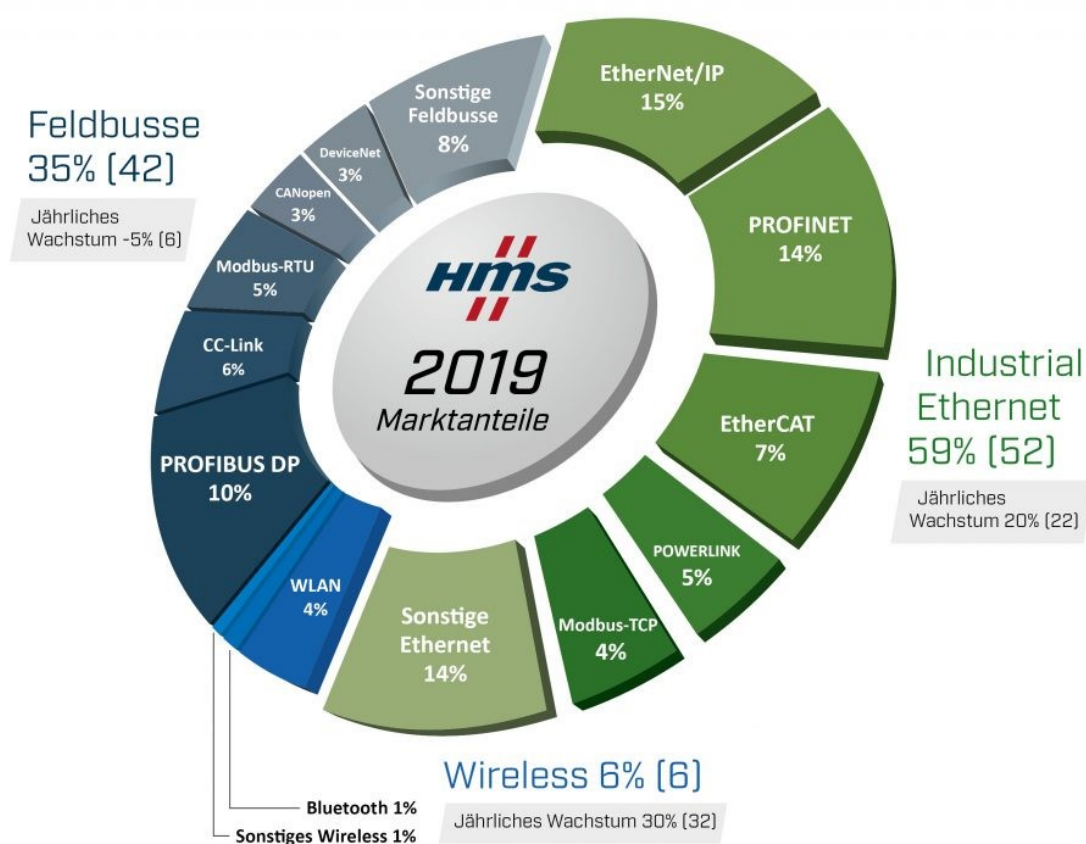
Промышленный стандарт Ethernet (Industrial Ethernet) определяет два вида сети: SRT (Soft-Real-Time — сеть мягкого реального времени) и IRT (Isochronous Real-Time — сеть изохронного реального времени).

Изохронная связь в реальном времени обычно **характеризуется временем цикла менее 1 мс и дрожанием менее 1 мкс**. Изохронные передачи (Isochronous Transfers) - непрерывные передачи в реальном времени, занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности шины и имеющие заданную задержку доставки. В случае обнаружения ошибки изохронные данные передаются без повтора - недействительные пакеты игнорируются.

Сети SRT не очень требовательны к быстродействию и применяются, например, на складах для учета товаров. В этом случае допускаются задержки до нескольких минут в обработке события, а в сетях IRT счет идет на миллисекунды. Сети IRT используются на тех производственных участках, которые наиболее чувствительны к задержкам и нарушениям в очередности пакетов.

Промышленный Ethernet, как следует из названия, применяется для подключения промышленного оборудования: когда требуются более надежные разъемы, кабели и, что самое важное, высокий уровень детерминизма. Для достижения высокого уровня детерминизма в промышленном Ethernet, помимо стандартного протокола Ethernet, используются специализированные протоколы. Наиболее популярными из них являются **PROFINET, EtherNet/IP, EtherCAT, Modbus TCP, SERCOS III и POWERLINK** и т.д. Они имеют разные характеристики по скорости, расстоянию, количеству узлов и типам данных.

Внимание, здесь не упоминается о технологии **OPC UA**, мы достаточно потренировались и поговорили об этом ранее.



Промышленный Ethernet в отличие от других промышленных сетевых интерфейсов (Profibus, DeviceNet или CANopen – с пометкой полевая шина Филдбасы), **обладает более высоким быстродействием, а также поддерживает одновременную работу с большим количеством узлов.** Например, длительность цикла в шине CAN с 3—7 узлами составляет 2—4 мс, а Ethernet с такой же скоростью работает с 30—100 абонентами.

Сеть Ethernet (как уже было сказано ранее несколько раз) сама по себе является недетерминированной, то есть не гарантирует время доступа для каждого узла. В связи с этим **при проектировании необходимо проверять, обеспечивается ли время доступа в пределах 1 мс.** Если нет, то выгоднее использовать более дешевые промышленные шинные сети.

Скорость промышленного Ethernet (Industrial Ethernet) может варьироваться в пределах 10 Мбит/с — 1 Гбит/с. Чаще всего используется промышленный Ethernet со скоростью 100 Мбит/с.

Вопрос только «чаще где»?

Применение Ethernet для автоматизации в промышленности обеспечивает **«бесшовное» соединение** всех стадий производства и контроля. Кроме того, она оказывается более дешевой и быстродействующей средой по сравнению со многими промышленными шинными сетями. **Однако классический вариант Ethernet требует доработки и подстройки под промышленные протоколы.**

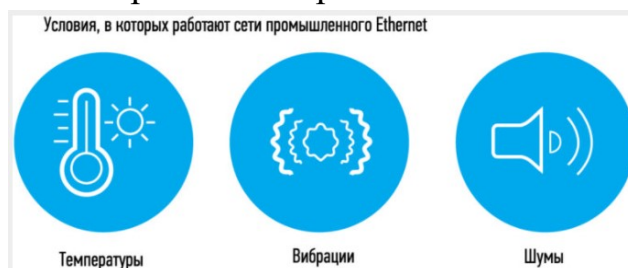
Например, протоколы промышленного Ethernet, такие как PROFINET и EtherCAT, вносят изменения в стандартный протокол Ethernet, чтобы не только обеспечить надежность отправки и приема данных технологических процессов, но и гарантировать, что эти данные будут отправлены и приняты именно в тот момент, когда они будут необходимы для выполнения определенных операций.

Например, компания Real Time Automation говорит, что стандартный Ethernet больше подходит для офисных применений, нежели для использования в промышленности. Он предназначен для повседневного использования, в то время как промышленный Ethernet предусматривает различные уровни и может применяться в более сложных условиях эксплуатации — в том числе в зашумленных производственных помещениях. При этом он даже способен определить потерю данных на производстве.

Промышленный Ethernet относится к набору протоколов Ethernet, которые основаны на стандартном оборудовании (**физический и канальный уровни**) и интернет-протоколах (**сетевой и транспортный уровни**) вместе с **проприетарным прикладным уровнем**. Протокол прикладного уровня обеспечивает передачу правильных данных и их получение, когда и где это необходимо для конкретной операции.

В дополнение к программным изменениям для **промышленного Ethernet** часто требуется более надежное оборудование, такое как кабели и разъемы, чем используется в стандартном решении, чтобы выдерживать суровые условия окружающей среды, характерные для большинства промышленных предприятий. Многие устройства также требуют тщательного экранирования, заземления и фильтрации, чтобы справиться с электромагнитными помехами (EMI - Electromagnetic Interference или шумом), обычными для заводских условий. В связи были разработаны специальные промышленные кабели и сопутствующее оборудование.

Даже разъемы, используемые в промышленности, будут иметь отличия: не будут иметь стандартных защелок, необходимы более надежные механизмы фиксации. В оборудовании, используемом в тяжелых условиях эксплуатации, как правило, применяют герметичные разъемы.



Разница промышленного и «офисного» Ethernet:

- отсутствием вентиляторов – это позволяет использовать устройства в помещениях, где затруднен доступ к оборудованию (трудности профилактического обслуживания), а воздух слишком запылен;
- надежным монтажом – крепление элементов сети, как правило, выполняется при помощи DIN-рельсы, что делает установку легкой и быстрой;
- низковольтным электропитанием – оборудование Industrial Ethernet подключается к электрической сети посредством низковольтного блока питания. При этом предусматриваются резервные источники питания;
- резервированием – обусловлено высокоскоростными технологиями по восстановлению работоспособности;
- нормативными требованиями – промышленное оборудование обязательно проверяется на соответствие международным стандартам (электромагнитная совместимость, стойкость к вибрации, уровень защиты от влаги);
- увеличенным эксплуатационным сроком;
- технической поддержкой.

Кабели Industrial Ethernet:



вещества, вибрация, изгиб и помехи.

Промышленные версии кабелей Ethernet требуют гораздо более прочной конструкции для более жестких условий окружающей среды, подверженных воздействию множества факторов, таких как экстремальная температура, влажность, коррозионные химические

Что отличает кабели Industrial Ethernet от кабелей коммерческого класса:

- **Защищены от шума.** Так же, как и в коммерческой среде, в зонах с высоким уровнем помех на заводе будут использоваться экранированные кабели, например, там, где кабели необходимо прокладывать рядом с аппаратами для дуговой сварки, переключающими реле, приводами переменного тока и другими источниками шума. В зонах сильных помех может потребоваться больше, чем просто общий экран (F/UTP), и может потребоваться как индивидуальный, так и общий экран (S/FTP).
- **Требуют экранирования.** Большая часть того, что отличает промышленные кабели Ethernet, - это номинальная температура и материал оболочки. Оболочка из поливинилхлорида (ПВХ), используемая для промышленных кабелей, широко применяется в легкой промышленности, поскольку она имеет лучшую цену и является маслостойкой, но часто промышленным кабелям требуется немного больше. Например, материалы оболочки из фторированного этилен-полипропилена (FEP) и термопластичный эластомер (TPE) могут выдерживать экстремальные температуры от примерно -50 °C до примерно 125 °C по сравнению с 0 °C до примерно 75 °C для ПВХ. Кабели из TPE также более гибкие и устойчивые к солнечному свету, озону, агрессивной морской воде и тяжелому маслу, поэтому их часто используют в промышленных наружных и морских применениях.

Одним из наиболее распространенных материалов оболочки, используемых для промышленных кабелей Ethernet, является полиуретан (PUR). Несмотря на то, что он не имеет такого широкого диапазона температур, как FEP и TPE, PUR обладает высокой прочностью на растяжение, химической стойкостью, гибкостью и устойчивостью к истиранию — он механически прочен, его трудно резать или разрывать, что делает его идеальным для обработки и штамповки.

Другие материалы оболочки промышленных кабелей Ethernet включают термопластичный полиуретан (TPU или TMPU) и хлорированный полиэтилен (CPE). Выбранный тип материала оболочки имеет прямое отношение к окружающей среде и области применения (и немного от стоимости).

- **Необходимость гибкости.** Как и промышленные кабели с витой парой, промышленные кабели Ethernet также бывают одножильными или многожильными. Подобно тому, как многожильные кабели

используются для патч-кордов в коммерческой среде из-за большей гибкости, многожильные промышленные кабели также используются из-за гибкости. Разница в том, что они не ограничиваются только коммутационными шнурами, поскольку в промышленной среде существует множество областей, где кабели подвергаются частому изгибу и скручиванию (например, робототехника и другие приложения с повторяющимся движением).

- **Повышенная надежность промышленных кабелей.** Основным свойством промышленных кабелей является надежность и производительность. В свою очередь, производительность характеризуется:

- ✓ **пропускной способностью** – количество информации, которое передается сетью в конкретную единицу времени. На данный показатель влияет среда передачи и быстродействие приемопередатчика;
- ✓ **временем реакции** – период времени, требующийся для ответа ведомого устройства на запрос ведущего.

Надежность доставки данных – важный параметр промышленной сети, который включает:

- ✓ вероятность доставки данных;
- ✓ коэффициент готовности;
- ✓ предсказуемость времени доставки;
- ✓ отказоустойчивость;
- ✓ безопасность.

Промышленные кабели – высококачественные каналы связи, соответствующие всем требованиям международных стандартов.

Структура кабелей коммерческого или офисного Ethernet также может отличаться от структуры кабелей промышленного Ethernet. Оболочка низкоскоростных промышленных кабелей может быть более высокого качества. Конечно, и оболочка кабелей с высокой пропускной способностью, и используемый в них металл имеют еще более высокое качество, что значительно повышает надежность этих кабелей.

- **Детерминизм (гарантированная фиксированная задержка)** является еще одним важным фактором, отличающим промышленный Ethernet от стандартного. Ethernet сам по себе не является детерминированным, но для применения сетей в промышленных средах детерминизм необходим. На промышленном предприятии пакеты данных должны отправляться и приниматься в определенное время и при этом нужна гарантия того, что пакеты будут доставлены несмотря ни на что. Это

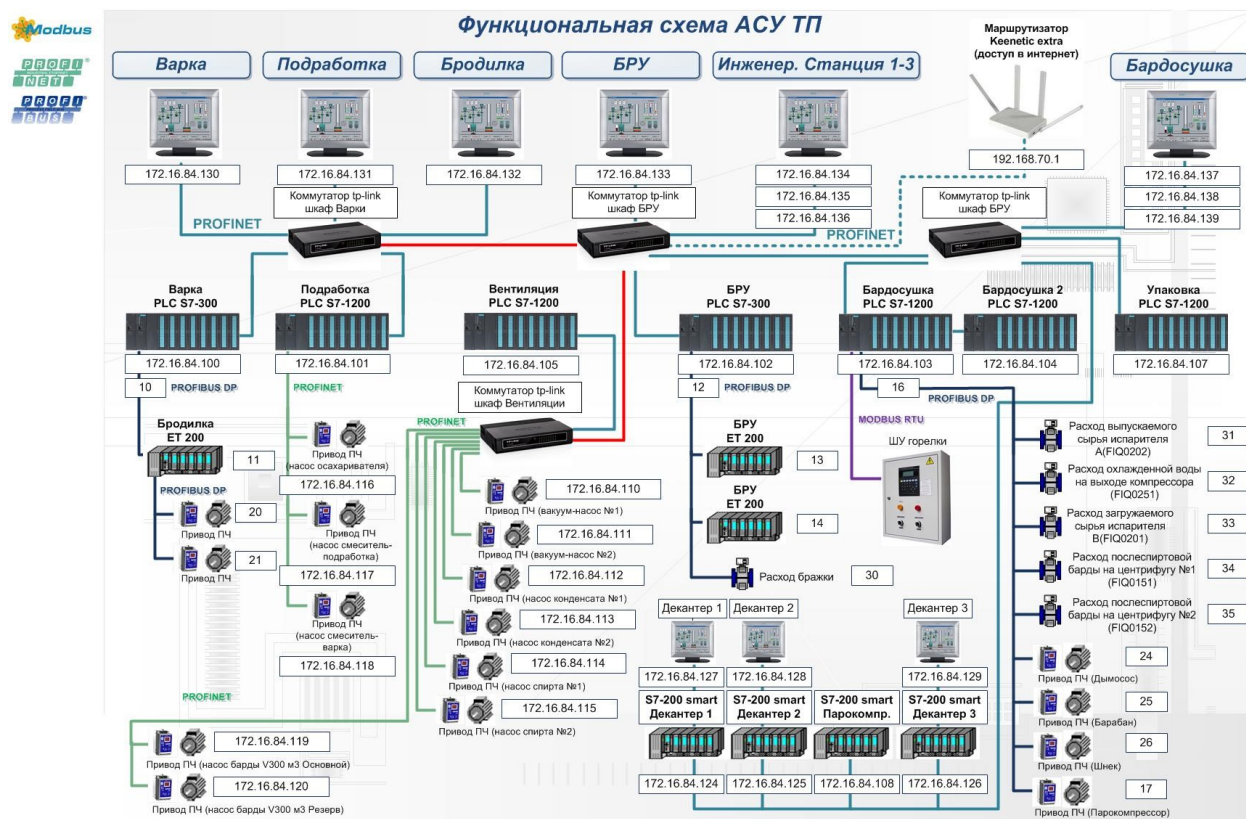
связано с тем, что потеря данных или задержка в передаче данных между оборудованием в промышленных условиях может привести к серьезному сбою в технологическом процессе. Такая передача информации в режиме реального времени часто является основным решающим фактором при выборе Ethernet-решения. При этом компания должна оценить свои потребности и определить, какое Ethernet-решение лучше подойдет для удовлетворения требований.

Как уже было сказано ранее, развиваются стандарты промышленной сети, развивается и оборудование. Например, линейка оборудования **Industrial Ethernet** компании МОХА включает решения проводной и беспроводной связи, поддерживающие различные скорости передачи данных, вплоть до **10 Gigabit Ethernet**, обеспечивающие передовые и уникальные технологии резервирования связи и предназначенные для применения на всех уровнях коммуникационной инфраструктуры.



Все устройства имеют широкий диапазон рабочих температур (могут работать и при отрицательных температурах до **-40°C**), безвентиляторное исполнение корпуса, а наличие промышленных сертификатов, в том числе в сфере энергетики и транспорта, позволяет с успехом применять оборудование МОХА в промышленных структурах. Нельзя не отметить высокую производительность и отказоустойчивость коммутаторов и маршрутизаторов. Все это позиционирует коммуникационное оборудование МОХА как идеальное решение в задачах промышленной автоматизации.

Поговорили о технологии для офисных сетей «Ethernet», технологии для промышленных сетей нижнего и верхнего уровней «промышленный Ethernet» («Industrial Ethernet») – присмотритесь на рисунке ниже, где технология для промышленных сетей фигурирует в структуре классической АСУТП.



Но ест еще с корнем «EtherNet» EtherNet/IP ((Industrial Ethernet Protocol)). Если на предыдущих страницах шла речь о технологии, о стандартах, то тут речь идет о протоколе верхнего уровня.

В настоящее время разработаны десятки протоколов для промышленного Ethernet. Наиболее распространёнными среди них являются EtherNet/IP, Profinet IO и MODbus TCP (для сетей SRT) и Ethernet Powerlink, SERCOS III, EtherCAT и Profinet IRT для IRT:

Сравнение основных протоколов Industrial Ethernet:

Протокол	Вид сети	FPGA	Длительность цикла
EtherNet/IP	SRT	Контроллер MAC + стек протоколов на NIOS	> 10 мс
PROFINET IO			
Modbus/TCP			
ETHERNET Powerlink	IRT	Контроллер MAC со стеком протоколов обработки пакетов на NIOS	< 500 мкс
SERCOS III		Шинные IP-протоколы	31,5 мкс
EtherCAT		Шинные IP-протоколы	< 50 мкс
PROFINET IRT		Контроллер MAC + стек протоколов на NIOS	< 1 мс

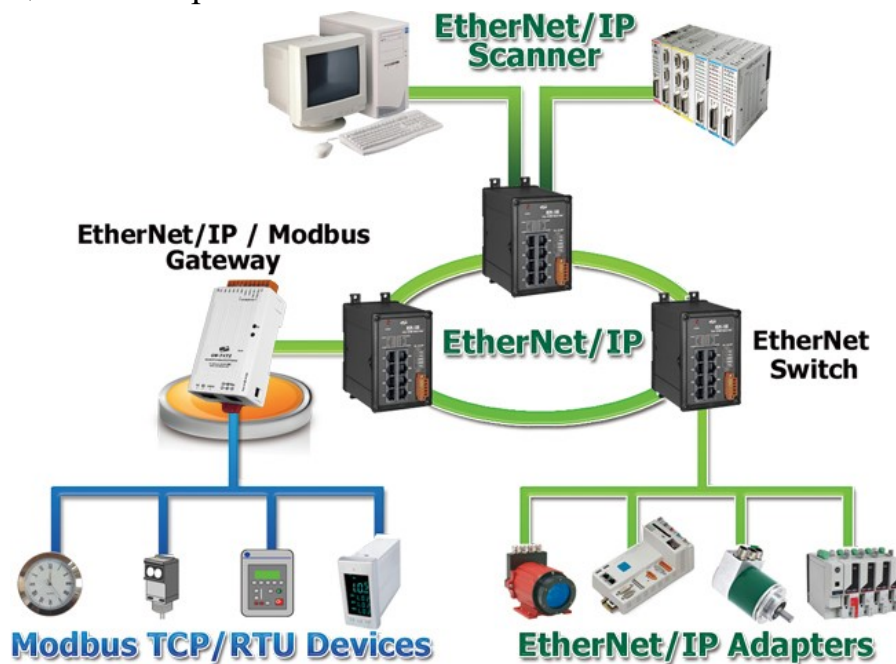
Протокол EtherNet/IP разработан при активном участии американской компании Rockwell Automation в 2000 году. Он использует стек TCP и UDP IP, и расширяет его для применения в промышленной автоматизации. Вторая часть названия, вопреки расхожему мнению, означает не Internet Protocol, а Industrial Protocol. UDP IP использует коммуникационный стек протокола CIP (Common Interface Protocol), который также используется в сетях ControlNet / DeviceNet и реализуется поверх TCP/IP.

Спецификация EtherNet/IP является общедоступной и распространяется бесплатно. Топология сети Ethernet/IP может быть произвольной и включать в себя кольцо, звезду, дерево или шину.

В дополнение к стандартным функциям протоколов HTTP, FTP, SMTP, EtherNet/IP реализует передачу критичных ко времени доставки данных между опрашивающим контроллером и устройствами ввода/вывода. Передача не критичных ко времени данных обеспечивается пакетами TCP, а критичная ко времени доставка циклических данных управления идет по протоколу UDP.

Для синхронизации времени в распределенных системах EtherNet/IP

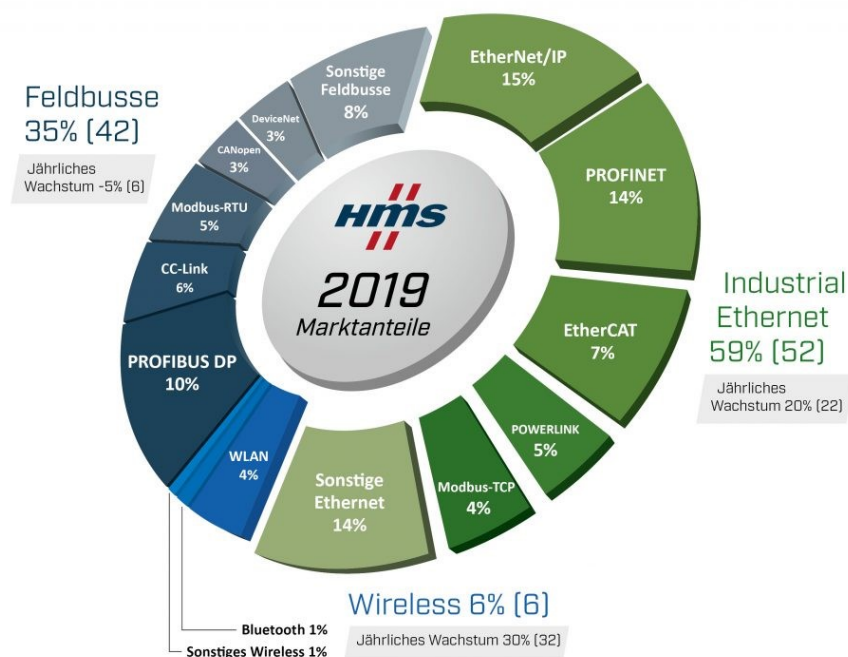
использует протокол CIPsync, который является расширением коммуникационного протокола CIP.



Схематическое изображение сети EtherNet/IP с несколькими узлами и подключением Modbus-устройств.

Для упрощения настройки сети EtherNet/IP большинство стандартных устройств автоматики имеют в комплекте заранее определенные конфигурационные файлы.

Обратимся еще раз к диаграмме:



Как видно на диаграмме, PRONET и PROFIBUS от Siemens занимают лидирующие позиции (но это распределение в мире, НЕ в РФ). 6 лет назад 60% рынка занимали протоколы PROFINET и Ethernet/IP.

В таблице ниже собраны сводные данные по описанным протоколам обмена. Некоторые параметры, например, производительность выражены абстрактными терминами: высокая /низкая. Числовые эквиваленты можно отыскать в статьях по анализу производительности:

	EtherCAT	POWERLINK	PROFINET	EtherNet/IP	ModbusTCP
Физический уровень	100/1000 BASE-TX	100/1000 BASE-TX	100/1000 BASE-TX	100/1000 BASE-TX	100/1000 BASE-TX
Уровень передачи данных	Канальный (Ethernet-фреймы)	Канальный (Ethernet-фреймы)	Канальный (Ethernet-фреймы), Сетевой/транспортный(TCP/IP)	Сетевой/транспортный(TCP/IP)	Сетевой/транспортный(TCP/IP)
Поддержка реального времени	Да	Да	Да	Да	Нет
Производительность	Высокая	Высокая	IRT – высокая, RT – средняя	Средняя	Низкая
Длина кабеля между узлами	100м	100м/2км	100м	100м	100м
Фазы передачи	Нет	Изохронная + асинхронная	IRT – изохронная + асинхронная, RT – асинхронная	Нет	Нет
Количество узлов	65535	240	Ограничение сети TCP/IP	Ограничение сети TCP/IP	Ограничение сети TCP/IP
Разрешение коллизий	Кольцевая топология	Тактовая синхронизация, фазы передачи	Кольцевая топология, фазы передачи	Коммутаторы, топология "звезда"	Коммутаторы, топология "звезда"
Горячая замена	Нет	Да	Да	Да	В зависимости от реализации
Стоимость оборудования	Низкая	Низкая	Высокая	Средняя	Низкая

КТО ИСПОЛЬЗУЕТ?

Протокол EtherNet/IP доступен в программируемых логических контроллерах (ПЛК) **Allen Bradley, Schneider Electric и Omron**.

Некоторые отечественные российские контроллеры, поддерживающие протокол Ethernet/IP:

Контроллеры серии AS300/AS200 от ООО «Сибтехинжиниринг». Модульные устройства с поддержкой сетевых протоколов Modbus, Ethernet/IP и CANopen.

Контроллер «Колибри-K2» от компании «ФИОРД». Предназначен для применения в составе систем сбора и передачи технологической информации, а также объектов АСУТП в энергетической и нефтегазовой отрасли. В зависимости от конфигурации может обмениваться информацией с верхним уровнем по сети Ethernet или полевым сетям RS-485/RS-422.

ПЛК «Бук». Разработан петербургской компанией «КОНТИНЕНТ» и предназначен для управления технологическими и производственными процессами, системами обеспечения жизнедеятельности человека и системами безопасности. Имеет модульную структуру, центральный процессор с широким набором коммуникационных интерфейсов (Ethernet, RS-485, CAN).

Компания ProSoft Technology выпускает **управляемый шлюз PLX31-EIP-PND** для передачи данных от EtherNet/IP к устройствам ввода/вывода PROFINET. Шлюз предназначен для использования при выполнении различных задач, в том числе для подключения по схеме «от ПЛК к ПЛК», к интерфейсу SCADA или для сбора данных.

Также ProSoft Technology предлагает **коммуникационный шлюз PLX31-EIP-MBTCP** для высокоскоростной двунаправленной передачи данных между контроллерами или устройствами с поддержкой EtherNet/IP.

Многие SCADA читают по Ethernet/IP, потому что **всё больше промышленных устройств начинают поддерживать стандарт Ethernet**. Это происходит из-за увеличения сложности и масштабов сетей.

Также использование Ethernet/IP в SCADA связано с **применением протокола Modbus TCP**, который работает в сетях Ethernet. Протокол Modbus RTU использует последовательные линии связи (RS-232 или RS-485), в то время как Modbus TCP работает в сетях Ethernet.

Ещё одна причина использования Ethernet/IP в SCADA — **возможность беспроводной связи с сетью TCP/IP** через сотовые модемы, которые позволяют подключать оборудование SCADA и телеметрии на удалённых объектах к сети.

Устройства и программные продукты очень быстро развиваются, поэтому нужно постоянно отслеживать новинки в том числе с точки зрения доступа протоколов. **Рекомендуется читать англоязычные статьи от 2023 года и позже.**

И тогда вы увидите **сравнительный анализ на технологию Эзернет именно этих протоколов: EtherNet/IP, Modbus и PROFINET.**

Протокол EtherNet/IP.

EtherNet/IP — это протокол, который широко используется в промышленной автоматизации. Это протокол на основе Ethernet, который использует Common Industrial Protocol (CIP) для связи между устройствами. **EtherNet/IP — это открытый стандарт, что означает, что он не является проприетарным, и его поддерживают многие поставщики.**

Все устройства в сети EtherNet/IP представляют свои данные в сеть в виде серии значений данных, называемых атрибутами, сгруппированных с другими похожими значениями данных в наборы атрибутов, называемых объектами. Существуют обязательные объекты EtherNet/IP, такие как идентификатор, TCP и маршрутизатор, которые должны быть у каждого устройства. Спецификация EtherNet/IP определяет эти объекты.

EtherNet/IP предлагает связь в реальном времени и использует ту же технологию Ethernet, что и PROFINET. Он даже может работать в той же физической сети что и PROFINET. **Время цикла может быть установлено для каждого устройства индивидуально, а коммутаторы используются для создания нескольких типов топологий.**

НО!! Протокол обеспечивает метод отправки пакетов данных (датаграмм) без установления соединения и без подтверждения между двумя устройствами в сети. IP не гарантирует доставку; Для этого он полагается на протокол транспортного уровня или прикладного уровня. EtherNet/IP не подходит для приложений, которым требуется высокоскоростная связь или высокий уровень детерминизма.

Протокол Modbus.

Modbus — это простой и широко используемый протокол, разработанный компанией Modicon (теперь Schneider Electric) в 1979 году. Это последовательный протокол связи, который используется для связи между устройствами в системах промышленной автоматизации. Modbus — открытый

протокол, что означает, что его может использовать любой без каких-либо лицензионных сборов. Modbus имеет два основных варианта: Modbus RTU и Modbus TCP. Modbus RTU — это последовательный протокол связи, который использует двоичное кодирование для передачи данных. Он обычно используется в устаревших системах, требующих низкой пропускной способности и низкой задержки. **Modbus TCP, с другой стороны, — это протокол, который использует Ethernet для связи.** Он быстрее и надежнее, чем Modbus RTU, и широко используется в современных системах промышленной автоматизации. Однако Modbus имеет некоторые ограничения. **Это протокол «ведущий-ведомый», что означает, что только одно устройство может инициировать связь одновременно. Это может привести к задержкам в передаче данных, особенно в больших системах.** Кроме того, **Modbus не имеет встроенных функций безопасности, что может сделать его уязвимым для кибератак.**

Несмотря на свои ограничения, **Modbus** по-прежнему широко используется в системах промышленной автоматизации. Он **прост, надежен и удобен в реализации.** Многие устройства, такие как датчики, исполнительные механизмы и контроллеры, поддерживают Modbus, что делает его популярным выбором для связи между устройствами.

Протокол PROFINET.

PROFINET — это **оптимизированный промышленный сетевой стандарт, который предоставляет определение сервиса и протоколы для связи в реальном времени на основе Ethernet.** Это решение промышленного Ethernet, которое позволяет обмениваться данными между контроллерами и устройствами. Контроллерами могут быть ПЛК, РСУ или ПАК, а устройствами — блоки ввода-вывода, системы технического зрения, считыватели RFID, приводы, технологические приборы, прокси-серверы или даже другие контроллеры. **PROFINET предлагает несколько преимуществ по сравнению с другими промышленными протоколами Ethernet. Одним из наиболее существенных преимуществ PROFINET является его высокая скорость и возможности связи в реальном времени.** Он может обрабатывать время цикла всего **31,25 мкс**, что делает его идеальным для приложений, требующих быстрого и точного обмена данными. Еще одним преимуществом PROFINET является его **гибкость и масштабируемость.** Он может работать в той же физической сети, что и другие протоколы на технологии Ethernet, что позволяет легко интегрироваться с существующими системами. **PROFINET также поддерживает различные топологии,**

включая звезду, линию и кольцо, что делает его пригодным для широкого спектра приложений.

PROFINET использует архитектуру клиент-сервер, где клиент отправляет запросы на сервер, а сервер отвечает запрошенными данными. Он поддерживает протоколы связи TCP и UDP, обеспечивая гибкость в передаче данных.

PROFINET также предлагает несколько инструментов диагностики и мониторинга, которые позволяют легко устранять неполадки и выполнять техническое обслуживание. В целом, **PROFINET** — это надежный и эффективный промышленный протокол на технологии Ethernet, который обеспечивает высокоскоростную связь, гибкость и масштабируемость. Он широко используется в отрасли промышленной автоматизации и является отличным выбором для приложений, требующих обмена данными в реальном времени.

Краткое итоговое сравнение EtherNet/IP, Modbus и PROFINET.

EtherNet/IP:

- Использует стандартную технологию Ethernet и TCP/IP для связи
- Предлагает высокоскоростную скорость передачи данных до 1000 Мбит/с
- Поддерживает как циклический, так и ациклический обмен сообщениями
- Легко интегрируется с другими системами на базе Ethernet
- Часто используется в приложениях, требующих управления в реальном времени и высокоскоростной передачи данных
- EtherNet/IP — широко распространенный протокол, который обеспечивает высокоскоростную связь и управление в реальном времени. Он совместим со стандартным оборудованием Ethernet, что упрощает интеграцию с существующими системами. Однако он может оказаться не лучшим выбором для приложений, требующих высокой детерминированности или низкой задержки

Modbus:

- Использует архитектуру ведущий/ведомый для связи
- Предлагает относительно низкую скорость передачи данных до 115,2 Кбит/с
- Поддерживает как последовательную связь ASCII, так и RTU

- Легко внедряется и широко поддерживается многими производителями ПЛК
- Часто используется в простых приложениях управления, не требующих высокоскоростной передачи данных
- Modbus — простой и удобный в использовании протокол, который широко поддерживается различными устройствами. Это хороший выбор для небольших приложений, которым не требуется высокоскоростная связь или управление в реальном времени. Однако он может не подойти для крупномасштабных приложений, которым требуется высокая детерминированность или сложная обработка ошибок

PROFINET:

- Использует стандартную технологию Ethernet и TCP/IP для связи
- Предлагает высокоскоростную скорость передачи данных до 1000 Мбит/с
- Поддерживает как циклический, так и ациклический обмен сообщениями
- Предлагает возможности связи в реальном времени
- Легко интегрируется с другими системами на базе технологии Ethernet
- PROFINET — мощный и гибкий протокол, который обеспечивает высокоскоростную связь, управление в реальном времени и высокую детерминированность. Он широко используется в промышленной автоматизации и совместим с различными устройствами. Однако это может потребовать специализированного оборудования и программного обеспечения, что может увеличить общую стоимость системы

Вкратце, EtherNet/IP и PROFINET являются высокоскоростными протоколами, которые предлагают возможности связи в реальном времени, в то время как Modbus является более простым протоколом, который легко реализовать и широко поддерживается. Правильный выбор для вашего приложения будет зависеть от множества факторов, включая скорость передачи данных, требования к связи и потребности в системной интеграции.

НЕ забываем про стандарт OPC UA.

А дальше поговорим **о вспомогательном оборудовании.**

Повторюсь, есть сети с различными протоколами, значит, есть устройства с соответствующими интерфейсами и сетевые устройства для организации сети, например, на страницах ранее мы упомянули о компании МОХА и НИЕНШАНЦ АВТОМАТИКА (РФ).



У них есть серия MGate — это серия шлюзов протоколов, которые преобразуют одни протоколы в другие, а также преобразуют интерфейсы, т.е. эти устройства (сетевые устройства) используются для связи между собой устройств, работающих **по различным протоколам передачи данных:**

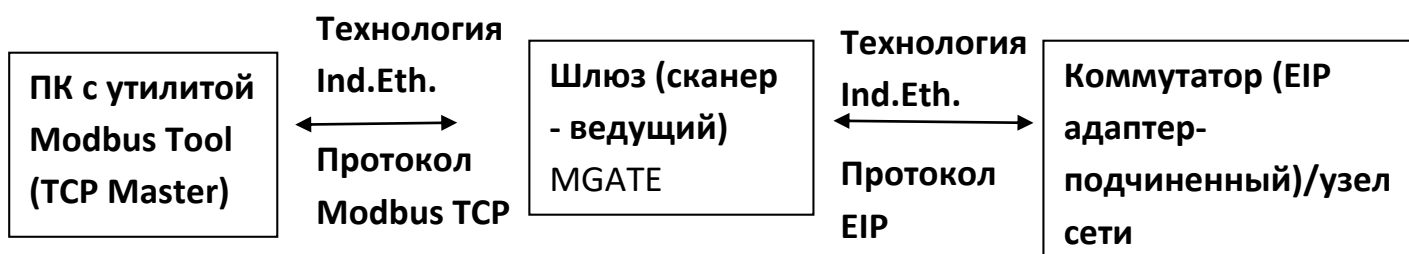
Modbus RTU
Modbus TCP
Profinet
Profibus
Ethernet/IP
МЭК 101/104/61850

Это нормальная практика, если несколько систем с несколькими промышленными протоколами нужно объединить в сеть одной АСУТП, для таких задач существуют **промышленные шлюзы для конвертации** таких протоколов (именно шлюзы, НЕ преобразователи). Есть таблицы для подбора преобразователей у компаний -производителей.

Далее приводится пример настройки и тестирования шлюза MGATE для конвертации Ethernet/IP и Modbus TCP. Ethernet/IP работает по классической схеме «запрос-ответ», т.е. есть сканер-ведущий и адаптер-подчиненный. Сканер-ведущий – это шлюз, адаптер-подчиненный – это коммутатор (ну или что менее распространено, просто один узел с Ethernet/IP).

Запросы шлюзу от ПК (СУБД, SCADA) mgate отправляют по Modbus TCP. Шлюз (хотя иногда можете слышать, как подобные устройства называют преобразователями) mgate опрашивает коммутатор по Ethernet/IP.

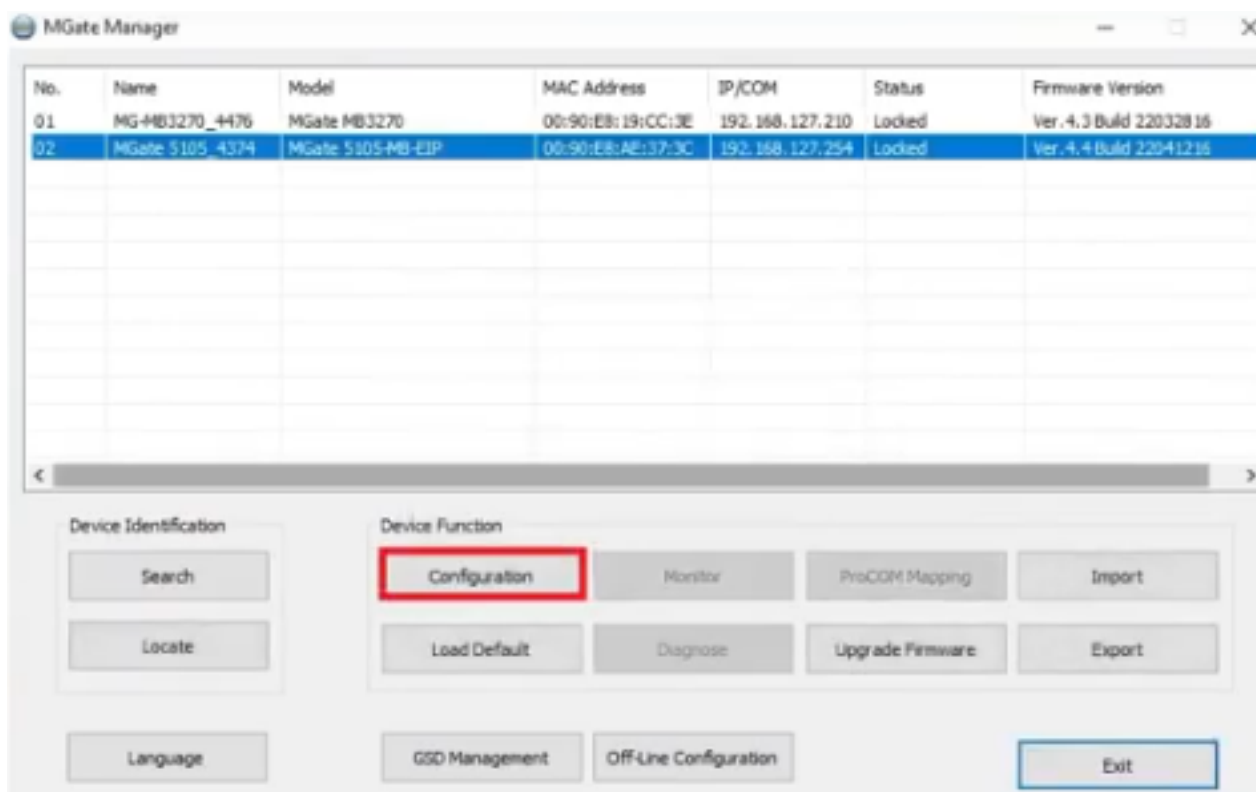
В лабораторной работе на ПК утилита Modbus Master Tool, симулирующая устройства - мастера Modbus (я надеюсь, что вы понимаете без доп приписок, что если технология Industrial Ethernet и чаще всего витая пара, то после Modbus стоит TCP). Для настройки шлюза использовался mgate manager.





Сетевой порт (Ethernet порты) шлюза mgate подключен к сетевой карте ПК, все устройства запитаны (у некоторых устройств есть несколько входов для питания), другой порт mgate на любой порт коммутатора.

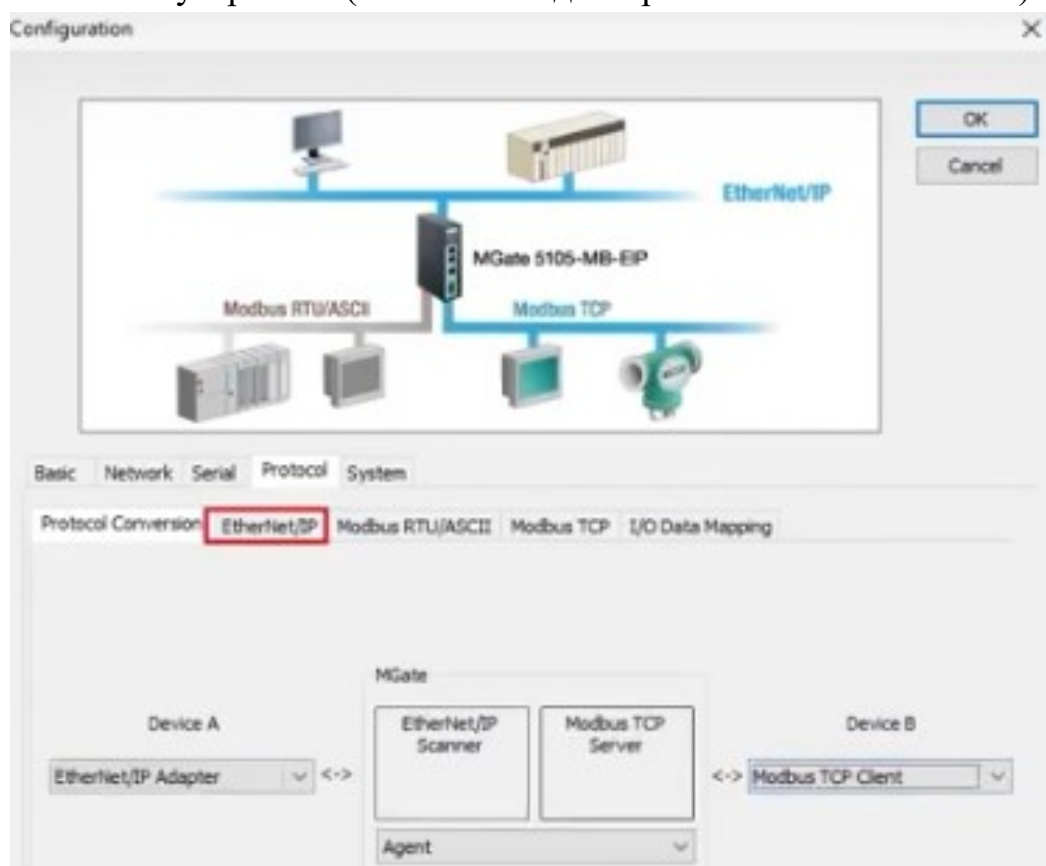
На ПК открываем mgate manager и производим автопоиск устройств, выбираем из найденного списка наш шлюз и вводим (нажимая конфигурейшн) пароль (устройства имеют пароли, в лабораториях они сняты как правило).



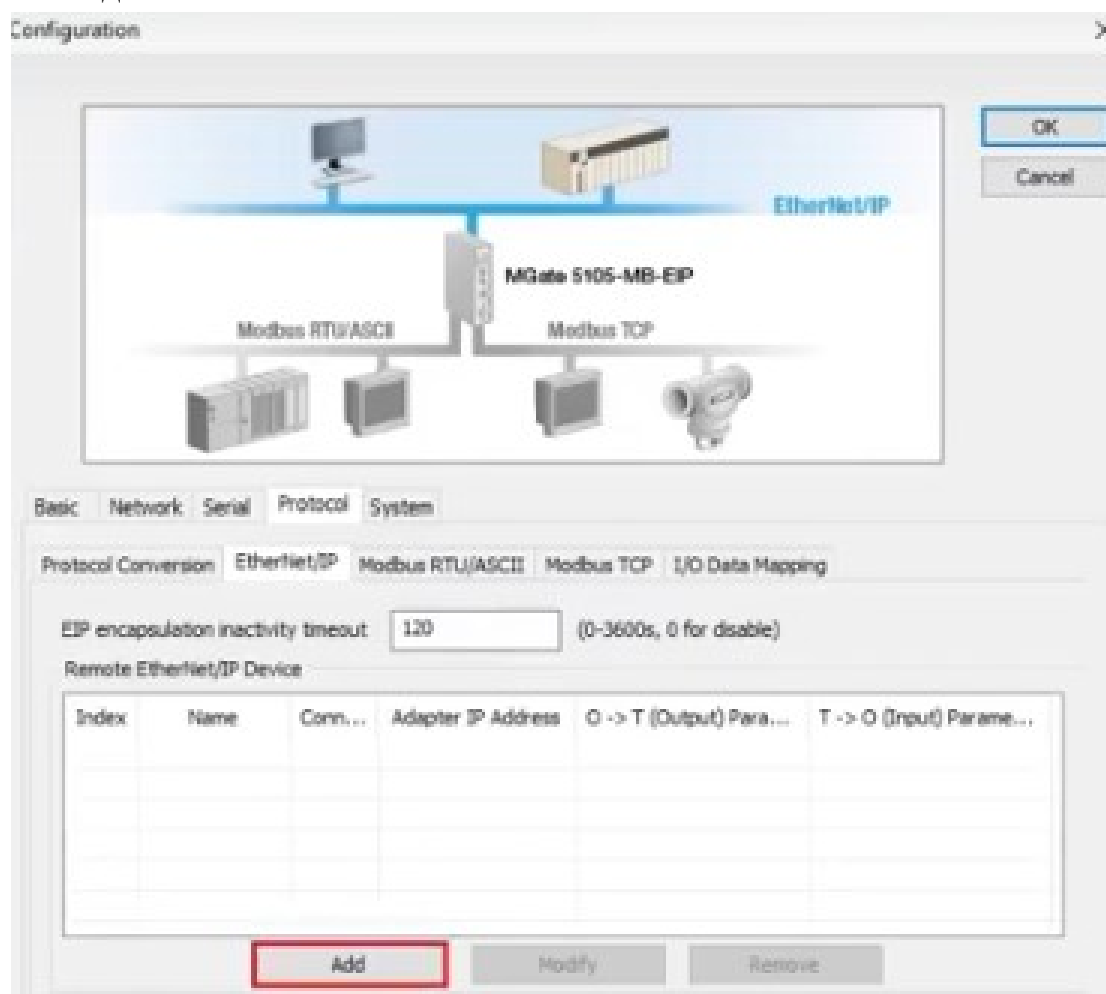
После ввода пароля открывается окно сетевых настроек: адрес IP, адрес маски, адрес шлюза:



На вкладке протоколы выбираются протоколы обмена, выбираются роли конечных устройств (Ethernet/IP адаптер и Modbus TCP клиент):



На вкладке Ethernet/IP необходимо настроить подключение к конечному устройству (тому устройству откуда идет информация по протоколу Ethernet/IP, коммутатор в нашей работе), его нужно добавить и настроить, шаги далее:



Дадим имя, например, switch, IP адрес коммутатора, порт оставим по умолчанию (спасибо авто определению, которое работает во многих современных устройствах), размер данных для ввода и вывода (смотреть по мануалу к коммутатору), для ввода =1, размер данных 8 байт, для вывода = 2, размер данных 20 байт:

Remote EtherNet/IP Device

Connection Settings

Name: Switch

Connection: Enable

Adapter IP address: 192 . 168 . 127 . 218 Port: 44818

O -> T (Output) Parameters

Instance number: 1

Data size: 8 bytes

Real time format: 32-Bit Header

Packet rate: 100 ms

Fault protection: Keep latest data

Fault timeout: 60000 (ms)

T -> O (Input) Parameters

Instance number: 2

Data size: 20 bytes

Real time format: Modeless

Packet rate: 100 ms

Connection type: Point to Point

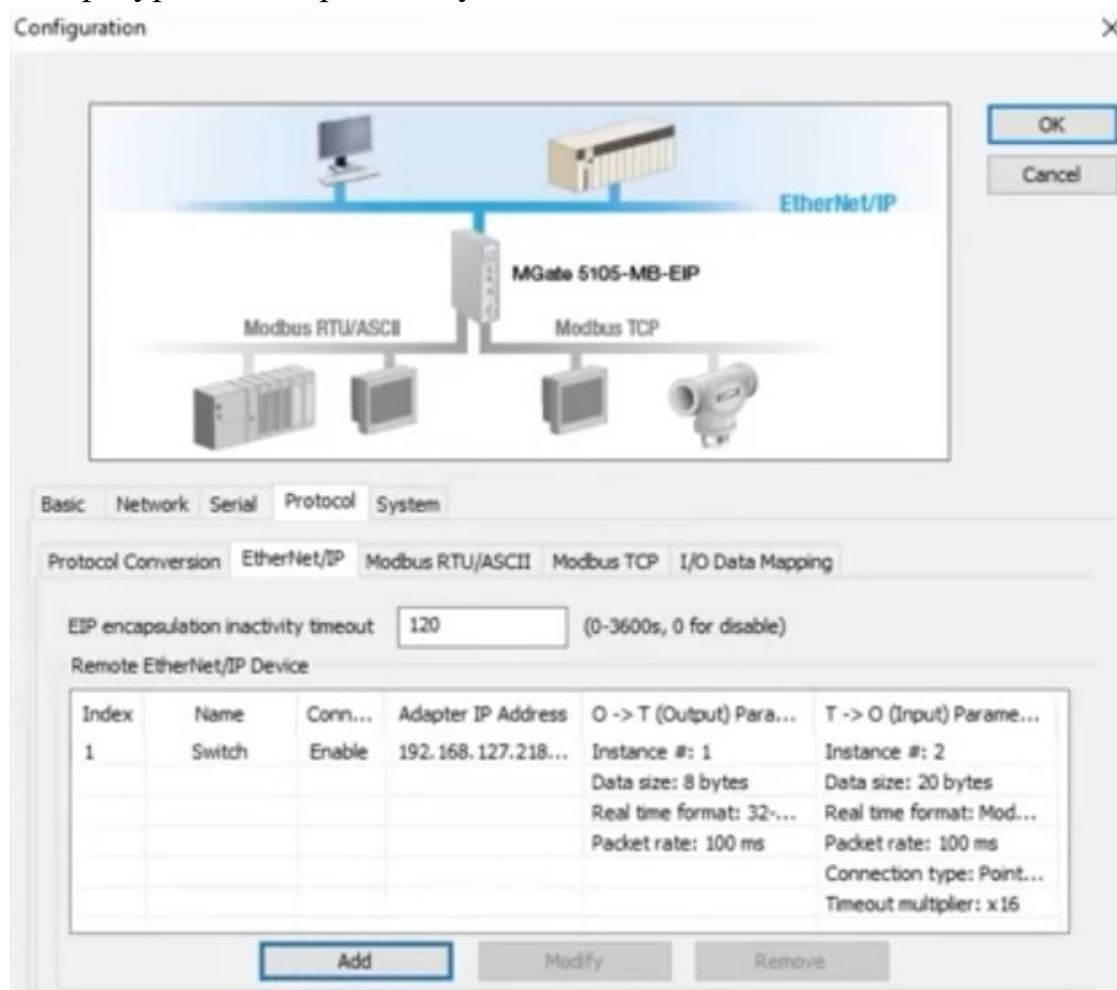
Timeout multiplier: x16

Configuration Instance

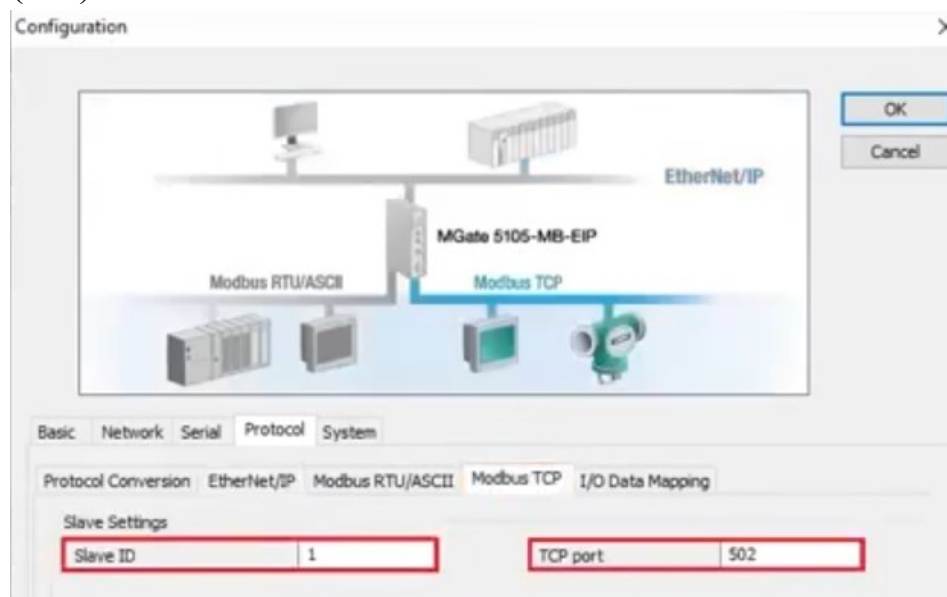
Instance: 1

OK Cancel

Конфигурация завершена, будет окно как ниже:

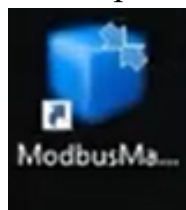


На вкладке Modbus TCP указываются SlaveID (у нас 1 устройство) и TCP порт (502):

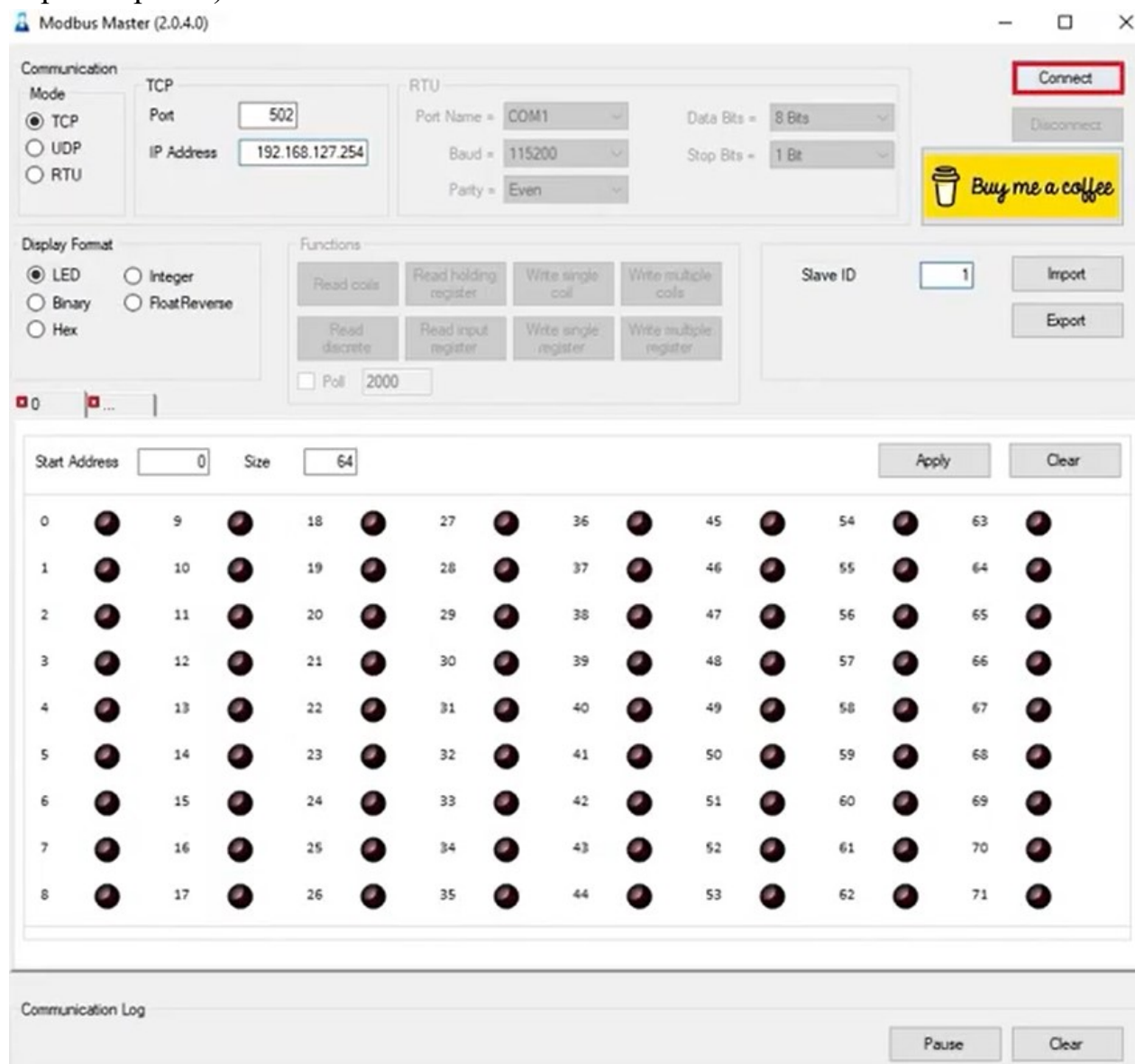


Настройка шлюза (повторюсь, некоторые могут называть преобразователь) mgate завершена, преобразователь перезагрузится:

Всегда все проверяем, проверить настройку преобразователя можно с



помощью утилиты ModbusMaster. В настройках открывшейся утилиты указываем: режим TCP, порт 502, адрес шлюза magate (он высвечивался при его настройке на скринах ранее), SlaveID = 1 (также было на скринах ранее):



Отображение в бинарной системе:

Modbus Master (2.0.4.0)

Communication

Mode: ☒ TCP ☐ UDP ☐ RTU

TCP: Port: 502 IP Address: 192.168.127.254

RTU: Port Name: COM1 Baud: 115200 Data Bits: 8 Bits Stop Bits: 1 Bit Parity: Even

Buttons: Connect, Disconnect

Display Format: ☒ LED ☐ Integer ☒ Binary ☐ Float Reverse ☐ Hex

Functions: Read coils, Read holding register, Write single coil, Write multiple coils, Read discrete, Read input register, Write single register, Write multiple register

Buttons: Poll (2000), Import, Export

Slave ID: 1

Start Address: 0 Size: 64

0	0000000000000000	12	0000000000000000	24	0000000000000000	36	0000000000000000
1	0000000000000000	13	0000000000000000	25	0000000000000000	37	0000000000000000
2	0000000000000000	14	0000000000000000	26	0000000000000000	38	0000000000000000
3	0000000000000000	15	0000000000000000	27	0000000000000000	39	0000000000000000
4	0000000000000000	16	0000000000000000	28	0000000000000000	40	0000000000000000
5	0000000000000000	17	0000000000000000	29	0000000000000000	41	0000000000000000
6	0000000000000000	18	0000000000000000	30	0000000000000000	42	0000000000000000
7	0000000000000000	19	0000000000000000	31	0000000000000000	43	0000000000000000
8	0000000000000000	20	0000000000000000	32	0000000000000000	44	0000000000000000
9	0000000000000000	21	0000000000000000	33	0000000000000000	45	0000000000000000
10	0000000000000000	22	0000000000000000	34	0000000000000000	46	0000000000000000
11	0000000000000000	23	0000000000000000	35	0000000000000000	47	0000000000000000

Buttons: Apply, Clear

Communication Log

Buttons: Pause, Clear

Read holding register

Выполняем опрос функций ReadHoldingRegister. Для примера разберем опрос статусов системных ошибок, находятся под нулевым адресом, здесь отображается на какие входы и данные подается напряжение, событие релле и другие состояния. Полный список системных статусов для конкретной модели преобразователя нужно смотреть в руководстве или общих руководствах по опросу промышленных протоколов. Если событие активно, то 1; если нет, то 0.

Start Address	0	Size	64
0	000000001000000	12	0000000000000000
1	0000000000000000	13	0000000000000000
2	1111111100000011	14	0000000000000000
3	0000000000000000	15	0000000000000000
4	0000000000000000	16	0000000000000000
5	0000000000000000	17	0000000000000000
6	0101000000000011	18	0000000000000000
7	0000000000000000	19	0000000000000000
8	0000000000000000	20	0000000000000000
9	0000000000000000	21	0000000000000000
10	0000000000000000	22	0000000000000000
11	0000000000000000	23	0000000000000000

Побитово выглядит так: из двух слов по 8 бит: слово с младшими разрядами, потом слово со старшими разрядами (разряды в красных и оранжевых квадратах):

Start Address: 0, Size: 64

0	0000000010000000	12	0000000000000000	24	0000000000000000
1	0000000000000000	13	0000000000000000	25	0000000000000000
2	1111111100000011	14	0000000000000000	26	0000000000000000

Diagram illustrating memory layout and bit patterns:

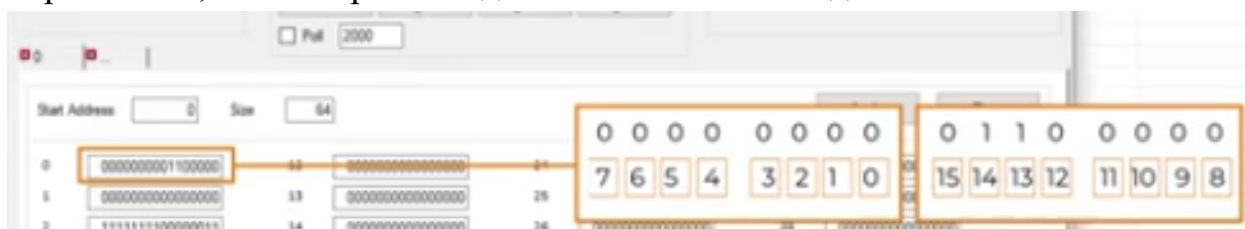
- Memory address 0: 0000000010000000 (highlighted in orange)
- Memory address 1: 0000000000000000
- Memory address 2: 1111111100000011
- Memory address 12: 0000000000000000
- Memory address 13: 0000000000000000
- Memory address 14: 0000000000000000
- Memory address 24: 0000000000000000
- Memory address 25: 0000000000000000
- Memory address 26: 0000000000000000

Bit patterns (highlighted in red and orange):

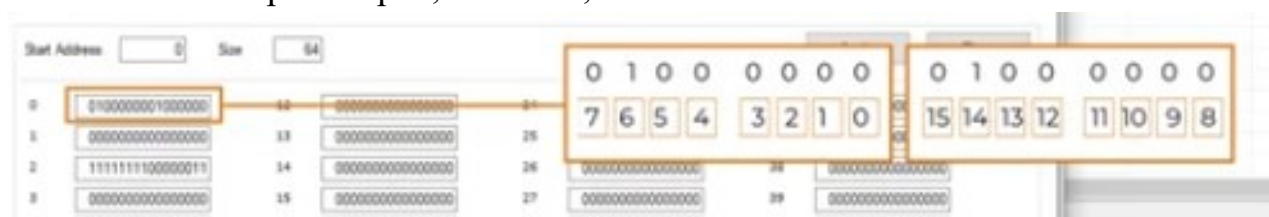
- Red box: 0000 0000 (bits 7-0)
- Orange box: 0100 0000 (bits 15-8)

Бит	Описание
2	Port utilization alarm
3	Port link up
4	Port link down
5	Turbo ring break
6	Power input 1 fail
7	Power input 2 fail
8	DI 1(off)
9	DI 1(on)
10	DI 2(off)
11	DI 2(on)
12	Не используется
13	Power supply 1
14	Power supply 2

Например, 14 бит = 1 – питание подается на 2 ввод питания коммутатора. 13 бит пока стоит в 0. Подадим дополнительное питание на др. вход, 13 бит перешел в 1, что говорит о подаче питания на 2 вход.



Проверим срабатывание реле при потере питания на том же входе. Отключим питание и повторим опрос, 6 бит =1, 13 бит=0.



Это есть проверка опроса коммутатора через шлюз mgate. Он выполняет и функции преобразователя, хотя согласно теории:

Преобразователь и шлюз — это не одно и то же, у них разные функции и назначение.

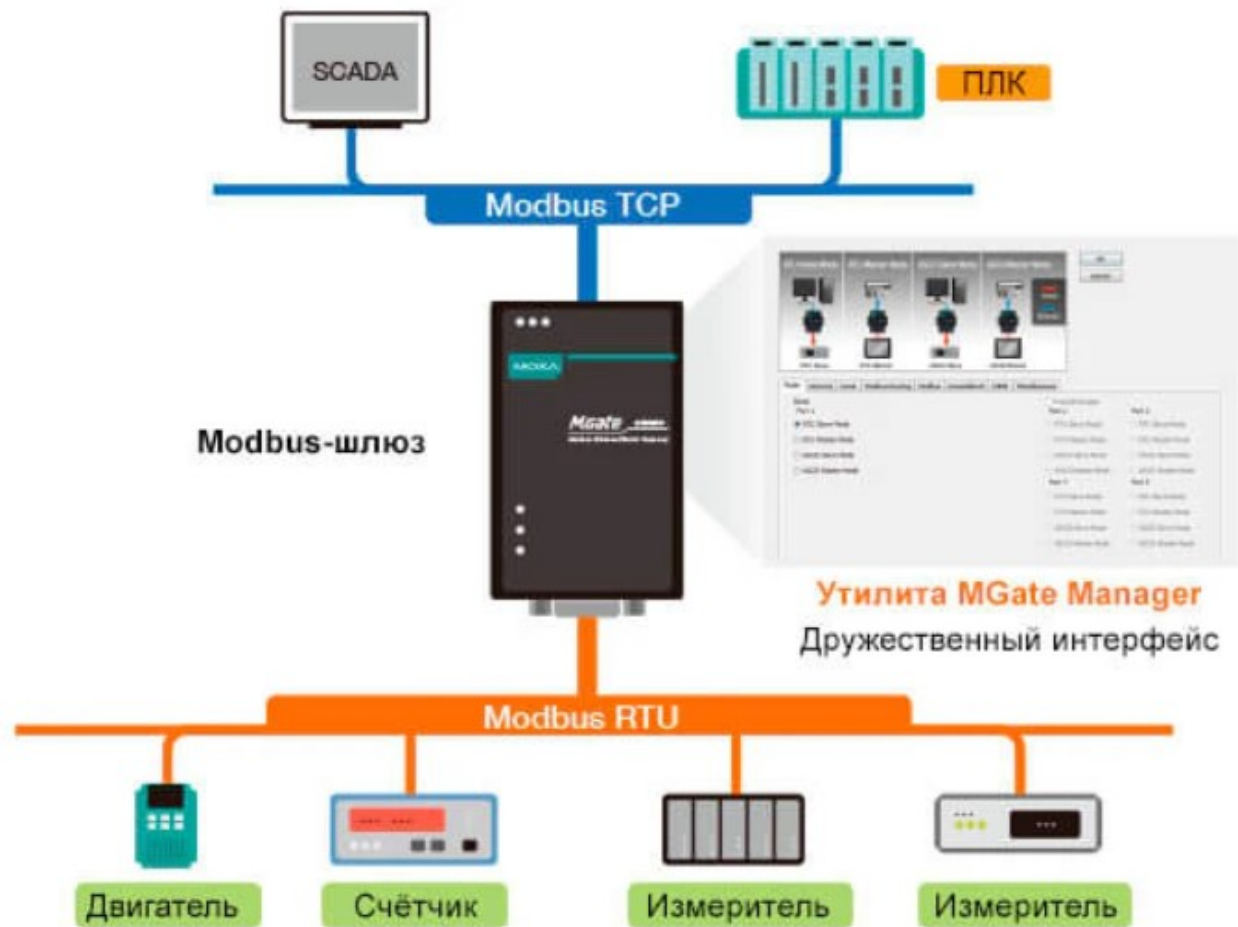
Преобразователь интерфейсов изменяет только тип физического сигнала, не трогая сами данные. Он используется для совместимости устройств с различными типами интерфейсов, удлинения расстояния передачи данных и упрощения интеграции различных устройств.

Шлюз протоколов изменяет формат данных, чтобы сделать их совместимыми с другим протоколом. Он соединяет две сети или системы, работающие на разных протоколах, и обеспечивает взаимодействие между ними. Шлюз извлекает из посылки нужную информацию и повторно упаковывает её в формат, действующий на стороне получателя.

Таким образом, **преобразователь интерфейсов решает задачи совместимости устройств с различными типами интерфейсов и удлинения расстояния передачи данных, а шлюз протоколов — задачи совместимости устройств с различными протоколами и упрощения их интеграции.**

В зависимости от опционности шлюзы, преобразователи могут выполнять:

		MGate Протокол 1					
		Modbus RTU/ASCII Master	Modbus RTU/ASCII Slave	Modbus TCP Client	Modbus TCP Server	EtherNet/IP Scanner	EtherNet/IP Adapter
MGate Протокол 2	Modbus RTU/ASCII Master			Option-3	Option-3	Option-1	Option-1
	Modbus RTU/ASCII Slave			Option-3	Option-3	Option-1	Option-1
	Modbus TCP Client	Option-3	Option-3			Option-2	Option-2
	Modbus TCP Server	Option-3	Option-3			Option-2	Option-2
	EtherNet/IP Scanner	Option-1	Option-1	Option-2	Option-2		
	EtherNet/IP Adapter	Option-1	Option-1	Option-2	Option-2		



Далее материал, который вы уже читали, но в тематике этой темы нужно снова вспомнить:

Взаимодействие устройств в промышленных сетях выполняется в соответствии с моделями *клиент-сервер* или *издатель-подписчик* (производитель-потребитель):

- ✓ Сервером является объект, который предоставляет сервис, т.е. который выполняет некоторые действия по запросу клиента.
- ✓ Сеть может содержать несколько серверов и несколько клиентов.
- ✓ Каждый клиент может посылать запросы нескольким серверам, а каждый сервер может отвечать на запросы нескольких клиентов.
- ✓ Эта модель удобна для передачи данных, которые появляются периодически или в заранее известное время, как, например, значения температуры в периодическом технологическом процессе. Однако эта модель неудобна для передачи случайно возникающих событий, например, события, состоящего в случайном срабатывании датчика уровня, поскольку для получения этого события клиент должен периодически, с высокой частотой, запрашивать состояние датчика и анализировать его, перегружая сеть бесполезным трафиком.
- ✓ В модели взаимодействия *издатель-подписчик* имеется один издатель и множество подписчиков. Подписчики сообщают издателю список тегов, значения которых они хотят получать по определенному расписанию или по мере появления новых данных. Каждый клиент может подписаться на свой набор тегов. В соответствии с установленным расписанием издатель рассылает подписчикам запрошенную информацию.
- ✓ В любой модели взаимодействия можно выделить устройство, которое управляет другим (подчиненным) устройством.
- ✓ Устройство, проявившее инициативу в обмене, называют **ведущим, главным или мастером** (Master).
- ✓ Устройство, которое отвечает на запросы мастера, называют ведомым, подчиненным или **слейвом** (Slave).
- ✓ **Ведомое устройство** никогда не начинает коммуникацию первым. Оно ждет запроса от ведущего и только отвечает на запросы.
- ✓ В модели *клиент-сервер* клиент является мастером, сервер - подчиненным.
- ✓ В модели *издатель-подписчик* на этапе подписки мастером является клиент, а на этапе рассылки публикаций - сервер.

- ✓ В сети может быть одно или несколько ведущих устройств. Такие сети называется,
соответственно, **одномастерными** или **многомастерными**.
- ✓ В **многомастерной сети** возникает проблема разрешения конфликтов между устройствами, пытающимися одновременно получить доступ к среде передачи информации.
- ✓ Конфликты могут быть разрешены **методом передачи маркера**, как, например, в сети Profibus, **методом побитного сравнения идентификатора** (используется в CAN), **методом прослушивания сети** (используется в Ethernet) и **методом предотвращения коллизий** (используется в беспроводных сетях).

Во всех сетях применяется "*широковещательная рассылка*" без определенного адреса, т.е. всем участникам сети. Такой режим используется обычно для синхронизации процессов в сети, например, для одновременного запуска процесса ввода данных всеми устройствами ввода или для синхронизации часов.

Некоторые сети используют *многоабонентский режим*, когда одно и то же сообщение посылается нескольким устройствам одновременно.

Передача информации в сети выполняется через *канал* между передающим и приемным устройством. **Канал** является понятием теории информации и включает в себя линию связи и приемопередающие устройства. В общем случае вместо термина "**линия связи**" используют термин "**среда передачи**", в качестве которой может выступать, например, оптоволокно, эфир или витая пара проводов.

В распределенных системах на основе промышленных сетей может быть пять типов данных: *сигналы, команды, состояния, события, запросы* [Xi].

Сигналы - это результаты измерений, получаемые от датчиков и измерительных преобразователей. Их "время жизни" очень короткое, поэтому часто требуется получить только последние данные и в максимально короткий срок.

Команды - это сообщения, которые вызывают некоторые действия, например, закрытие клапана или включение ПИД-регулятора. Большинство систем должны обрабатывать потоки команд, которые передаются адресату с высокой надежностью и их нельзя передать повторно.

Состояние показывает текущее или будущее состояние системы, в которое она должна перейти. Требование к времени его доставки может быть не такие жестким, как для команд; неприятое состояние может быть послано повторно.

Событие наступает обычно при достижении текущим параметром граничного значения. Например, событием может быть выход температуры за технологически допустимую границу. За появлением события должны следовать ответные действия (подробнее см. раздел "Программное обеспечение"), поэтому для событий особенно важно требование гарантированного времени доставки.

Запрос - это команда, посылаемая для того, чтобы получить ответ. Примером может быть запрос серверу, который выдает на него ответ.

Ниже при описании сетей будет использоваться понятие *фрейма*. Под фреймом понимают набор данных, передаваемых по сети и имеющих строго оговоренную структуру (формат).

Термины "**кадр**", "**дейтаграмма**" "**сегмент**", используемые в стандартах на различные промышленные сети, ниже будут использованы как синонимы фрейма.

Сети могут иметь топологию **звезды**, **кольца**, **шины** или смешанную. "**Звезда**" в промышленной автоматизации используется редко. **Кольцо** используется в основном для передачи маркера в многомастерных сетях. Шинная топология является общепринятой, что является одной из причин применения термина "**промышленная шина**" вместо "**промышленная сеть**". К общей шине в разных местах может быть подключено произвольное количество устройств.

Основными параметрами промышленных сетей являются *производительность* и *надежность*. **Производительность сети** характеризуется *временем реакции* и *пропускной способностью*.

Время реакции сети определяется как интервал времени между запросом ведущего устройства и ответом ведомого при условии, что ведомое устройство имеет пренебрежимо малую задержку выработки ответа на запрос.

Пропускная способность сети определяет количество информации, переносимой сетью в единицу времени. Измеряется в бит/с и зависит от быстродействия сетевых приемопередатчиков и среды передачи.

Важной характеристикой промышленных сетей является **надежность доставки** данных. Надежность (см. также раздел "Аппаратное резервирование") характеризуется *коэффициентом готовности*, *вероятностью доставки данных*, *предсказуемостью времени доставки*, *безопасностью*, *отказоустойчивостью*.

Коэффициент готовности равен отношению времени наработки до отказа к сумме времени наработки до отказа и времени восстановления после отказа.

Вероятность доставки данных определяется **помехоустойчивостью канала** передачи и **детерминированностью** доступа к каналу. В

беспроводных сетях **вероятность потери пакетов** при передаче гораздо выше, чем в проводных. В сетях со случайным методом доступа к каналу существует вероятность того, что данные никогда не будут доставлены абоненту.

Время доставки данных в офисных сетях Ethernet является случайной величиной, однако в промышленном Ethernet эта проблема решена применением коммутаторов.

Безопасность - это способность сети защитить передаваемые данные от несанкционированного доступа.

Отказоустойчивость - это способность сети продолжать функционирование при отказе некоторых элементов. При этом характеристики системы могут ухудшиться, но она не теряет работоспособности.

В последнее время появился термин "качество обслуживания" (**QoS** - "Quality of Service"). QoS определяет вероятность того, что сеть будет передавать заданный поток данных между двумя узлами в соответствии с потребностями приложения.