



# Ethernet при помощи единой витой пары – уже реальность

Сергей Воробьёв

**В статье представлена новая стандартизованная технология передачи Ethernet-данных по однопарному кабелю, которая фактически позволит пересмотреть организацию физического уровня модели OSI.**

## ВВЕДЕНИЕ

Количество оборудования для промышленной автоматизации, предназначенного для работы в Ethernet-сетях, с каждым годом всё больше и больше растёт. Практически все современные интеллектуальные датчики и устройства полевого уровня могут быть подключены в единую Ethernet-сеть для более эффективного и продуктивного функционирования. Это, несомненно, открывает новые возможности и повышает гибкость системы. С учётом развития концепции Industry 4.0 и технологии IIoT практически на каждом уровне модели OSI произошли изменения. Появились новые протоколы (MQTT, REST IoT и т.д.), которые призваны обеспечить ещё большую гибкость, функциональность и безопасность сети. Развиваются технологии канального уровня, синхронизируемые по времени сети в ближайшее время станут реальностью.

Не стал исключением и физический уровень: медный кабель категории 5e и соединитель RJ-45 скоро претерпят изменения. Уже сейчас можно отметить, что рост числа интеллектуальных датчиков приводит к изменению количества кабельной структуры. При этом, как правило, используется 4-парный медный кабель, который год от года только дорожает.

Ранее при переходе от полевых шин, базирующихся на интерфейсах RS-232/422/485 (табл. 1), к Ethernet уже стали применяться более эффективные решения (рис. 1). Примерами могут служить сети Modbus, где, как правило, применяется проводник типа AWG22, и сети Modbus/TCP, где используется Industrial

Ethernet-кабель с проводниками AWG24 и даже AWG26. В итоге сеть стала быстрее, размер кабеля стал меньше и, главное, цена такой структуры заметно ниже. Но этого сейчас уже недостаточно: со-

единитель RJ-45 не всегда позволяет передать требуемую мощность по Ethernet-сети (технология PoE), а кабель, например, категории 5e, с одной стороны, не предполагает создавать линию передачи

Таблица 1

Характеристики популярных полевых шин

Протокол	Скорость	Максимальная длина
PROFIBUS DP	9,6 кбит/с...12 Мбит/с	100...1200 м
PROFIBUS PA	31,25 кбит/с	1900 м
CANopen	62,5...1 Мбит/с	30...1000 м
DeviceNet	125...500 кбит/с	100...500 м
AS-Interface	167 кбит/с	100 м
CC-Link	10 Мбит/с	100 м
IO-Link	230 кбит/с	20 м

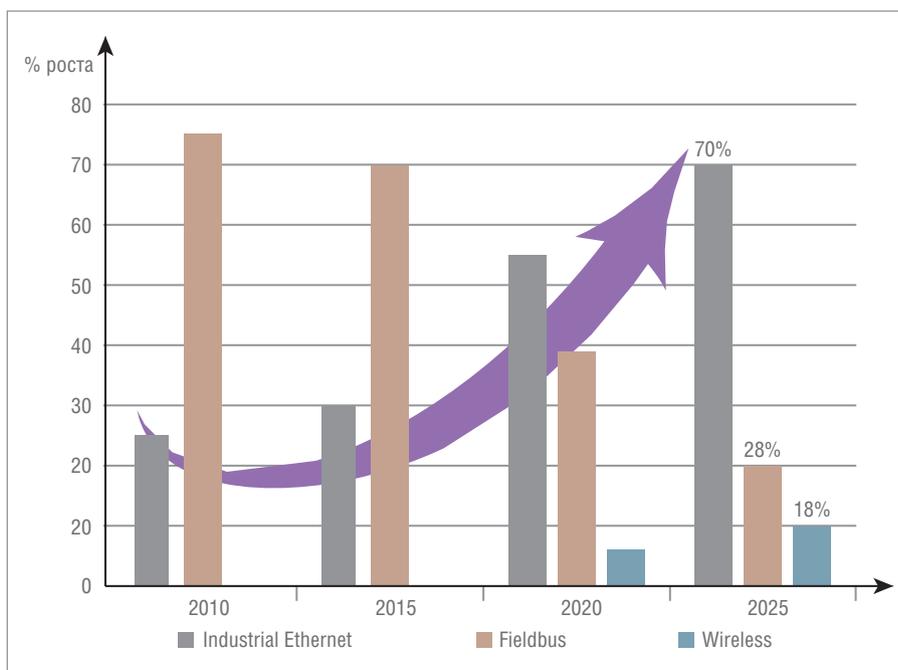


Рис. 1. Динамика развития типов промышленных сетей в мире

длиной более 100 метров, а с другой, зачастую бывает избыточен, так как это, как минимум, 4 медных проводника, которые нечасто используются совместно.

И прогресс не стоит на месте, уже сейчас при активном участии ведущих производителей кабельной продукции появляется новая группа стандартов, которая предполагает полнодуплексную передачу данных и питания всего лишь по одной витой паре, – технология Single Pair Ethernet (SPE). Фактически достаточно пары проводников для создания полнофункциональной стандартизированной промышленной Ethernet-сети.

### ПРОРЫВ ETHERNET-СЕТЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Переход промышленных сетей на Ethernet дал ощутимый рост производительности и гибкости. При этом подходы, которые описываются в концепции Industry 4.0 и IIoT, предполагают, что проводная передача данных основана на базе семейства технологий пакетной передачи Ethernet-данных. Фактически на всём протяжении сети, например между датчиком и облаком, проходит единая сеть Ethernet в соответствии с IEEE 802.3.

Но теперь, с появлением технологии Single Pair Ethernet (SPE, IEEE 802.3 SPE), для промышленной сферы вместе с возможностью реализации синхронизируемых по времени сетей, стал реальностью качественный переход на абсолютно новый уровень точности, гибкости, производительности и, самое важное, по более низкой цене.

Благодаря технологии SPE, в которой применены новые технологии кодирования и скремблирования данных, промышленные и технологические сети получают лучшие характеристики в части синхронизации устройств, подключённых к линии связи, уменьшается уровень ЕМI-помех, излучаемых на соседние линии, а также обеспечивается более высокая защита передаваемых данных.

При этом уже сейчас есть разработки, которые обеспечивают передачу данных и электропитания по одной витой паре на расстояние до 1000 метров. Фактически это один кабель и один тип сети, от которого может получать питание любой интеллектуальный датчик или привод, а также осуществляется передача и обмен данными. Это позволит получить ещё большее увеличение функциональных возможностей без роста затрат на установку, эксплуатацию и ремонт оборудования.

### РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ SPE

SPE-технология изначально получила своё развитие в автомобилестроительной отрасли. Для передовых автомобильных электронных систем передачи данных требуются быстрые сети связи, поскольку современный автомобиль обменивается огромным количеством данных между встроенным программным обеспечением и электронными блоками управления в режиме реального времени. В связи с этим была запущена работа по созданию стандарта IEEE 802.3bw-2015, который содержит спецификации физического уровня передачи Ethernet-пакетов и параметры управления для работы сети на скорости 100 Мбит/с по кабелю с одинарной сбалансированной витой парой (100Base-T1).

Фактически там, где раньше требовалось 4 пары проводников, теперь возможно использовать всего лишь одну пару. Стандарт 100Base-T1 был разработан с учётом совместимости с существующей автомобильной спецификацией OPEN Alliance BroadR-Reach®, при этом 100Base-T1 является первым в семействе стандартов Ethernet, который описывает передачу данных по одной паре.

В итоге 100Base-T1 – это физический полнодуплексный интерфейс, который означает, что данные отправляются и принимаются по одной и той же паре проводников. Физическая полнодуплексная передача достигается в соответствии с принципом суперпозиции полей. К примеру, линии 10Base-T и 100Base-TX имеют свою собственную

пару проводников для каждого направления передачи, а линия, построенная согласно 100Base-T1, имеет встроенные гибридные схемы, которые используют эхоподавление для разделения передаваемого и получаемого сигнала.

Сеть автомобиля, построенная на базе 100Base-T1, обеспечивает передачу аудио- и видеоданных, а также служебной и диагностической информации с использованием Ethernet-протоколов в реальном времени. За работу отвечают механизмы, описанные в так называемых AVB-стандартах (Audio Video Bridging: IEEE 802.1BA, IEEE 802.1AS, IEEE 802.1Qat, IEEE 802.1Qav). То есть фактически в автомобиле функционирует Ethernet-сеть, способная обеспечить высокую скорость передачи, прогнозируемую задержку передачи, а также жёсткую приоритезацию передаваемых данных (низкая скорость передачи данных с высоким приоритетом или высокая скорость передачи данных с низким приоритетом). И всё это на базе одной витой пары, что позволило не только повысить функциональность, но и обеспечить снижение общего веса кабельной сети, установленной в автомобиле, в итоге уменьшаются как материальные затраты, так и расходы на топливо.

Специалисты из сферы промышленной автоматизации достаточно быстро приняли к сведению достижения компаний автомобильной промышленности с технологией Single Pair Ethernet. Фактически эксплуатационная эффективность может быть достигнута с помощью создания единой сети с более

Характеристики линий, базирующихся на технологиях Ethernet

Таблица 2

Год принятия	Стандарт IEEE 802.3	Длина линии	Скорость	Пропускная способность	Категория согласно ISO/IEC TR1180	Число пар		
1990	IEEE 802.3i	10Base-T	100 м	10 Мбит/с	10 МГц	Cat 3	2	
1995	IEEE 802.3u	100Base-TX	100 м	100 Мбит/с	100 МГц	Cat 5	2	
1999	IEEE 802.3ab	1000Base-T	100 м	1 Гбит/с	100 МГц	Cat 5e	4	
2006	IEEE 802.3an	10GBase-T	100 м	10 Гбит/с	55 м	250 МГц	Cat 6	4
					500 МГц	Cat 6A	4	
					600 МГц	Cat 7	4	
					1000 МГц	Cat 7A	4	
2015	IEEE 802.3bw	100Base-T1	15 м UTP	100 Мбит/с	66 МГц	SPE	1	
2016	IEEE 802.3bp	1000Base-T1	40 м 15 м UTP	1000 Мбит/с	600 МГц	SPE	1	
2019	IEEE 802.3cg	10Base-T1L 10Base-T1S	1000 м 25 м UTP	10 Мбит/с	20 МГц	SPE	1	
2020	IEEE 802.3ch	Multi-Gig	(15 м)	(2,5/5/10G Гбит/с)	–	SPE	1	

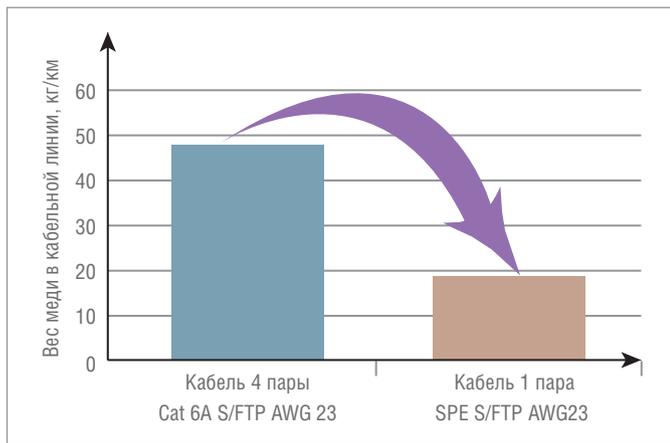


Рис. 2. Снижение общего веса кабельной линии при использовании SPE-технологии



Рис. 3. Пример SPE-кабеля Belden

высокой пропускной способностью. Но вопрос в том, как это реализовать.

Стандарт IEEE 802.3bw устанавливает максимальную длину линии в 15 метров. Этого достаточно для автомобиля, но недостаточно для промышленной сети. Для решения данной задачи в 2019 году был разработан и принят новый стандарт IEEE 802.3cg (10Base-T1L), который позволяет передавать данные на скорости 10 Мбит/с на расстоянии до 1000 метров (табл. 2). Фактически данный стандарт позволяет объединить в Ethernet-сеть практически все устройства, не прибегая к использованию Ethernet-удлинителей, VDSL-модемов и т.д., и это всё только по одной паре проводников, что позволит значительно снизить общий вес кабельной системы (рис. 2). SPE-кабель также можно использовать для реализации технологии PoDL (Power over Data Lines), альтернативы PoE для питания удалённых устройств.

### Два новых кабельных стандарта МЭК

В настоящее время разрабатываются два новых кабельных стандарта для SPE-кабелей. Они получили индексы МЭК 61156-13 и МЭК 61156-14, описывают симметричные однопарные кабели с характеристиками передачи на ча-

стоте до 20 МГц и на расстоянии до 1 километра преимущественно для промышленных применений. Стандарты подразумевают, что кабель должен обладать экраном и поддержкой возможности передачи электропитания для удалённых устройств (рис. 3).

МЭК 61156-13 описывает кабель, в котором проводник выполнен из однопроволочной меди с диаметром проводника от 0,64 до 1,7 мм и предназначен для применения в задачах, где не предполагается изгиб кабеля в процессе работы.

Кабель, соответствующий МЭК 61156-14, должен быть выполнен из многопроволочной меди и предназначен для использования в задачах, где подразумевается изгиб кабеля в процессе работы.

Также можно отметить, что ассоциации PROFIBUS & PROFINET International (PI), ODVA и FieldComm Group работают в части поддержки и разработки стандартов SPE. В рамках данной работы были определены усовершенствования, касающиеся физического уровня (**Advanced Physical Layer, APL**). Они описывают возможности передачи питания и данных по экранированной витой паре к полевым устройствам, поддерживают магистральную и линей-

ную топологию. Фактически APL – это защищённый двухпроводной физический уровень Ethernet с возможностью обеспечения электропитания оконечных устройств, использующий 10Base-T1L. Он позволяет обеспечить прямое подключение полевых устройств к системам на базе Ethernet-сетей, за счёт чего возможно достаточно легко объединить IT- и OT-системы. При этом одной из важных особенностей нового APL является устранение возможных помех между устройствами, подключёнными к одной сети. Предполагается, что усовершенствования будут оформлены в виде стандарта к 2021/22 году.

### Соединители для одиночной витой пары ETHERNET

Преимущества перехода на SPE достаточно прозрачны. При этом требования для SPE касаются не только кабелей, но и соединителей. Сейчас в разработке находятся шесть новых стандартов для соединителей для различных применений. Четыре из них – IEC 63171-(1-4) – предназначены для офисной среды (IP20), имеют аббревиатуру MICE уровня 1 (Mechanical Ingress, Climatic, Electromagnetic). МЭК 63171-5 и МЭК 63171-6 опи-

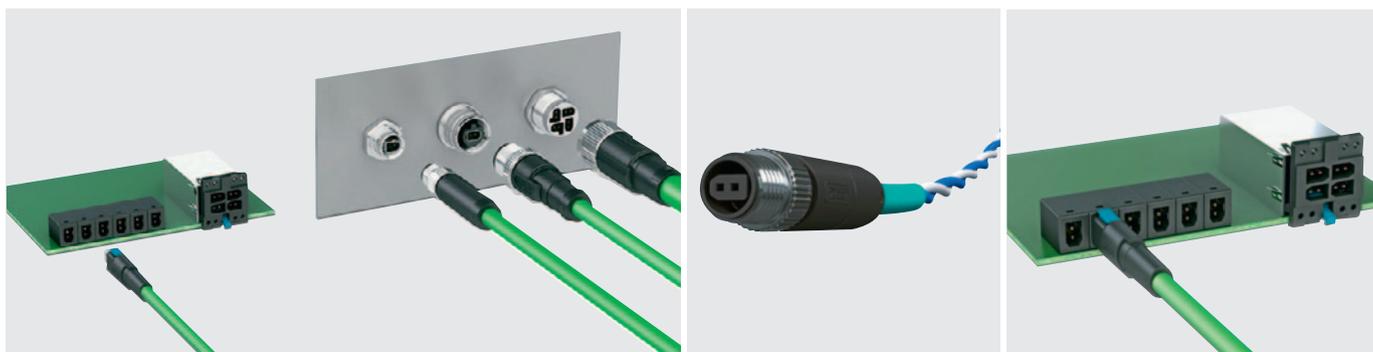


Рис. 4. Пример соединителей для SPE-линии

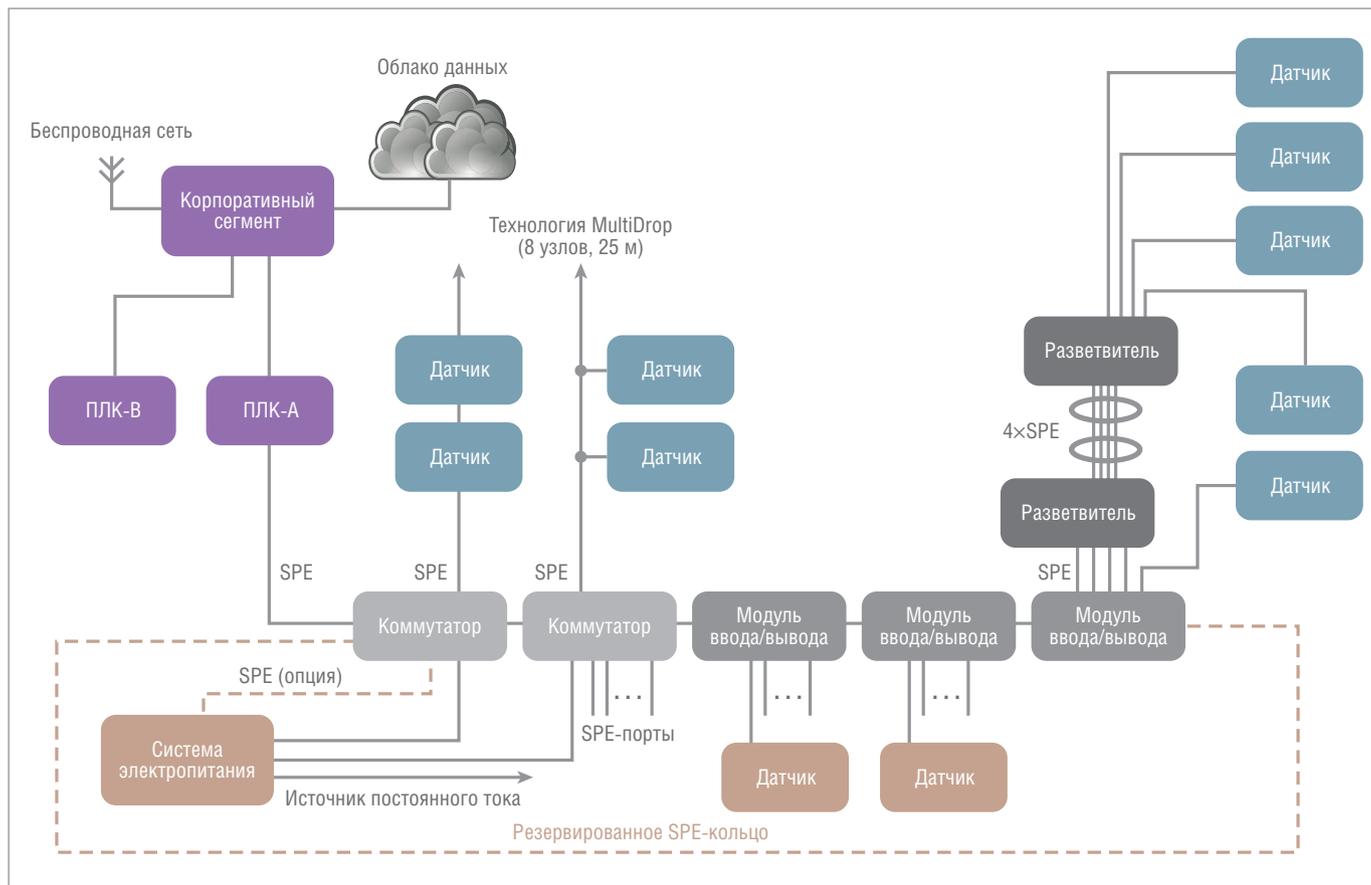


Рис. 5. Пример возможного применения SPE-кабеля

сывают SPE для промышленной среды с исполнением IP65/67. Эти двухконтактные соединители имеют аббревиатуру MICE 2 и MICE 3 соответственно (рис. 4). Все варианты соединителей, которые описаны стандартами МЭК 63171, должны соответствовать общим требованиям для соединителей, предназначенных для передачи данных по одной паре и с возможностью передавать токовую нагрузку.

Соединители, соответствующие МЭК 63171, предназначены для использования в сетях Ethernet с одной парой в соответствии со стандартами IEEE Ethernet: 10Base-T1 (IEEE 802.3cg), 100Base-T1 (IEEE 802.3bw), 1000Base-T1 (IEEE 802.3bp) и PoDL (IEEE 802.3bu).

Кроме того, уже сейчас стандарт ISO/IEC 3WD TR 11801 часть 9906, который описывает общие принципы кабельных сетей, ссылается на организацию каналов передачи данных на основе SPE-сетей в соответствии со стандартами IEEE 802.3. В этом документе чётко изложена организация сетей по стандартам IEEE 802.3bp (1000 Мбит/с до 40 м), IEEE 802.3bw (100 Мбит/с до 15 м – UTP) и IEEE 802.3cg (10 Мбит/с до 1000 м – достижимы), при этом конструкция кабеля и диаметр провода определяют возможный радиус действия.

### IEEE 802 КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ INDUSTRY 4.0

Период успешного развития стандартов IEEE 802 с момента их создания по сей день составляет около 30 лет. Это связано с честным, открытым и прозрачным процессом разработки, в связи с тем, что мероприятия по стандартизации и спецификации сетей типа SPE в промышленной сфере происходили совместно. Технология SPE рассматривается как неотъемлемая часть концепции Industry 4.0. Фактически при использовании SPE подход, при котором возможно реализовать единую стандартизованную сеть предприятия, объединяющую полевой уровень, ПЛК, MES и ERP, становится реальностью (рис. 5).

В настоящее время уже создана новая рабочая группа IEEE P802.3ch для разработки промышленного стандарта для сетей передачи данных, способных обеспечить скорость передачи до 10 Гбит/с по кабелю с одной парой проводников. Это означает, что подсистемы предприятия могут стать, с одной стороны, более функциональными, а с другой стороны, меньше по габаритам, что приведёт к снижению энергопотребления, а более простая прокладка кабельной сети позволит уменьшить расходы на материалы

и трудозатраты при строительстве новых производственных площадок.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология Single Pair Ethernet (SPE) – это технология будущего, которая позволит создать единую стандартизованную сеть передачи данных для всего предприятия. Фактически подобный подход – это неизбежное требование для реализации концепции Industry 4.0. Однопарный кабель может обеспечить скорость до 1 Гбит/с (IEEE 802.3bp) и расстояние до 1 км (IEEE 802.3cg). Компания Belden уже сейчас представила первые опытные образцы SPE-кабеля, которые полностью соответствуют новым стандартам. В дальнейшем развитие технологии SPE позволит фактически пересмотреть физический уровень модели OSI и создать более функциональное и экономичное оборудование, и это не только кабель и соединители, а практически все компоненты сети, такие как коммутаторы, модули ввода-вывода и т.д., что, в свою очередь, позволит промышленным сетям перейти на качественно новый уровень. ●

Автор – сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
Телефон: (495) 234-0636  
E-mail: info@prosoft.ru