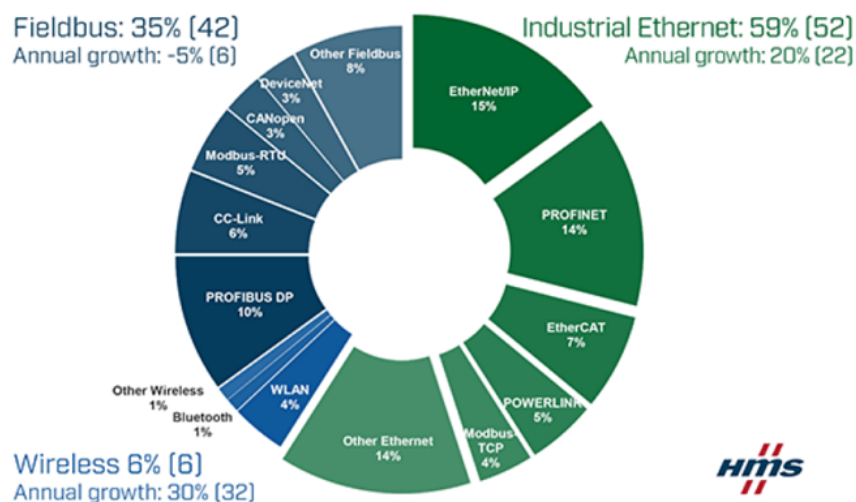


# Стандарты промышленного Ethernet: прокладывание пути к следующей промышленной революции

## Обзор

Ethernet уже давно стал стандартным протоколом «де-факто», который контролирует передачу данных в локальных сетях (LAN) и глобальных сетях (WAN). Его преимущества хорошо изучены в корпоративном мире — это совместимость, избыточность, гибкость, масштабируемость, скорость и экономичность. За последние несколько десятилетий Ethernet значительно эволюционировал и теперь быстро внедряется в промышленных системах.

Протокол на уровне Ethernet, используемый в офисных приложениях на базе TCP/IP, изначально вызвал проблемы в промышленном мире из-за того, что пакеты данных транслируются на все узлы по различным маршрутам без определенного целевого времени и последующих задержек, что препятствовало передаче данных «в реальном времени», необходимой для межмашинного (M2M) взаимодействия. В настоящее время разработаны несколько промышленных протоколов Ethernet, которые предлагают все преимущества Ethernet, но с модификациями, обеспечивающим меньшую задержку и детерминизм. К ним относятся такие протоколы, как Modbus TCP/IP™, EtherCat™, EtherNet/IP™ и PROFINET™. В результате использование Ethernet для промышленной автоматизации стремительно растет и быстро заменяет традиционные протоколы Fieldbus, которые являются более сложными, часто запатентованными и отличаются ограниченным расстоянием и производительностью. В действительности, промышленный Ethernet сейчас опережает традиционный Fieldbus и растет за год почти в четыре раза быстрее, чем Fieldbus.



2019 share of installed market by connection technology. Source: HMS Networks

# Содержание

Обзор

Как разобраться в хайпе

Промышленные предприятия работают в жестких условиях

Промышленное оборудование более чувствительно к задержкам

Разработка стандартов Ethernet для промышленных сред

Для Северной Америки — TIA-1005

Международные — ISO/IEC 11801-3

Большая тройка — IEC 61158, IEC 61918 и IEC 61784

Дополнительные стандарты, которые необходимо учитывать

Что дальше?

## Как разобраться в хайпе

В промышленной отрасли много модных слов, которые могут вызвать путаницу — от промышленного Ethernet и промышленного Интернета вещей (IIoT) до Четвертой промышленной революции и интеллектуального производства. Промышленный Ethernet используется для описания любого протокола промышленной связи на основе Ethernet, а термины IIoT (который возник из Интернета вещей), Четвертая промышленная революция и интеллектуальное производство являются взаимозаменяемыми, поскольку все они ссылаются на тенденцию, которая сочетает промышленное производство и операции с цифровыми данными в режиме реального времени, машинным обучением и искусственным интеллектом. Термин «Четвертая промышленная революция» (Industry 4.0) относится к тому факту, что эту тенденцию можно считать четвертой промышленной революцией — первой революцией было использование гидравлического и парового оборудования в начале 1800-х годов, второй — внедрение стальных, электрических и сборочных линий в начале 1900-х годов, а третьей — внедрение компьютерных технологий в заводские среды в 1960-х годах.



Промышленный Ethernet — это один из ключевых факторов, лежащих в основе четвертой промышленной революции и IIoT, поскольку он обеспечивает совершенно новый уровень взаимодействия и связи между людьми и машинами в производственном процессе, предоставляя при этом доступ к информации в реальном времени. Это в конечном итоге позволит лучше контролировать и отслеживать цепочки поставок, автоматизировать и оптимизировать техническое обслуживание, а также повысить эффективность совместной работы и производительность — иными словами, реализовать интеллектуальное производство. Поскольку протокол Ethernet используется для передачи данных в LAN и WAN, промышленный Ethernet также открывает путь к лучшему обмену информацией между производственным цехом и корпоративным офисом. Поддержка также становится проще благодаря большому количеству ИТ-специалистов, хорошо разбирающихся в Ethernet, и инструментов.

## Промышленные предприятия работают в жестких условиях

Традиционный Ethernet обычно устанавливается в относительно чистой и комфортной среде, такой как офисные здания, школы и больницы. Для промышленного Ethernet все наоборот. Промышленный Ethernet используется на заводах и даже вне помещений на длинных конвейерах и внутри шахт. В таких средах создаются большие нагрузки на кабели. К механическим факторам относятся удары, постоянное движение (роботизированные манипуляторы и поворотные столы) и вибрация. В случае попадания влаги и химических веществ в кабель, в некоторых отраслях промышленности, таких как производство продуктов питания и напитков, ежедневно промывают их оборудование (в том числе кабели) из шлангов. Климатическая нагрузка возникает в результате изменения температуры в горячих (пекарни, литье стали) и холодных средах. Электромагнитные помехи от частотно-регулируемых приводов, двигателей, контакторов и другого оборудования могут воздействовать на кабели и устройства Ethernet. Такие MICE-нагрузки могут стать основной причиной отказов кабелей промышленного Ethernet, которые могут возникать периодически и которые будет трудно диагностировать.

## Промышленное оборудование более чувствительно к задержкам

Большинство из нас использует Ethernet для подключения к Интернету, беспроводной точке доступа, серверу, телефону, электронной почте или принтеру. Ethernet был разработан для перемещения пакетов данных, также называемых кадрами, между человеком и устройством, таким как принтер. Передача пакета обычно занимает менее миллисекунды. Если по какой-либо причине пакеты не проходят первый раз, Ethernet будет продолжать попытки до тех пор, пока пакеты не будут переданы. Это может привести к задержке в 2 с при печати двухстраничного документа, и никто этого не заметит.

Промышленный Ethernet соединяет машины с другими машинами, выполняющими важные, срочные и иногда опасные задачи. Рассмотрим устройство, управляемое промышленным Ethernet, которая перемещает тяжелый частично собранный автомобиль на следующую сборочную станцию. Как можно представить, неправильные движения могут повредить оборудование или нанести травму людям, повлиять на качество или производительность. В отличие от примера с принтером, если несколько пакетов Ethernet задерживаются еще на одну секунду, устройство должно остановиться, чтобы избежать потенциальной проблемы безопасности. Чтобы вернуть все в безопасное состояние и перезапустить оборудование, может потребоваться несколько часов — все из-за нескольких потерянных или задержанных пакетов.

Помимо всех преимуществ Ethernet, были созданы стандарты для промышленных сред с целью обеспечить надежную работу в ситуациях, чувствительных к времени, в жестких промышленных условиях.

## Разработка стандартов Ethernet для промышленных сред

Тогда как локальные и глобальные сети на основе Ethernet относятся к корпоративному миру, создание стандартов промышленных кабельных систем обеспечивает совместимость и поддержку продуктов различных поставщиков, в том числе поддержку будущих сценариев и использования проверенных методов установки, проверки и обслуживания, которые в конечном итоге гарантируют качество и надежность в течение всего срока службы сети. Промышленные сети — не исключение, но, как отмечалось выше, они гораздо более чувствительны к ошибкам передачи данных.

Когда речь идет о стандартах кабельных систем для промышленных сетей, Ассоциация телекоммуникационной промышленности (TIA) разрабатывает стандарты для Северной Америки, а Международная организация по стандартизации (ISO)/Международная электротехническая комиссия (IEC) разрабатывает международные стандарты. В TIA технический комитет TR-42 отвечает за разработку и поддержание стандартов для телекоммуникационной инфраструктуры помещений, а в связи с необходимостью предоставления поставщиками соответствующих стандартам решений для подключения как на национальном, так и на международном уровне, в этом инженерном комитете активно участвуют специалисты из разных стран. В действительности, в рабочей группе ISO/IEC WG3 и в подкомитетах TIA TR-42 много одних и тех же активных участников. В целом, стандарты TIA соответствуют стандартам ISO/IEC с некоторыми отличиями в терминологии. Подкомитет по промышленной телекоммуникационной инфраструктуре TR-42.9 работает со стандартами кабельных систем для промышленных сред.

Когда речь идет о кабельных системах промышленной автоматизации, вся разработка стандартов промышленного Ethernet на международном уровне проходит в подкомитете IEC SC65C. Совместная рабочая группа (JWG), состоящая из специалистов ISO и IEC, — подкомитет 65C/JWG-10 — была специально сформирована для определения проводки и кабелей Ethernet в промышленной среде и координации перекрывающихся доменов структурированных кабельных систем. Эта группа также отвечает за разработку и поддержание спецификаций установки Fieldbus в рамках системы стандартов Fieldbus.

Помимо TIA, ISO и IEC, существуют другие региональные группы стандартов кабельных систем, такие как CENELEC (Европейский комитет по электротехнической стандартизации), JSA/JSI (Японская ассоциация стандартов) и CSA (Канадская ассоциация стандартов), которые разрабатывают спецификации для своего региона или страны. Эти региональные группы по стандартизации активно участвуют в работе технических консультативных комитетов ISO, и содержание их стандартов, как правило, в значительной степени соответствует требованиям TIA и ISO/IEC. Помимо стандартов кабельных систем, CENELEC также имеет эквивалентные стандарты Fieldbus, согласованные с версией IEC.

Теперь, когда вы знаете, какие комитеты работают, давайте посмотрим, как конкретные стандарты, которые они разрабатывают, относятся к промышленным сетям.

## Для Северной Америки — TIA-1005

Опубликованный в мае 2012 года стандарт инфраструктуры TIA-1005 для промышленных объектов описывает требования к инфраструктуре, расстоянию, конфигурации телекоммуникационных розеток/разъемов и топологии для кабельных систем, развернутых в промышленных средах. TIA-1005 ссылается на семейство стандартов TIA-568, определяющих требования к структуре, топологии, расстоянию, установке, производительности и тестированию универсальных телекоммуникационных кабельных систем, но в частности включает в себя структурированные рекомендации по кабельным системам для промышленных сред, условия в которых обычно более жесткие, а также содержат специализированные области, такие как участки автоматизации и области промышленных устройств.

Один из ключевых аспектов стандарта TIA-1005 — использование метода MICE (механические, проникающие, климатические и электромагнитные факторы) для классификации сред, необходимый для выбора компонентов для построения промышленной сети. Метод использует следующие характеристики.

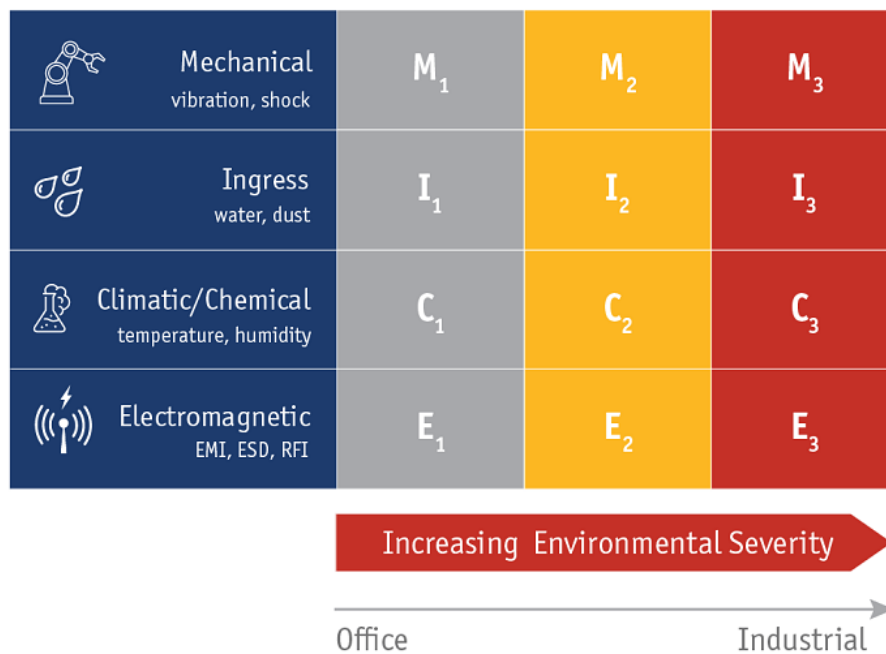
- Механические факторы: удары, ударная вибрация, сгибание и сдавливание
- Проникающие факторы: частицы жидкости, влажность и погружение
- Климатические/химические факторы: температура, температурный шок, влажность, УФ-излучение (солнечное излучение) и химическое загрязнение
- Электромагнитные факторы: электростатические разряды, РЧ-излучение, EFT, переходной потенциал заземления, магнитное поле

Классификация MICE разбивает промышленные среды на три уровня в зависимости от степени жесткости условий.

- MICE уровень 1: коммерческая офисная среда

- MICE уровень 2: легкая промышленность, например помещения для сборки, обработка пищевых продуктов, учреждения здравоохранения или области промывки
- MICE уровень 3: Тяжелые промышленные предприятия, такие как нефтехимическая промышленность, литейные заводы, автомобильное производство или организации по механической обработке

### MICE Environmental Classifications



Важно отметить, что уровень (1, 2 или 3) может быть не одинаковым для всех характеристик MICE, и на самом деле любая промышленная среда редко относится исключительно к одному уровню. Например, в средах M3I3C3E3 требуются компоненты сетевой инфраструктуры, способные выдерживать самые высокие уровни вибрации, ударов, силы растяжения и изгибов, более распространенной классификацией может быть M1I3C3E1, где механические и электромагнитные характеристики не отличаются от характеристик коммерческой среды уровня 1, но наличие жидкости и химических веществ приводит к классификации проникновения и климатических/химических свойств на уровне 3. Ключом к использованию классификации MICE для определения компонентов всегда является разработка для наихудшего случая.

### Международные — ISO/IEC 11801-3

В стандарте ISO/IEC 11801-3 Информационные технологии -- Общие кабели для объектов клиентов -- часть 3: Промышленные сети определяются типовые кабельные системы, которые имеют решающее значение для предоставления надежных услуг на островах автоматизации в промышленных помещениях или промышленных зонах в других типах зданий. Этот стандарт заменяет ISO/IEC 24702, который был опубликован в 2006 году и описывал кабельные системы, предназначенные для промышленных помещений или промышленных зон в других типах помещений. В связи с прекращением действия стандарта ISO/IEC 24702 классификация сред по методу MICE, которую мы также видим в стандарте TIA-1005, теперь находится в стандарте ISO/IEC 11801-1 «Типовые кабельные системы для помещений клиентов — часть 1: общие требования».

В целом, стандарты ISO/IEC 11801 охватывают кабельные системы, которые обычно используются для локальных сетей, включая 4-парные сбалансированные медные и оптоволоконные кабели на основе витой пары. В дополнение к ISO/IEC 11801-3, они включают в себя офисные помещения (покрытые ISO/IEC 11801-2) и помещения ЦОД (покрытые ISO/IEC 11801-5). Как и в серии стандартов TIA-568, в семействе стандартов ISO/IEC 11801 указывается производительность физических носителей и передачи для поддержки различных скоростей Ethernet.

Следует отметить, что, хотя стандарт ISO/IEC 11801-3 охватывает кабельные системы, подключаемые к острову автоматизации, он не касается критических сценариев автоматизации, управления и мониторинга процессов в самом острове автоматизации — информация об этих кабельных

системах для конкретных областей применения представлена в серии стандартов IEC 61158, IEC 61918 и IEC 61784.

## Большая тройка — IEC 61158, IEC 61918 и IEC 61784

Касательно промышленного Ethernet и адресации приложений в пределах зоны автоматизации можно выделить три наиболее важных кабельных стандарта: IEC 61918 «Сети связи промышленные. Установка сетей связи в промышленных помещениях», IEC 61784-5 «Сети связи промышленные. Профили» и IEC 61158 «Промышленные сети. Спецификации полевых шин», все из которых контролируются подкомитетом IEC 65C (SC65C).

IEC 61918 стандартизирует общие элементы во всех полевых шинах, в том числе на основе Ethernet. Стандарт IEC 61784, которая состоит из 36 документов, определяет набор профилей связи для отдельных протоколов, которые будут использоваться при проектировании устройств для автоматизации и управления технологическим процессом. Стандарт IEC 61158, который состоит из 83 документов, предоставляет рекомендации и спецификации для промышленных коммуникационных сетей, в том числе определение физического уровня, уровня канала передачи данных и уровня приложений для сетей Fieldbus и Ethernet. В нем также объясняется структура серии IEC 61784 и порядок использования стандартов в сочетании друг с другом.

IEC 61784-5 охватывает несколько семейств профилей связи (CPF), которые определяют один или несколько профилей связи. Разделенный на подчасти для каждого профиля CPF стандарт определяет, какие требования IEC 61918 применяются к каждому профилю и, при необходимости, дополняет, изменяет или заменяет требования. К некоторым из популярных профилей промышленного Ethernet, рассматриваемых в 61784IEC5, относятся EtherCat, Profinet, Modbus TCP/IP и EtherNet/IP, как показано в таблице 1 ниже.

61784-5 CPF	Коммерческое наименование
1	Foundation Fieldbus HSE
2	Ethernet/IP
3	PROFINet
4	P-NET
10	VNET/IP
11	TCnet
12	EtherCAT
13	Ethernet Powerlink
14	EPA
15	Modbus-RTPS
16	Sercos III

Таблица 1. Поддерживаемые профили промышленного Ethernet.

Эти три основных документа большие и довольно дорогие, при этом вам нужны только документы, относящиеся к сети, которую вы развертываете. К счастью, IEC распределяет стандарты IEC 61158, IEC 61918 и документы 61784, относящиеся к используемому профилю CPF.

## Дополнительные стандарты, которые необходимо учитывать

Вот некоторые дополнительные стандарты, которые следует учитывать в дополнение к вышеупомянутым стандартам кабельных систем промышленного Ethernet.

- ISO/IEC 14763-2 «Ввод в действие и эксплуатация кабельной сети помещений пользователя. Часть 2. Планирование и монтаж»: определяет планирование, установку и эксплуатацию инфраструктур для поддержки универсальных кабельных систем, в том числе промышленных помещений. Этот стандарт охватывает такие темы, как контроль качества, спецификация установки, планирование установки, практические методы установки, документация, администрирование, тестирование, осмотр, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт.
- ISO/IEC 14763-3 «Ввод в действие и эксплуатация кабельной сети помещений пользователя. Часть 3. Тестирование волоконно-оптических кабелей описывает процедуры тестирования оптических кабельных линий, которые будут использоваться для обеспечения того, чтобы оптоволоконные кабели, разработанные в соответствии с ISO/IEC 11801 и установленные в соответствии с рекомендациями ISO/IEC 14763-2, могли обеспечить уровень передачи, указанный в ISO/IEC 11801. В данном документе рассматриваются условия запуска многомодового кабеля, двунаправленное рефлектометрическое тестирование, метод тестирования с тремя перемычками, методы осмотра торцевой поверхности оптоволокна и критерии, а также использование эталонных разъемов.
- IEC 61935-1 «Сети симметричных и коаксиальных кабелей для информационных технологий. Требования к испытаниям. Часть 1. Проложенные симметричные кабельные сети в соответствии с ISO/IEC 11801 и аналогичными стандартами» описывается комплексное тестирование установленных кабельных систем, предназначенное для гарантии того, что кабельные системы будут поддерживать телекоммуникационные решения, предназначенные для работы в общей кабельной системе.

## Что дальше?

По мере развития IIoT и четвертой промышленной революции, а также распространения все более интегрированной, стандартизированной среды на основе Ethernet на промышленных предприятиях мы увидим разработку дополнительных стандартов и продолжающиеся усилия по согласованию, координации и оптимизации спецификаций в стандартизирующих организациях. И TIA, и ISO/IEC уже разрабатывают стандарты для однопарных промышленных решений Ethernet, ориентированных на простую и низкоскоростную связь M2M (т. е. 10 Мбит/с). Технология Ethernet на одной паре позволяет значительно сократить затраты за счет устранения неиспользуемых пар традиционной четырехпарной кабельной системы и использования кабелей и разъемов меньшего размера.

Комитет TIA по инфраструктуре промышленных телекоммуникаций TR-42.9 в настоящее время разрабатывает два приложения к стандарту TIA-1005 для кабельных систем, сценариев использования и топологии однопарных приложений Ethernet в промышленных помещениях. ISO/IEC в настоящее время работает над техническим отчетом (TR 11801 9906), который определит производительность отдельных каналов Ethernet на одной паре. Кроме того, изменения в серии стандартов ISO/IEC 11801 будут охватывать требования к компонентам Ethernet на одной паре и к кабельным системам как в типовых, так и в специализированных средах, включая промышленные.

Поскольку типичные кабели и разъемы офисного класса не всегда подходят для промышленных систем автоматизации и управления из-за таких факторов, как вибрация, электрические шумы, движущееся оборудование, опасность удара, все виды солнечного света, вода, загрязняющие вещества и растворители, важно убедиться, что вы соблюдаете соответствующие стандарты, специально разработанные для промышленных сред. Изучив обзор среды промышленных стандартов Ethernet, мы надеемся, что она будет казаться менее запутанной и более управляемой, или, по крайней мере, вы сможете понять, с чего начать, какие документы стандартов вам необходимо рассмотреть, а также какие организации и комитеты будут заниматься обновлениями. Помните, что создание вашей промышленной сети в соответствии с национальными или международными стандартами поможет обеспечить совместимость и поддержку будущих решений.

Так как в серию инструментов DSX CableAnalyzer встроены сотни различных пределов тестирования, вы можете задать себе вопрос: какие из них основаны на промышленных стандартах Ethernet и могут использоваться в таких средах? Мы рекомендуем вам обратиться к поставщику оборудования и кабельных систем, а также к поставщику оборудования для автоматизации, чтобы определить необходимые тесты и пределы испытаний для вашей системы. Ниже приведена информация о пределах, встроенных в DSX на основе стандартов промышленного Ethernet.

Первое — стандарт TIA-1005 для тестирования каналов. Пределы теста доступны для каналов TIA 1005-A на основе кат. 5е, 6 или 6А. Вам потребуется выбрать уровень MICE «Е» (1, 2 или 3) для проверки электромагнитной чувствительности на основе измерений поперечных потерь преобразования (TCL). Вы также можете включить дополнительные тесты, выбрав «+PoE» или «+All». Тесты «+PoE» включают в себя набор тестов на сопротивление, которые полезны при выявлении разъемов с высоким сопротивлением контактов, которые могут привести к раннему отказу и периодическим проблемам в средах MICE уровня 2 и 3. Использование этих пределов тестирования требует использования адаптеров каналов, поставляемых с тестером DSX (модель DSX-CHA004 или DSX-CHA804). Это значит, что тесты TIA-1005 основаны на конфигурации канала, то есть

производительность разъемов на концах линии не тестируется. Если эти разъемы заделываются на месте, это может быть нецелесообразно.

Второй набор пределов испытаний основан на техническом отчете ISO 11801-9902. В отличие от предельных значений TIA-1005, они включают в себя производительность разъемов на каждом конце и поэтому называются тестами «сквозного соединения» — там вы их и найдете в предельных значениях теста DSX. Аналогично пределам TIA, вы можете выбрать класс D и E, а также уровень MICE «E». Кроме того, необходимо указать количество соединений в линии (от двух до шести). Для тестирования последнего разъема в линии требуется набор дополнительных адаптеров коммутационных кабелей, соответствующих пределу класса, для которого выполняется тестирование (DSX-PC5ES для кат. 5e/класса D, DSX-PC6S для кат. E 6/класса E или DSX-PC6AS для кат. 6A/класса FA). Будущие поправки стандарта ISO 11801-3 также будут содержать сквозные соединения, которые будут добавлены в DSX, когда они станут доступны.

Третий набор пределов предназначен для соединений PROFINET и находится в группе «Приложение» в DSX. Существует только два варианта: PROFINET и PROFINET 2pr E2E (сквозное соединение). Однако эти испытания проводятся с использованием адаптеров каналов, поэтому они могут не подходить для концевых разъемов с заделкой на месте.

В зависимости от выбранных предельных значений может потребоваться указать конфигурацию розетки: это может быть проводка TIA568A или B, только две пары или разъем M12 (для которого требуются дополнительные адаптеры).

Подробные инструкции по настройке DSX для различных промышленных конфигураций см. на странице <https://www.flukenetworks.com/industrialethernet/testing-industrial-ethernet-cabling-dsx-cableanalyzer>.



*Testing different configurations of Ethernet connections requires the use of the correct adapters. Shown: адаптеры постоянного соединения, канала, коммутационного шнура и M12*



## О компании Fluke Networks

Fluke Networks — это ведущий в мире поставщик инструментов для сертификации, диагностики и установки для профессионалов, которые устанавливают и поддерживают кабельные инфраструктуры. Наше сочетание ставшей легендарной надежности и высочайшей производительности помогают специалистам эффективно выполнять свою работу — от установки оборудования самых современных центров обработки данных до восстановления систем в самых суровых условиях. К флагманским продуктам компании относится инновационное облачное решение LinkWare™ Live для сертификации кабелей. В настоящее время в эту облачную службу загружено уже более 14 миллионов результатов тестирования.

1-800-283-5853 (US & Canada)

1-425-446-5500 (международные звонки)

<http://www.flukenetworks.com>

Descriptions, information, and viability of the information contained in this document are subject to change without notice.

Revised: 30 июня 2020 г. 10:33 AM

Literature ID: 7003117

© Fluke Networks 2018