

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
Федерального Государственного бюджетного
образовательного учреждения
Высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический
университет»

Н.И. Ларионова, Г.Б. Минигалиев

ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЕ СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

**Нижекамск
2011**

Взрывозащищенные сетевые технологии: учебно-методическое пособие / сост.: Н.И. Ларионова, Г.Б. Минигалиев - Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) КГТУ, 2011. - 86 с.

В пособии представлены основные конструкционные сведения по организации взрывозащиты в классе полевых сетей. Приведены основные характеристики, принципы действия, виды взрывозащиты.

Пособие предназначено для студентов специальностей «Автоматизированные системы обработки информации и управления» и «Автоматизация технологических процессов и производств» всех форм обучения, а также для студентов технологических и механических специальностей при выполнении курсового и дипломного проектирования раздела «Автоматизация технологических процессов»

Подготовлено на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет»

Печатается по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет»

Рецензенты:

Елизаров В.В., доктор технических наук;

Кутузов А.Г., доктор технических наук;

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СЕТИ	6
1.1 Основные понятия	6
1.2. Основные характеристики цифровых промышленных сетей	7
1.3. Тенденции развития ЦПС.....	10
1.4 Наиболее общие практические выводы эксплуатации ЦПС..	13
2. ПРИМЕНЕНИЕ ЦПС ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ	16
2.1 Структура искробезопасных Fieldbus-систем	16
2.2 Оценка искробезопасности для интерфейса RS-485	18
2.3 Модель FISCO.....	25
2.4 Сочетание разных видов взрывозащиты в Fieldbus-системах	30
3. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ.	36
4. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ FIELDCONNEX®	43
4.1 Сегментные соединители	43
4.2 Модуль повторителя мощности.....	45
4.3 Распределительные коробки	46
4.4 Модули защиты сегмента	49
4.5 Полевой барьер	51
5. МОДУЛИ РАСШИРЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ FIELDCONNEX® ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	56
5.1 Диагностика на стадии ввода в эксплуатацию	56
5.2 Диагностика на этапе эксплуатации	60
5.3 Поиск неисправностей и анализ тренда	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
ЛИТЕРАТУРА	64
Приложение А. Некоторые примеры промышленных сетевых технологий.	66
Приложение Б. Ethernet в промышленности	73
Приложение В. Установка нескольких искробезопасных устройств FOUNDATION fieldbus с системой DeltaV	80
Приложение Г. Многоходовой температурный модуль системы FieldConnex®: простая интеграция сигналов от датчиков температу- ры в сеть FOUNDATION Fieldbus	83
Приложение Д. Определение отношения максимальной индуктивности к со- противлению (L_0/R_0) для источника питания с внутренним сопротивлением R_i .	86

ВВЕДЕНИЕ

Процесс автоматизации промышленных производств развивается все более ускоряющимися темпами: увеличивается количество «интеллектуальных» оконечных устройств, растет число вовлеченных в процессы контроля и управления технологическим процессом вычислительных систем на базе микроконтроллеров. В этих условиях существенно возрастает роль данных, собираемых на всех уровнях АСУ ТП. Требования, предъявляемые со стороны потребителей этой информации, все более ужесточаются в части объема, скорости и надежности получения данных, поэтому вопросы обеспечения коммуникаций становятся высокоприоритетными.

В течение многих лет системы обмена данными строились по традиционной централизованной схеме, в которой имелось одно мощное вычислительное устройство и огромное количество кабелей, посредством которых осуществлялось подключение оконечных устройств (датчиков и исполнительных механизмов). Такая структура диктовалась высокой ценой электронно-вычислительной техники и относительно низким уровнем автоматизации производства. На сегодняшний день у этого подхода практически не осталось приверженцев. Такие недостатки централизованных АСУ ТП, как большие затраты на кабельную сеть и вспомогательное оборудование, сложный монтаж, низкая надежность и сложная реконфигурация, сделали их во многих случаях абсолютно неприемлемыми как экономически, так и технологически.

В условиях бурно растущего производства микропроцессорных устройств альтернативным решением стали цифровые промышленные сети (ЦПС), состоящие из многих узлов, обмен между которыми производится цифровым способом. На сегодняшний день на рынке представлено около сотни различных типов ЦПС, применяемых в системах автоматизации. Технические и стоимостные различия этих систем настолько велики, что

выбор решения, оптимально подходящего для нужд конкретного производства, является непростой задачей. Цель учебного пособия – помочь конечным пользователям и проектировщикам распределённых АСУ ТП принять мотивированное решение, способное повысить эффективность производства и обеспечить надёжную работу технологического оборудования [1].

В современных АСУ ТП ведущее положение занимают системы, идеологической основой которых является децентрализация процесса управления, или распределение функций управления по сети. О достоинствах систем на основе цифровой двунаправленной многоточечной коммуникационной системы (fieldbus-системы) хорошо известно [1, 2]. Здесь кратко представлена современная концепция построения распределённых сетей для взрывоопасных зон, приведена методика оценки искробезопасности интерфейса RS-485.

1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СЕТИ

1.1 Основные понятия

Fieldbus – это система двухстороннего полностью цифрового последовательного обмена данными, которая объединяет интеллектуальные полевые устройства и системы автоматизации.

Foundation fieldbus является локальной сетью (LAN – Local Area Network) устройств, используемых в автоматизации процессов, со встроенной способностью распределять приложения управления по этой сети [17].

Foundation Fieldbus - самый молодой и быстро растущий стандарт на промышленную сеть. Он вобрал в себя самые современные технологии построения управляющей сети масштаба предприятия. Представляет собой двухуровневый сетевой протокол, объединяющий в себе черты мощной информационной магистрали для объединения компьютеров верхнего уровня и управляющей сети, объединяющей контроллеры, управляющие компьютеры, датчики и исполнительные механизмы. Предоставляет полный сервис, от передачи файлов и больших объемов информации до замыкания контуров управления контроллеров, включая обеспечение загрузки в контроллеры управляющих программ и доступ к пассивному оборудованию. И все это в рамках одного стандарта [18].

H1 – это термин, используемый для описания сети fieldbus, работающей на скорости передачи данных 31.25 кбит/с [17].

Основными требованиями к промышленным сетям H1 являются:

1. передача данных и питание устройств нижнего уровня по одной витой паре;
2. гибкость при проектировании различных топологий сети;
3. совместимость для полевых приборов;
4. взрывобезопасность при установке во взрывоопасных зонах;
5. распределение одной инфраструктуры на многочисленные сегменты.

1.2. Основные характеристики цифровых промышленных сетей (ЦПС)

Подчеркнем две особенности современных ЦПС - распределенный характер «интеллекта» и цифровой способ обмена данными между узлами сети. Узлы ЦПС располагаются максимально приближенно к оконечным устройствам, благодаря чему длина аналоговых линий сокращается до минимума. Каждый узел ЦПС является «интеллектуальным» устройством и выполняет несколько функций:

- приём команд и данных от других узлов ЦПС,
- съём данных с подключённых датчиков,
- оцифровка полученных данных,
- обработка технологического алгоритма,
- выдача управляющих воздействий на подключенные исполнительные механизмы по команде другого узла или согласно технологическому алгоритму,
- передача накопленной информации на другие узлы ЦПС.

Преимущества ЦПС по сравнению с централизованными системами можно подразделить на две категории. Переход на цифровую передачу данных означает возможность замены километров дорогих кабелей на несколько сот метров дешевой витой пары. Экономический эффект от сокращения расходов на тонны меди и вспомогательное оборудование (кабельные каналы, клеммы, шкафы) хорошо просчитывается и очевиден.

ЦПС обеспечивают дополнительные преимущества по таким показателям, как надёжность, гибкость и эффективность, что является прямым следствием их децентрализованной структуры.

Прежде всего, следует отметить информационные возможности цифрового канала передачи данных. Если ранее по одной паре проводов можно было получить только одно-единственное текущее значение измеряемой величины или, напротив, передать исполнительному механизму одну команду, то теперь ко-

личество передаваемых данных зависит только от «интеллектуальных» возможностей оконечных устройств. Что особенно важно, информационный канал становится двунаправленным. Наиболее важным практическим следствием этого обстоятельства является возможность осуществления удаленной параметризации и калибровки оконечных устройств. Наличие единой базы параметров, обслуживание всех подключенных к ЦПС оконечных устройств с одного рабочего места свидетельствует о наступлении новой эры в работе службы КИП предприятия, выводя эту службу на совершенно иной уровень оперативности и эффективности. Быстрая установка предельных уровней и режимов работы даёт возможность гибко управлять производственным процессом, перенастраивать его согласно меняющимся условиям и задачам. Только применение цифровых методов передачи данных позволяет использовать на полную мощность возможности современных датчиков и исполнительных механизмов.

Кроме «количественной» составляющей новой концепции информационного обмена, следует отметить качественно новые возможности, предоставляемые узлам ЦПС. Существуют три основных режима обмена данными, эффективность использования которых зависит от конкретной задачи.

- Режим «Ведущий-ведомый». В этом простейшем режиме один из узлов ЦПС является ведущим устройством, которое последовательно опрашивает подчиненные узлы. В зависимости от содержания запроса ведомый узел либо выполняет полученную команду, либо передает ведущему текущие данные с подключенных оконечных устройств. Типичным примером ЦПС, построенной на таком принципе, являются сети PROFIBUS. Как правило, роли ведущего и ведомого закрепляются жестко и не меняются в процессе функционирования сети.

- Режим «Клиент-сервер». Данный режим имеет много общего с предыдущим и используется в системах с гибким распределением функций. Узел-клиент запрашивает данные, а узел-

сервер их предоставляет. При этом клиент может запрашивать несколько узлов, а сервер – иметь несколько клиентов. Также функции клиента и сервера могут совмещаться на одном узле. Примером может послужить ЦПС Foundation Fieldbus.

- Режим «Подписка». В этом режиме узел, нуждающийся в регулярном поступлении какой-либо информации, подписывается на её получение от другого узла, после чего получает регулярные рассылки данных без дополнительных запросов. Режим имеет два варианта: в первом случае данные передаются циклически с определенным интервалом вне зависимости от динамики информации; во втором случае данные передаются только в случае их изменения. Данный режим также используется в сетях Foundation Fieldbus.

Одним из основных критериев оценки систем АСУ ТП является надежность. Понятие это в распределенных системах весьма многогранно и требует внимательного рассмотрения. Для АСУ ТП, создаваемых на базе ЦПС, следует отметить несколько моментов.

По надежности цифровой метод передачи данных намного превосходит аналоговый. Передача в цифровом виде малочувствительна к помехам и гарантирует доставку информации благодаря встроенным в протоколы ЦПС механизмам контрольных сумм, квитирования и повтора искаженных пакетов данных.

Надежность функционирования систем АСУ ТП на базе ЦПС с интеллектуальными узлами значительно выше, чем в традиционных структурах, так как выход из строя одного узла не влияет, либо влияет незначительно на обработку технологических алгоритмов в остальных узлах. Важно также отметить, что разумное распределение управляющих функций значительно снижает нагрузку на центральную управляющую ЭВМ, что также способствует повышению надежности системы в целом.

Важной проблемой является защита ЦПС от повреждения кабельной сети, особенно в том случае, если его топология имеет вид шины. Для критически важных технологических участков

эта задача должна решаться дублированием линий связи или наличием нескольких альтернативных путей передачи информации. Системы АСУ ТП редко делаются раз и навсегда; как правило, их состав и структура подвержены коррекции в силу изменяющихся требований производства. Поэтому важными критериями оценки закладываемых в проект решений являются гибкость и модифицируемость комплекса. По этим показателям ЦПС, несомненно, намного превосходит традиционную централизованную схему: добавление или удаление отдельных точек ввода-вывода и даже целых узлов требует минимальных монтажных работ и может производиться без остановки системы автоматизации. Переконфигурация системы осуществляется на уровне программного обеспечения и также занимает минимальное время. Другая проблема, связанная с развитием системы АСУ ТП, заключается в необходимости применять оборудование различных производителей. На ранних этапах развития ЦПС вопрос совместимости протоколов, заложенных в интеллектуальные оконечные устройства, стоял очень остро. Сейчас практически все широко распространенные решения в этой сфере стандартизованы, что позволяет разработчикам АСУ ТП выбирать оборудование из широкого спектра поставщиков, оптимизируя стоимость проекта и его технологическую структуру.

Примеры некоторых распространенных промышленных сетей представлены в Приложении.

Тенденции развития ЦПС

Приведенные примеры описывают сетевые решения, получившие на сегодняшний день широкое признание: это миллионы совместимых оконечных устройств и десятки производителей, выпускающих аппаратные средства построения ЦПС. Наличие на рынке разнообразных наборов программно-аппаратных решений позволяет решить технологические проблемы практически любого производства. Отсюда следуют два вывода. **Во-**

первых, для предприятий практически полностью потеряли смысл собственные разработки в этой области. Попытка сэкономить средства за счет внутренних ресурсов в большинстве случаев оборачивается созданием громоздких, ненадежных, ни с чем не совместимых и дорогих в обслуживании систем. **Во-вторых**, можно считать законченной дискуссию о «войне филдбасов» и о некоем «наилучшем» решении в этой области. Сейчас уже очевидно, что ни одна из существующих ныне ЦПС не станет единственной, похоронив все остальные. Многообразие требований автоматизируемых технологических процессов не может быть удовлетворено универсальным и экономически оптимальным решением. Вопрос должен ставиться несколько иначе: только грамотное структурирование комплекса АСУ ТП и выбор оптимальных решений для конкретных технологических участков может обеспечить прорыв предприятия на новый уровень качества и эффективности производства.

Когда обсуждается вопрос о выборе типа промышленной сети, необходимо уточнять, для какого именно уровня автоматизации этот выбор осуществляется. В зависимости от места ЦПС в иерархии промышленного предприятия требования к её функциональным характеристикам будут различны.

Еще не так давно иерархия АСУ ТП выглядела в виде «трехэтажной» пирамиды (сверху вниз): 1) уровень управления предприятием, 2) уровень управления технологическим процессом, 3) уровень управления устройствами.

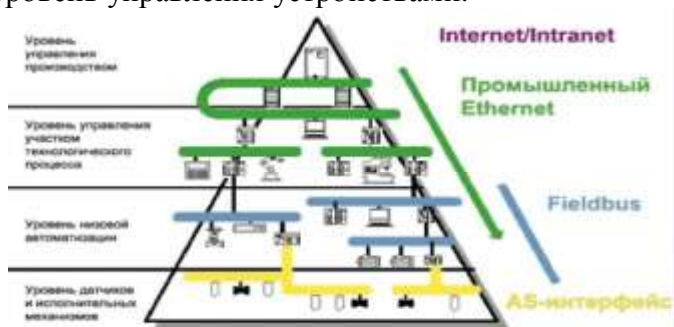


Рисунок 1 - Иерархия современной распределённой системы автоматизации

На уровне управления предприятием располагаются обычные IBM PC совместимые компьютеры и файловые серверы, объединенные локальной сетью. Задача вычислительных систем на этом уровне — обеспечение визуального контроля основных параметров производства, построение отчетов, архивирование данных. Объёмы передаваемых между узлами данных измеряются мегабайтами, а временные показатели обмена информацией не являются критичными.

На уровне управления технологическим процессом осуществляется текущий контроль и управление либо в ручном режиме с операторских пультов, либо в автоматическом по заложенному алгоритму. На этом уровне выполняется согласование параметров отдельных участков производства, отработка аварийных и предаварийных ситуаций, параметризация контроллеров нижнего уровня, загрузка технологических программ, «ручная» выдача команд на исполнительные механизмы. Информационный кадр на этом уровне содержит, как правило, несколько десятков байтов, а допустимые временные задержки могут составлять от 100 до 1000 миллисекунд в зависимости от режима работы. С нижнего уровня собираются текущие показатели контролируемых устройств и механизмов.

На уровне управления устройствами располагаются контроллеры, осуществляющие непосредственный сбор данных и управление оконечными устройствами — датчиками и исполнительными механизмами. Данные, которыми контроллер обменивается с оконечным устройством, обычно имеют дискретность 1-2 байта, а требования к скорости опроса устройств наиболее жесткие — не более 10 мс.

Тенденции последних лет сделали эту стройную структуру значительно более сложной, а местами и размытой (рисунок 1).

Во-первых, АСУ ТП все более интегрируется с АСУП, а через нее неизбежно выходит в сферу Интернет/интранет-технологий. Сегодня уже никого не удивляет желание руководителей предприятия иметь текущую производственную ин-

формацию не только в своем кабинете, но и в филиалах или в любой точке мира. Web-технологии делают выполнение этой задачи реальностью. **Во-вторых**, значительные успехи демонстрирует так называемый промышленный Ethernet, который доказал свою состоятельность и перспективность для задач интеграции отдельных участков АСУ ТП в единую структуру и построения ЦПС и который поддерживается всё возрастающей номенклатурой аппаратно-программных средств, соответствующих не только стандарту Ethernet, но и жестким требованиям производственной сферы. Возможности и некоторые примеры реализации стандарта в промышленности представлены в Приложении. **В-третьих**, появление сетей AS-интерфейса фактически означало появление четвертого, самого нижнего уровня распределенных АСУ ТП — уровня сети оконечных устройств. **В-пятых**, все более расширяется сектор ЦПС, применяемых во взрывоопасных зонах на предприятиях химической, нефтегазовой и других отраслей с опасными условиями производства.

1.4 Наиболее общие практические выводы эксплуатации ЦПС

Практика применения ЦПС на производстве неизбежно приводит к тому, что на разных участках предприятия функционируют сети разных стандартов, использующих неодинаковые среды передачи данных и протоколы. Что делать в такой ситуации, какими средствами объединить эти суверенные острова в единую мощную информационную систему? Одним из возможных вариантов является применение конверторов протоколов PKV фирмы Hilscher.

Одним из наиболее интересных устройств данного типа являются конверторы протоколов ЦПС в среду Ethernet серии PKV 40.



Рисунок 2 - Конвертор протоколов PKV 40 фирмы Hilscher

Устройства PKV 40, с одной стороны, поддерживают такие основные протоколы ЦПС, как CANopen, DeviceNet, PROFIBUS-DP, ModBus-Plus, AS-интерфейс, а также стандартные последовательные шины RS-232/422/485. С другой стороны, доступ к данным осуществляется по протоколу TCP/IP, обеспечивая прозрачную интеграцию в любую систему верхнего уровня автоматизации. Кроме доступа посредством TCP/IP, PKV 40 обеспечивает пользователя целым рядом «продвинутых» функций. Приверженцы Интернет-технологий в автоматизации могут воспользоваться встроенным Web-сервером. Создание страниц в стандартном формате html осуществляется любым редактором, после чего они передаются по сети в память устройства. Дальнейший просмотр накопленных устройством PKV 40 данных осуществляется обычным Интернет-браузером, то есть практически с любого компьютера из любой точки земного шара. Поддержка языка Java позволяет реализовать произвольную предварительную обработку данных, а также требуемый для технологов и специалистов интерфейс.

Кроме того, PKV 40 может использоваться как самостоятельный ПЛК благодаря наличию процессора и предустанов-

ленной операционной системы ОС Windows CE. Большинство разработчиков уже в той или иной степени знакомы с этой ОС, которая за последние годы стала одним из стандартов де-факто в области встраиваемых систем. Возможность написания технологических программ обработки данных, поступающих от узлов ЦПС, делает PKV 40 очень гибким инструментом, готовым в любой момент перестроиться с учётом изменившихся требований производственного процесса.

Для конфигурирования PKV 40 необходимо только стандартное для изделий Hilscher программное обеспечение SyCon, что облегчает инженерам АСУ ТП ввод оборудования в эксплуатацию. Настройка, в том числе загрузка пользовательских программ, может осуществляться как удаленно через TCP/IP, так и на месте установки оборудования через последовательный интерфейс, которым снабжен каждый PKV 40.

Кроме PKV 40, фирма Hilscher предлагает конвертор протоколов PKV 30, который предназначен для интеграции в единую сеть существующих систем автоматизации, построенных на базе последовательного интерфейса.

Каждое устройство PKV 30 выступает в роли узла той или иной ЦПС и одновременно - в роли ведущего устройства для подключенных по физической линии RS-232/422/485 узлов. Со стороны ЦПС устройства PKV 30 поддерживают протоколы PROFIBUS-DP, PROFIBUS-FMS, Interbus, DeviceNet, CANopen. Со стороны последовательного канала поддерживаются стандарты 3964R, ModBus и Modnet. Пользователь может настроить устройство на поддержку нестандартного протокола с помощью прилагаемого инструментария. Все конфигурационные данные хранятся во флэш-памяти, что обеспечивает максимально надежную работу устройства при сбоях питания или иных аварийных ситуациях.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ЦПС ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

В различных отраслях промышленности, в том числе нефтегазовой и химической автоматизируемые оконечные устройства располагаются во взрывоопасных зонах. Для решения вопросов их безопасного подключения к АСУ ТП используются различные средства взрывозащиты, среди которых наиболее эффективным и экономичным (от 15 до 50% экономии по сравнению с другими методами) является метод «искробезопасная электрическая цепь». Искробезопасное подключение отдельно взятого датчика или исполнительного механизма обеспечивают устройства, называемые барьерами искробезопасности.

Применение барьеров является широко распространенным решением и обладает рядом достоинств. Однако для АСУ ТП с большим количеством подключений оно становится слишком дорогим и громоздким. Для экономии кабельной продукции можно применить схему удаленного ввода-вывода, когда барьеры устанавливаются на объединительные платы по возможности ближе к оборудованию, а комплексирование объединительных плат с ПЛК осуществляется по последовательному интерфейсу RS-485 или с использованием какой-либо ЦПС.

2.1 Структура искробезопасных Fieldbus-систем

Обобщённую структуру искробезопасной fieldbus-системы можно представить так, как это показано на рисунке 3.

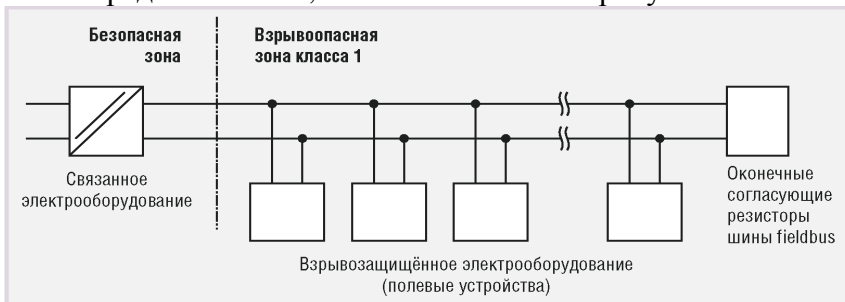


Рисунок 3 - Структура искробезопасной fieldbus-системы

В зависимости от типа используемой fieldbus-системы в качестве связанного электрооборудования могут применяться следующие компоненты:

- сегментный соединитель в случае использования сети PROFIBUS-PA;
- усилитель мощности (power repeater) в случае использования сети FOUNDATION fieldbus.

Уточним, что связанное электрооборудование - это электрическое оборудование, которое содержит как искробезопасные, так и искроопасные цепи, причём оборудование выполнено так, что искроопасные цепи не могут оказать отрицательное влияние на искробезопасные цепи. Применяемые в сети полевые устройства (приборы на объектах - интеллектуальные датчики и исполнительные устройства) являются взрывозащищённым электрооборудованием.

При описании связанного оборудования промышленные сети PROFIBUS-PA и FOUNDATION fieldbus H1 были упомянуты не случайно: именно они наиболее часто применяются в АСУ ТП предприятий химической, нефтехимической, газовой промышленности. Физический уровень обеих этих сетей соответствует стандарту IEC 61158-2, что обеспечивает искробезопасность при работе во взрывоопасной среде. Достоинством такого физического уровня является то, что передача сигналов данных и питание приборов осуществляются через обычную витую пару, а недостатком - очень низкая скорость передачи данных (31,25 кбит/с), приводящая к чрезвычайно длительным временным задержкам во многих применениях, особенно при использовании систем удалённого ввода-вывода. Вследствие этого широкое применение находит интерфейс RS-485 (скорость передачи данных до 10 Мбит/с) в искробезопасном исполнении, который тоже может быть использован в системах удалённого ввода-вывода, разворачиваемых во взрывоопасной зоне класса 1.

2.2 Оценка искробезопасности для интерфейса RS-485

Обычно в распределённых системах управления применяется метод доступа к сети «ведущий-ведомый» (Master-slave). Это означает, что ведущее устройство передаёт сообщение, которое посылается во взрывоопасную зону посредством соответствующего оборудования. По сути, это оборудование передаёт во взрывоопасную зону мощность и является источником энергии. Ведомое устройство, например выносное оборудование или прибор, подтверждает полученное сообщение или пересылает информацию по удалённому запросу. В случае подтверждения сообщения ведомое устройство передаёт мощность в среду передачи и в этот момент времени фактически является источником энергии.

Исходя из таких особенностей передачи данных, при оценке искробезопасности интерфейса RS-485 необходимо принимать во внимание наличие нескольких источников в сети.

С другой стороны, сетевое устройство функционирует не только в режиме передачи, но и в режиме получения текущего сообщения, являясь, таким образом, приёмником. Следовательно, оценка напряжения, тока и мощности, необходимая для подтверждения искробезопасности, должна быть распространена на все возможные режимы работы и направления передачи сообщения:

- (связанное оборудование)→(устройство промышленной сети);
- (устройство промышленной сети)→(связанное оборудование);
- (устройство промышленной сети)↔(устройство промышленной сети).

Однако в силу причин, которые будут пояснены далее, при такой оценке достаточно учитывать только максимальное выходное напряжение U_0 , которое может появиться на соединительных устройствах искробезопасных цепей электрооборудования в случае приложения максимального напряжения, и мак-

симальное входное напряжение U_1 , которое может быть приложено к соединительным устройствам искробезопасных цепей электрооборудования без нарушения его искробезопасности.

Предположим, сравнение возможных значений напряжения с U_0 показывает, что соединение связанного оборудования с полевыми устройствами и соединения полевых устройств друг с другом являются искробезопасными. Однако это не означает, что то же самое справедливо и для передающей линии. Проблемой передающих линий являются индуктивности и ёмкости: их значения не подлежат определению на основе простого сложения и вычисления эквивалентного значения, так как при аварийном режиме поведение и взаимосвязь индуктивностей и ёмкостей не могут быть однозначно охарактеризованы.

В таких случаях стандарт ГОСТ Р 51330.10-99 «Электрооборудование взрывозащищённое. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь i» для доказательства искробезопасности разрешает использовать отношение индуктивности и сопротивления (L/R).

Естественно, что первым делом необходимо обосновать применение данной процедуры доказательства. Для этого должно быть проверено выполнение следующих трёх условий.

1. Рассматриваемая система имеет распределённые индуктивности и ёмкости. Данное условие соответствует европейским стандартам, распространяющимся на взрывозащищённое электрооборудование. В случае обрыва или короткого замыкания проводника индуктивность и ёмкость кабеля не будут сосредоточены в узко ограниченной области.

2. Резистивное ограничение тока присутствует в связанном оборудовании и в каждом полевым устройстве. Напомним, что связанное электрооборудование и его цепи при нормальном или аварийном режиме работы не отделены гальванически от искробезопасных цепей.

3. Отношение значений внутренней ёмкости (C_i) и максимальной ёмкости, которая может быть подключена к соеди-

нительным устройствам связанного оборудования и каждого полевого устройства (C_0), должно быть меньше 0,01. То есть $(C_i/C_0) < 0,01$. В том случае когда внутренняя ёмкость C_i является пренебрежимо малой (из технических данных на устройство), отношение C_i/C_0 будет заведомо меньше 0,01.

Если эти три условия выполняются, доказательство искробезопасности может быть сделано на основе анализа отношения L/R .

По причине резистивного ограничения тока при сравнении типовых значений электрических параметров во внимание принимается только напряжение, так как протекание большого тока исключено, и отдаваемая мощность не может быть слишком большой. Более подробную информацию по данному вопросу можно почерпнуть из приложения Д «Определение отношения максимальной индуктивности к сопротивлению (L_0/R_0) для источника питания с внутренним сопротивлением R_i » стандарта ГОСТ Р 51330.10-99.

На следующем шаге процедуры доказательства определяется величина максимально допустимого значения отношения L/R омической цепи.

Если предположить, что максимальное значение внутренней индуктивности L_i (суммарная эквивалентная внутренняя индуктивность, которая может присутствовать на соединительных устройствах электрооборудования) пренебрежимо мало, то максимально допустимое значение отношения L/R может быть рассчитано по следующей формуле:

$$(L/R)_{\text{макс.}} = \frac{32eR_i}{9U_0^2},$$

где U_0 - максимальное напряжение холостого хода [В] (при определении максимально допустимого значения отношения L/R учитывается наиболее критический случай, то есть случай наибольшего значения выходного напряжения U_0); e - минимальная воспламеняющая энергия [Дж], см. таблицу 1; R_i - минимальное внутреннее сопротивление источника питания [Ом].

Минимальное внутреннее сопротивление источника питания должно быть вычислено путём деления минимально возможного значения U_0 на максимально возможное значение тока, определяемое из суммы всех максимальных токов, которые могут выдать полевые устройства и связанное электрооборудование. Максимальные токи складываются на основании того, что устройства промышленной сети соединены параллельно (рисунок 3). При этом исходим из сценария наихудшего случая, соответствующего ситуации, когда все устройства осуществляют передачу одновременно.

Таблица 1- Значения минимальной воспламеняющей энергии для электрооборудования различных групп/подгрупп

Группа/подгруппа	Значения минимальной воспламеняющей энергии e [Дж]
I	525×10^{-6}
ПА	320×10^{-6}
ПВ	160×10^{-6}
ПС	40×10^{-6}

После того, как стало известно максимально допустимое значение отношения L/R , должно быть определено фактическое значение этого отношения - $(L/R)_{\text{факт.}}$. Его можно определить из отношения распределённой индуктивности кабеля к распределённому сопротивлению кабеля.

Система является искробезопасной, если выполняется следующее условие:

$$(L/R)_{\text{макс.}} \geq (L/R)_{\text{факт.}}$$

Необходимо отметить, что данная процедура доказательства не выполняется для отдельных сегментов шины сети, так как при разных схемах их соединения будут получены различные значения $(L/R)_{\text{макс.}}$. При расширении эксплуатируемой си-

стемы значение $(L/R)_{\text{макс.}}$ тоже изменяется, потому что соответствующим образом изменяется максимально возможное значение тока; это требует наряду со сравнением напряжений заново рассчитать значение $(L/R)_{\text{макс.}}$.

В том случае, когда L_i не является пренебрежимо малой величиной, для вычисления максимально допустимого значения отношения L/R должна использоваться следующая формула:

$$(L/R)_{\text{макс.}} = \frac{8eR_i + \sqrt{64e^2R_i^2 - 72U_0^2eL_i}}{4,5U_0^2},$$

Обе приведённые формулы для вычисления $(L/R)_{\text{макс.}}$ учитывают коэффициент безопасности 1,5 по току и не должны использоваться в случаях, когда C_i на выходных зажимах электрооборудования превышает 1% от C_0 .

Кроме искробезопасности интерфейса RS-485 следующим шагом являются схемы искробезопасного удаленного ввода-вывода, например система IS-RPI фирмы Pepperl+Fuchs. При выборе этого решения разработчик может использовать многие из упомянутых ЦПС, например ModBus, ControlNet, PROFIBUS и т.д. Но наиболее экономичными и гибкими, очевидно, являются схемы непосредственного внедрения ЦПС во взрывоопасные зоны 0 и 1. Правда, в этом случае выбор сетевых решений ограничивается теми ЦПС, которые реализуют стандарт физического уровня IEC 61158-2, то есть PROFIBUS-PA и Foundation Fieldbus (рисунок 5).



Рисунок 4 - Подключение оборудования взрывоопасной зоны через барьеры искробезопасности

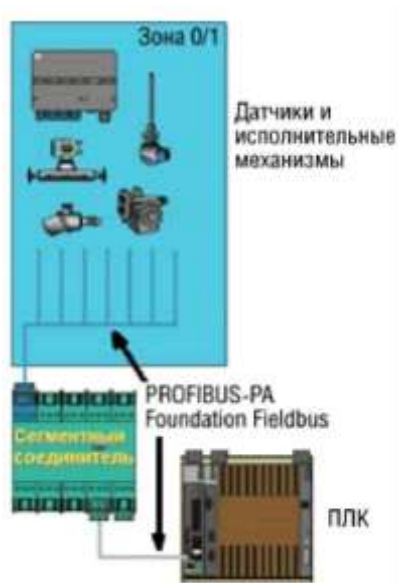


Рисунок 5 - Подключение оборудования взрывоопасной зоны через систему удалённого ввода-вывода

До недавнего времени расчет искробезопасности сетевых решений строился на основе модели, представляющей кабель ЦПС в виде распределенных индуктивности, ёмкости и активных сопротивлений, которые подлежали учету наряду с аналогичными предельными характеристиками подключенных оконечных устройств. Далее, исходя из заявленных характеристик блока питания, определялся максимальный ток, а также максимальное число устройств, которое могло быть подключено к искробезопасному сегменту. Результаты применения этой модели приводили к очень жестким ограничениям и, как следствие, к высоким затратам.

Результатом новейших исследований в области искробезопасных цепей явилась расчетная модель FISCO (Fieldbus Intrinsically Safe Concept), базирующаяся на следующих предположениях (рисунок 7):

- один блок питания на сегмент с напряжением от 14 до 24 В;
- блок питания соответствует требованиям взрывозащиты ia или ib группы IIС и имеет трапециевидную или прямоугольную характеристику;
- все остальные узлы сегмента являются пассивными с током потребления не менее 10 мА;
- все узлы имеют малые значения внутренней индуктивности (<10 мкГн) и ёмкость (<5 нФ), которыми можно пренебречь;
- характеристики кабеля не выходят за установленные границы ($R=15\dots150$ Ом/км, $L=0,4\dots1$ мГн/км, $C = 80\dots200$ нФ/км, включая экран);
- кабель терминирован на обоих концах ($R = 90\dots100$ Ом, $C = 2,2$ нФ);
- длина магистрали не более 1000 м;
- длина каждого кабельного отвода не более 30 м.

2.3 Модель FISCO

Аббревиатура FISCO означает **Field-bus Intrinsically Safe Concept** (концепция искробезопасной промышленной сети). Модель FISCO была разработана институтом German Federal Physical Technical Institute (PTB) и опубликована в отчёте PTB-W-53 "Examination of intrinsic safety for fieldbus systems" («Оценка искробезопасности для fieldbus-систем»). Подробно модель FISCO рассматривалась в публикациях [1, 3], поэтому здесь только кратко отметим основные принципы, на которых базируется эта модель.

1. Для передачи данных и электропитания система магистральной шины использует конфигурацию, определяемую международным стандартом на промышленную управляющую сеть IEC 61158-2. Примерами подобных систем являются сеть PROFIBUS-PA, характеризующаяся безопасным низковольтным исполнением, и версия H1 сети FOUNDATION fieldbus, реализующая безопасную работу приборов во взрывоопасной зоне.

Сигналы данных кодируются посредством кода Manchester II. Это значит, что спадающий фронт в середине временного интервала, соответствующего передаче бита, представляет логическую 1, а нарастающий фронт — логический 0. В том случае, когда последовательно передаются два одинаковых логических состояния, как показано на рисунке 6 на примере битов 3 и 4, они должны быть разделены характерным перепадом. В силу этой особенности на рисунке 6 присутствует положительный фронт в начале интервала, соответствующего биту 4. В результате такого кодирования сигнал становится независимым от уровня постоянной составляющей тока и постоянной составляющей напряжения, тем самым обеспечиваются условия для осуществления питания устройств и передачи сигналов данных одновременно через один и тот же кабель. На рисунке 6 ток источника питания представлен значением 10 мА.

2. Допускается только один активный источник на сегмент (в этом случае связанное электрооборудование - сегментный со-

единитель или усилитель мощности). Все остальные устройства работают в качестве пассивных приёмников с определённым током потребления.

3. Стандартное потребление тока полевым устройством составляет, как минимум, 10 мА. Если полевое устройство будет работать с частью связанного оборудования, всё равно оно должно получать из линии передачи, по крайней мере, 10 мА тока источника питания. Согласно рисунку 6 перепад величины тока сигнала данных составляет ± 9 мА. Это значит, что даже в самом неблагоприятном случае ток $10 \text{ мА} - 9 \text{ мА} = 1 \text{ мА}$ будет передаваться от связанного оборудования во взрывоопасную зону, обеспечивая, таким образом, выполнение пункта 2.

4. Для каждого полевого устройства должны выполняться следующие условия:

- $U_i \geq U_0$ - максимальное выходное напряжение связанной части оборудования (сегментный соединитель или усилитель мощности);
- $I_i \geq I_0$ - максимальный выходной ток связанной части оборудования (сегментный соединитель или усилитель мощности);
- $P_i \geq P_0$ - максимальная выходная мощность связанной части оборудования (сегментный соединитель или усилитель мощности). Результаты этих сравнений должны быть оформлены в виде документа.

5. Каждое полевое устройство должно отвечать следующим требованиям:

- $C_i \leq 5 \text{ нФ}$,
- $L_i \leq 10 \text{ мкГн}$.

Эти требования считаются заведомо выполненными, если полевое устройство сертифицировано в соответствии с FISCO и существует ссылка на такой сертификат.

6. Максимально допустимая длина кабеля для применений, требующих особо взрывобезопасного уровня взрывозащиты Ex ia IIC, равна 1000 м. В общую длину кабеля входят длина кабеля основной шины и суммарная длина всех кабельных отводов.

7. Для взрывоопасных применений максимально допустимая длина каждого отвода равна 30 м.

8. Значения параметров сетевого кабеля (распределённое сопротивление R' , распределённая индуктивность L' , распределённая ёмкость C') должны находиться в определённых пределах:

- $15 \leq R' \leq 150$ Ом/км,
- $0,4 \leq L' \leq 1$ мГн/км,
- $80 \leq C' \leq 200$ нФ/км (включая экран).

С учётом параметров экрана распределённая ёмкость вычисляется следующим образом:

- $C' = C'$ проводник/проводник $+0,5C'$ проводник/экран, если шина изолирована;
- $C' = C'$ проводник/проводник $+ C'$ проводник/экран, если экран подключён к выводу связанного оборудования.

9. Кабель шинного сегмента должен быть терминирован с двух сторон согласующими резисторами. Согласующий резистор встроен в сегментный соединитель или усилитель мощности (power repeater), поэтому подключение внешнего резистора требуется только с одной стороны. Согласно модели FISCO сопротивление оконечного согласующего резистора шины должно быть в следующих пределах: $90 \leq R \leq 100$ Ом ($C \leq 2,2$ нФ).

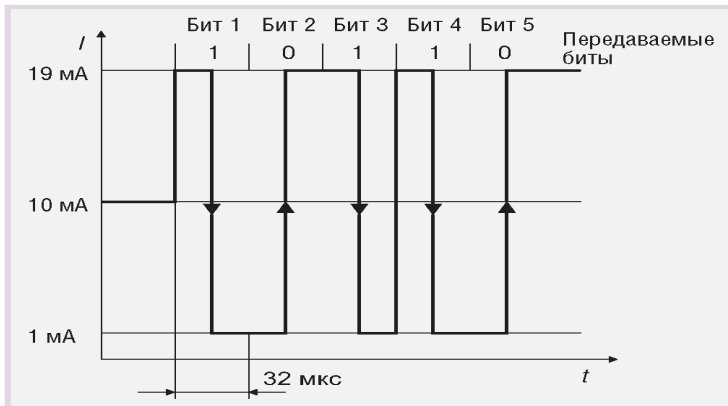


Рисунок 6 - Представление логических 0 и 1 в коде Manchester II

Условием подтверждения искробезопасности посредством модели FISCO является выполнение требований пунктов 1-9. Пункты 1, 3 и 5 автоматически выполняются, если полевое устройство сертифицировано в соответствии с моделью FISCO и этот факт подтверждён необходимым сертификатом.

Согласно модели FISCO связанное оборудование, такое как сегментные соединители для сети PROFIBUS-PA или усилители мощности для сети FOUNDATION fieldbus, обычно работает с выходным напряжением 12,8 В и выходным током 100 мА. Так как согласно модели FISCO полевые устройства должны отбирать, по крайней мере, 10 мА тока источника питания из линии передачи данных, то теоретически в сегменте промышленной сети может работать 10 таких устройств. Однако для многих типов полевых устройств значение потребляемого тока больше 10 мА, из-за чего реальное количество устройств, которые могут работать в сегменте шины, оказывается меньшим и определяется их суммарным током потребления.

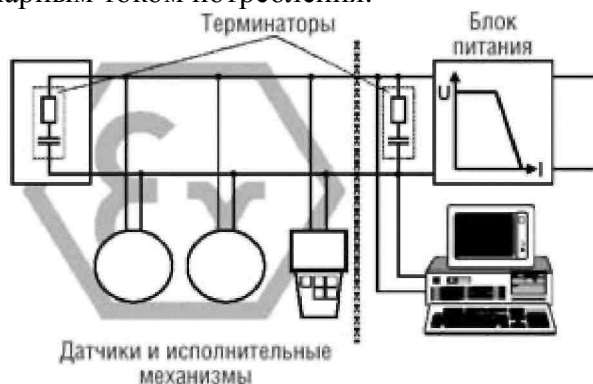


Рисунок 7 - Подключение оборудования взрывоопасной зоны по FISCO

Проведенное национальным физико-техническим институтом ФРГ тестирование показало, что при соблюдении указанных условий роль распределенных индуктивности и ёмкости кабеля может не учитываться. Таким образом, любой сегмент ЦПС, со-

бранный из сертифицированных в соответствии с концепцией FISCO изделий, может рассматриваться как чисто резистивная схема и рассчитываться по соответствующим оценочным кривым. Результат - 10 устройств на сегмент вместо 4 по используемой ранее модели - означает прорыв в экономической эффективности применения ЦПС на взрывоопасных производствах. Модель FISCO одобрена как ассоциацией пользователей PROFIBUS, так и консорциумом Foundation Fieldbus, и рассматривается МЭК в качестве проекта международного стандарта.

Искробезопасные сегменты ЦПС подключаются к основной сети через сегментные соединители (Segment Coupler), обеспечивающие конверсию протоколов физического уровня, гальваническую развязку между обоими сегментами и ограничение мощности, получаемой сегментом ЦПС взрывоопасной зоны. Сегментные соединители устанавливаются в безопасной зоне (как правило, в электротехнических шкафах) и требуют внешнего питания 24 В. Для master-узла, также находящегося в безопасной зоне, информационный обмен с устройствами, подключенными через сегментный соединитель, абсолютно прозрачен, что обеспечивает единство всей системы автоматизации. Нетрудно видеть, что даже применение модели FISCO ещё не обеспечивает минимизацию накладных расходов на развертывание ЦПС во взрывоопасных зонах. Разница между 10 узлами на сегмент, разрешенными по FISCO, и 32 узлами, допускаемыми стандартами PROFIBUS и Foundation Fieldbus, достаточно ощутима, чтобы не останавливаться на достигнутом. Фирма Pepperl+Fuchs в рамках новой серии FieldLink выпустила изделие F2D0-FB-Ex4.IEC, представляющее собой нечто вроде «интеллектуальной» распределительной коробки для искробезопасных сегментов сетей PROFIBUS и Foundation Fieldbus и позволяющее полностью преодолеть указанные ограничения. Устройство имеет степень защиты IP66 и сертификат EEx me, может устанавливаться в опасных зонах класса 2 и 1. Структура сегмента в этом случае будет иметь следующие особенности:

- сегментный соединитель (искробезопасное исполнение не обязательно!), располагающийся в безопасной зоне;
- магистральный кабель, объединяющий сегментный соединитель и (каскадно) несколько устройств F2D0 (соединение должно отвечать требованиям EEx e);
- кабельные отводы - до 4 на каждое устройство F2D0 - имеют длину до 120 метров, характеристики выходов соответствуют FISCO, потребляемый ток по каждому отводу до 40 мА;
- до 3 оконечных устройств на каждый отвод.

Нетрудно видеть, что применение F2D0 дает огромную экономию. Прежде всего, можно применять более дешевые сегментные соединители и источники питания (без контуров искрозащиты). Более чем в три раза увеличивается количество оконечных устройств, подключаемых к одному сегменту. F2D0 заменяют монтажно-распределительные коробки, что также уменьшает накладные расходы. Гальваническая изоляция кабельных отводов снимает необходимость уравнивания потенциалов земли между взрывоопасной и безопасной зонами, обеспечивая значительную экономию средств.

2.4 Сочетание разных видов взрывозащиты в Fieldbus-системах

Если fieldbus-система разработана исключительно в качестве искробезопасной, то это означает, что потребуются сравнительно большое число сегментных соединителей или усилителей мощности (данный факт был кратко проиллюстрирован в предыдущем разделе). Конечно, искробезопасное оборудование имеет то преимущество, что существует возможность добавить или удалить устройства из линии передачи во время работы оборудования. Однако это возможно и при других, менее затратных видах взрывозащиты, правда, при условии принятия определённых мер, как правило, конструктивного характера. Естественно, что при других видах взрывозащиты во взрывоопасную зону может быть передано значительно большее коли-

чество энергии, чем допустимо при виде взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь».

Снизить материальные затраты и объединить преимущества вида взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» с достоинствами других видов взрывозащиты можно на базе ещё одной концепции - FieldConnex™ (поддерживается фирмой Pepperl+Fuchs), которая поясняется далее на примере сети PROFIBUS (рисунок 8).

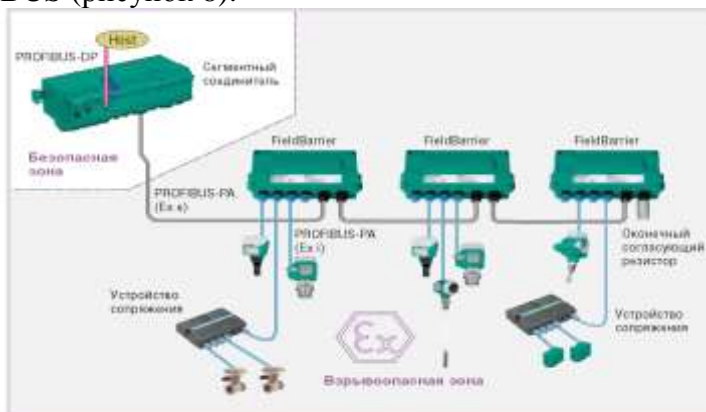


Рисунок 8 - Структура системы на базе сетей PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA, в которой разные виды взрывозащиты сочетаются в соответствии с концепцией FieldConnex™.

В этом случае применяется сегментный соединитель с неискробезопасным интерфейсом. Теперь в устройства сети PROFIBUS-PA поступает до 400 мА тока источника питания. Для основной шины, направленной во взрывоопасную зону, обеспечивается взрывозащита вида «е». Соответственно, сеть позволяет добавлять или удалять устройства во время текущей работы, если имеется так называемый сертификат пожарной безопасности, то есть приняты соответствующие дополнительные защитные меры. Так как сегмент основной шины сети fieldbus не является искробезопасным, он может быть длиной до 1900 м. Более того, неискробезопасные сегментные соединители работают с выходным напряжением до 24 В.

В устройстве FieldBarrier осуществляется локальный переход из неискробезопасного сегмента сети на 4 искробезопасных выхода, к которым подключаются полевые устройства. FieldBarrier - сложный полевой модуль, реализующий три основные функции физического уровня: распределение магистрали полевой шины на несколько точек подключения полевых устройств; ограничение тока короткого замыкания для каждого подключённого устройства; обеспечение для полевых устройств вида взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь». Устройство FieldBarrier может быть установлено во взрывоопасной зоне класса 1. Его электроника размещена внутри литой оболочки, для подключения основной шины применяются соединители с защитой вида «е» (Ex e).

Для питания полевых устройств отводится 40 мА тока источника питания. Этого достаточно для передачи электропитания через шину сети в искробезопасные полевые устройства, которые имеют ток потребления не менее 10 мА. Выходные токи и ток для питания собственно FieldBarrier формируются из тока основной шины. Максимальная длина линии отвода с каждого искробезопасного выхода равна 120 м. Отводы не нуждаются в оконечном согласующем резисторе. Искробезопасные выходы FieldBarrier сертифицированы в соответствии с моделью FISCO.

Преимуществом описанной структуры промышленной сети является то, что при её построении требуется меньшее число сегментов PROFIBUS-PA и, соответственно, меньшее число сегментных соединителей. Кроме того, устройства FieldBarrier фактически заменяют распределительные шкафы, которые потребовались бы в противном случае.

Каждый выход FieldBarrier является гальванически изолированным от основной шины и имеет ограничение тока короткого замыкания. Сочетание этих двух факторов предотвращает выход из строя всего сегмента при коротком замыкании между линиями передачи в промышленной сети, а также исключает

влияние аварийного режима на одном из выходов на другие выходы. Благодаря этому короткое замыкание вызывает отказ только в той части сети, которая подключена к аварийному выходу, что в свою очередь повышает надёжность и робастность системы в целом.

Данная концепция может быть реализована также для сети FOUNDATION fieldbus H1. В этом случае наряду с устройствами FieldBarrier применяются неискробезопасные усилители мощности (power repeater) с максимальным выходным током 400 мА и выходным напряжением 24 В или формирователи мощности (power conditioner) с выходным током до 1 А и выходным напряжением 31 В, используемые в качестве источников питания (рисунок 9).

Более подробно с новыми концепциями топологий построения промышленных сетей для монтажа во взрывоопасных зонах можно познакомиться в работах [4-6].

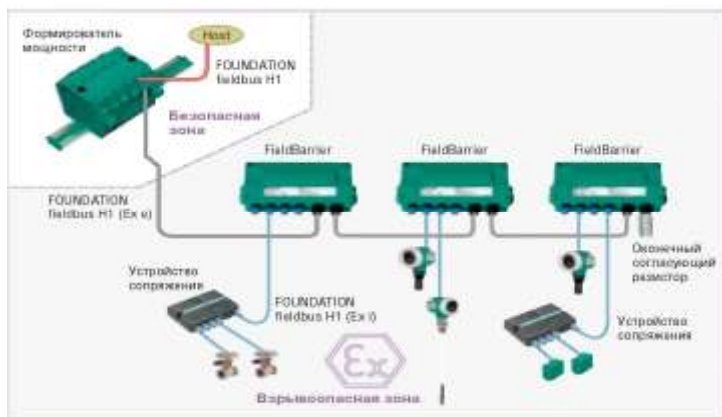


Рисунок 9. Структура системы на базе сети FOUNDATION fieldbus H1, в которой разные виды взрывозащиты сочетаются в соответствии с концепцией FieldConnex™

Международный стандарт IEC 61158 “Fieldbus for use in Industrial Control Systems” («Промышленная управляющая сеть для применения в промышленных системах управления») определяет восемь независимых и несовместимых коммуникацион-

ных технологий, из которых FOUNDATION Fieldbus H1 и PROFIBUS-PA стали в значительной степени преобладающими в различных отраслях промышленности. Эти промышленные сети соответствуют требованиям стандарта IEC 61158-2, который устанавливает физический уровень так называемых промышленных сетей H1. Основными требованиями к промышленным сетям H1 являются:

- передача данных и питание устройств нижнего уровня по одной витой паре;
- гибкость при проектировании различных топологий сети;
- совместимость всех полевых приборов;
- взрывобезопасность при установке во взрывоопасных зонах;
- распределение одной инфраструктуры на многочисленные сегменты.

В системах автоматизации цифровая революция произошла на верхних уровнях: управление предприятием осуществляется компьютерами, которые легко взаимодействуют с системами управления бизнесом и ERP-системами (планирование бизнес-ресурсов), используя высокоскоростные коммуникации. Однако на нижнем уровне (уровне полевых устройств) всё ещё преобладает традиционная двухточечная кабельная проводка (point-to-point) между устройствами управления и полевыми устройствами на основе аналоговой технологии 4...20 мА для передачи данных и для питания устройств. Эта технология почти достигла своих пределов в показателях оптимизации и дальнейшего развития возможностей.

Для того чтобы создать эффективную и соответствующую перспективным требованиям коммуникационную сеть предприятия, необходимо обратить внимание на технологию промышленной сети. Многие годы развитие промышленных сетевых архитектур было одной из самых обсуждаемых тем среди производителей и потребителей оборудования для промышленной автоматизации. Вопросы построения распределённых систем промышленной автоматизации на базе современных аппаратно-

программных и сетевых решений были рассмотрены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях [7–12]. Необходимо отметить, что промышленная сеть имеет множество преимуществ перед традиционными централизованными системами и системами на основе унифицированного токового сигнала 4...20 мА: это улучшенная диагностика, меньшее время простоя оборудования, высокое качество связи, сокращение времени реакции на событие, возможность использования освободившихся ресурсов верхних уровней АСУ ТП для решения дополнительных задач, в том числе задач управления производством в целом. Вместе с усовершенствованной комплексной концепцией монтажа промышленные сетевые архитектуры обеспечивают экономию инвестиционных расходов.

Предлагаемая компанией Pepperl+ Fuchs линейка устройств системы FieldConnex® обеспечивает реализацию усовершенствованной концепции монтажа, а также создаёт основу для оптимизации затрат в течение всего жизненного цикла, повышения надёжности эксплуатации и технического обслуживания системы, соответствия перспективным технологиям автоматизации и экономии на инвестиционных расходах.

Система FieldConnex® предлагает отдельные системные компоненты для реализации определённых функций, таким образом, предоставляя возможность разработки требуемой топологии промышленной сети, оптимизированной для конкретного приложения с учётом окружающих условий, особенностей установки и специальных требований. Сформулирован ряд базовых принципов, которые помогут создать оптимизированную коммуникационную топологию сети. Но необходимо заметить, что реализация этих принципов зависит от местных и национальных правил и стандартов. Компоненты системы FieldConnex® сертифицированы в России: имеется Сертификат соответствия № РОСС I Т. ГБ05.В02346, получено Разрешение № РРС 00-30575 на применение от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

3. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ

Предварительно кратко охарактеризуем основные элементы инфраструктуры промышленной сети.

Промышленная сеть делится на многочисленные сегменты, которые, как правило, электрически независимы и могут иметь общую длину кабеля до 1900 м. В зависимости от таких факторов, как ток в сети, тип кабеля, вид взрывозащиты, требуемое время реакции или время цикла шины, к одному сегменту может быть подключено до 31 устройства.

Магистральная линия связи является основным кабелем структуры промышленной сети, через который осуществляется информационный обмен и электропитание. К ней подключаются оконечная нагрузка и источники питания.

Через кабельный отвод к магистрали подключаются приборы нижнего уровня. Он может иметь длину до 120 м. Максимальная длина кабельного отвода зависит от нескольких аспектов, таких как тип кабеля и общее число устройств, подключённых к одному сегменту. Рекомендуется подключать только одно устройство к кабельному отводу.

Хотя стандарт допускает любой тип топологии сети, топология «магистраль с сегментами» стала наиболее распространённой топологией для технологических установок. Благодаря её ясно структурированному исполнению она проста для понимания и обслуживания.

Концепция магистрали повышенной мощности High-Power Trunk (рисунок 10) является широко распространённой для применений во взрывоопасных зонах и общепромышленных приложениях. Частью концепции является безопасная прокладка магистральной линии в соответствии с IEC 60079-14. Сеть также должна быть оборудована защитой от короткого замыкания и должна работать без ограничения мощности.

Концепция High-Power Trunk с успехом применяется в промышленных сетях FOUNDATION Fieldbus H1 и PROFIBUS-

РА. Рассматриваемая система FieldConnex® ориентирована на архитектуру промышленной сети High-Power Trunk.

Как видно из рисунка 10, система с архитектурой High-Power Trunk имеет в своём составе источник питания, кабели, встроенные терминаторы, модули защиты от перенапряжений и интерфейсные модули, а также модули защиты сегментов и полевые барьеры. В зависимости от уровня взрывоопасности система FieldConnex® позволяет приспособить топологию точно в соответствии с требованиями конкретной технологической установки. Эта система предлагает все необходимые модули для создания надёжной и эффективной топологии коммуникации промышленной сети для всех возможных условий – от взрывобезопасных зон до взрывоопасных зон классов 1 и 2. Для обеспечения соответствия самым разнообразным требованиям система FieldConnex® имеет распределительные коробки, модули защиты сегмента и полевые барьеры (Field-Barrier) в различных конструктивных исполнениях корпусов, с различными способами подключения кабелей.

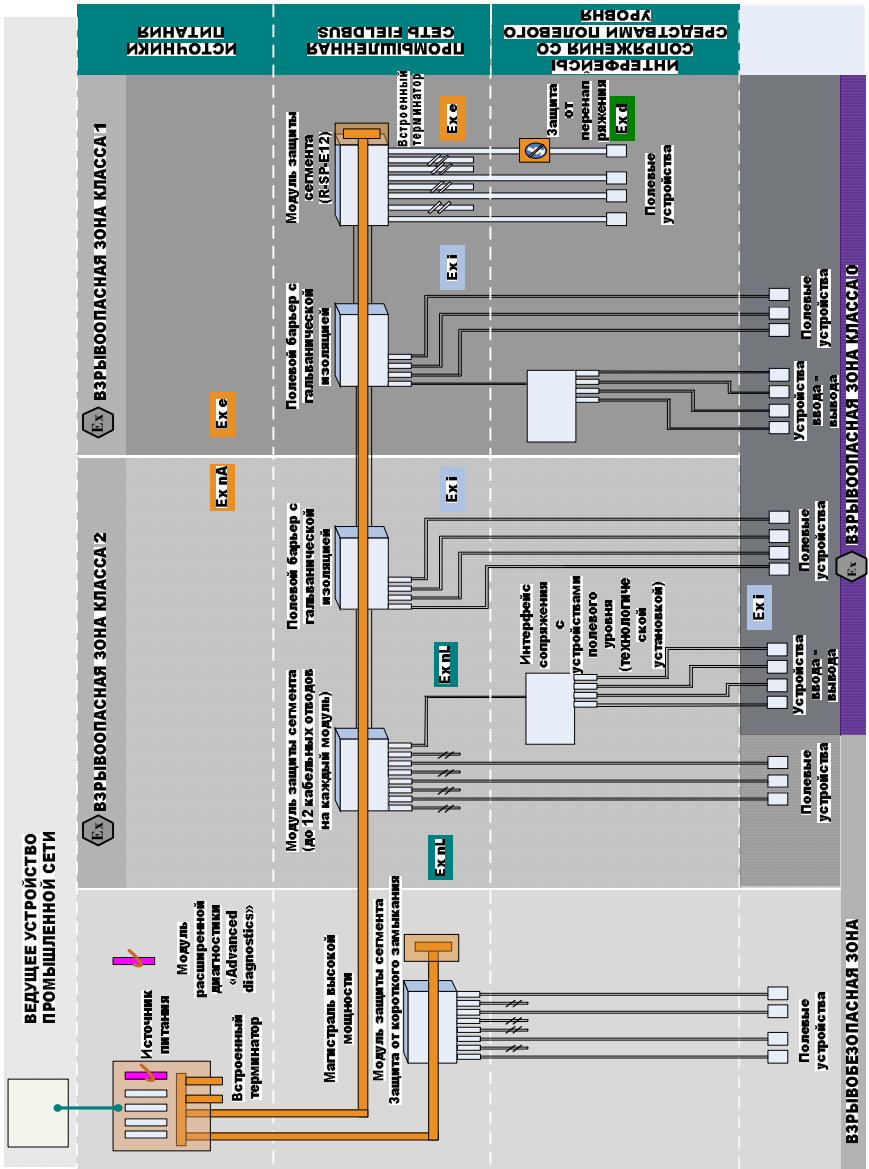


Рисунок 10 - Концепция архитектуры High-Power Trunk для промышленной сети в системах автоматизации

В целях оптимизации показателей работоспособности и затрат в течение жизненного цикла системы каждое полевое устройство должно иметь свою отдельную точку подключения к магистральному кабелю. Система Field-Connex® предлагает несколько вариантов распределительных коробок (Junction Box) для подсоединения полевых устройств к магистрали сети с числом точек подключения полевых устройств от одного до восьми на коробку. Возможность выбора распределительной коробки и размещение её как можно ближе к полемому устройству позволяют минимизировать длину линий отводов, что является одним из основных факторов снижения себестоимости системы.

Проблемой промышленной сети является опасность полного разрыва коммуникации при повреждении одного из подключённых устройств. Для предотвращения отрицательного влияния короткого замыкания одной из линий отвода система FieldConnex® имеет усовершенствованный модуль защиты сегмента (Segment Protector).

Для применений во взрывоопасных зонах класса 2 в системе FieldConnex® имеются соответствующие модули, предназначенные для создания структуры, отвечающей концепции оценки искробезопасности FNICO (Fieldbus Non-Incendive Concept) – концепции промышленной сети с уровнями энергии, не вызывающими воспламенения горючей смеси. FNICO, будучи производной от концепции FISCO (Fieldbus Intrinsically Safe Concept) [8], принималась во внимание компанией Pepperl+Fuchs при разработке концепции искробезопасной промышленной сети. Концепция FNICO, подразумевающая пониженную мощность и использование меньшего количества компонентов, обеспечивает по части рабочих характеристик и стоимости оборудования значительный выигрыш, являющийся результатом пониженного коэффициента искробезопасности цепей (1,1 против традиционного 1,5).

FNICO реализуется ограничением максимального напряжения питания до 17,5 В (чтобы могла использоваться аппара-

тура FISCO) и ограничением тока короткого замыкания по выходу до уровней, при которых электрический разряд не вызывает воспламенения горючей смеси во взрывоопасной зоне класса 2 для категорий взрывоопасных смесей ПС и ПВ (или эквивалентных). Характеристика воспламенения для FNICO была получена эмпирически, а затем опубликована в стандарте IEC 60079-27 и может быть использована любыми производителями источников питания (таблица 2). Ограничение тока, предписанное этой таблицей, является, тем не менее, ограничивающим условием, особенно для магистральной линии, проложенной в зоне с взрывоопасной смесью категории ПС. Между тем дополнительно оговаривается, что при эксплуатации основной магистрали во взрывоопасной зоне класса 2 нет условий для образования электрического разряда, что идентифицируется как защита вида “nA”. В этом случае допускается неограниченный ток от источника питания, который модули защиты сегментов, установленные во взрывоопасной зоне класса 2, подают в каждый отходящий от них кабельный отвод в виде ограниченных токов (то есть применяется защита вида “nA [L]”, обозначенная на рисунке 10 как “Ex nL”).

Так как FNICO является, по существу, искробезопасной системой, то её устройства тоже рассматриваются как искробезопасные и могут подсоединяться и отсоединяться под напряжением без риска воспламенения горючей смеси. Другим преимуществом такой системы является то, что кабели отводов являются свободными от обязательной механической защиты, за счёт чего обеспечивается экономия и по весу оборудования, и по его стоимости.

В системе FieldConnex® также имеются модули для создания структур промышленной сети, отвечающих требованиям таких концепций, как FISCO или Entity.

Таблица 2 - Максимальные значения токов и напряжений для категорий взрывоопасных смесей ПС и ПВ согласно концепции FNICO

Максимальное выходное напряжение U_0 , В	Ток, мА	
	Категория взрывоопасной смеси ПС	Категория взрывоопасной смеси ПВ
14	247	513
15	179	478
16	139	389
17	109	324
17,5	101	287

Замену установленных во взрывоопасной зоне класса 1 полевых устройств без выключения напряжения позволяет осуществлять взрывозащита вида «искробезопасная электрическая цепь». Для того чтобы преодолеть ограничения этого вида взрывозащиты, компания Pepperl+Fuchs в тесном сотрудничестве со своими основными заказчиками разработала передовую технологию защиты и распределения электропитания в промышленной сети – FieldBarrier, реализуемую с использованием одноимённых устройств. Эта технология объединяет взрывозащиты видов «искробезопасная электрическая цепь» и “е” и позволяет подключать к сегменту промышленной сети большое количество полевых устройств, сохраняя при этом параметры искробезопасности. Более того, магистраль и кабельные отводы могут иметь максимально возможные длины, установленные в стандарте на промышленную сеть. Полевые барьеры для искробезопасных сегментов сетей PROFIBUS-PA и FOUNDATION Fieldbus H1 имеют маркировку взрывозащиты 2Exme[ia]IICT4,

степень защиты до IP67, диапазон рабочих температур от -50 до $+70^{\circ}\text{C}$. Их применение в промышленной сети сопряжено со следующими особенностями:

- сегментный соединитель с защитой вида “е” устанавливается во взрывобезопасной зоне (на рисунке 10 не показан, так как размещается на более высоком уровне промышленной сети, чем тот, который представлен на схеме);
- магистральный кабель, коммутирующий сегментный соединитель и несколько модулей полевых барьеров, характеризуется защитой вида “е”;
- кабельные отводы (до 4 на каждое устройство FieldBarrier) имеют длину до 120 м, параметры выходов полевых барьеров соответствуют концепции FISCO, потребляемый ток по каждому отводу до 40 мА;
- на каждый отвод приходится до 3 полевых устройств.

Применение полевых барьеров Field-Barrier в промышленной сети, развёрнутой во взрывоопасной зоне класса 1, позволяет значительно увеличить количество полевых устройств и минимизировать накладные расходы на развёртывание сети во взрывоопасной зоне.

4. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ FIELDCONNEX®

Для обеспечения полевых устройств промышленных сетей PROFIBUS-PA и FOUNDATION Fieldbus H1 электропитанием и коммуникациями компания Pepperl+Fuchs в рамках системы FieldConnex® разработала повторители мощности (Power Repeater), сегментные коммутационные устройства (соединители, полевые барьеры, модули защиты) и распределительные коробки.

4.1 Сегментные соединители

Сегментные коммутационные устройства (соединители) FieldConnex® формируют интерфейс между сетью PROFIBUS-DP (технология передачи RS-485 в соответствии со стандартом EN 50170) и сегментом PROFIBUS-PA (передача данных с использованием сигнала силы тока на основе стандарта IEC 61158-2). Они преобразуют цифровые телеграммы в код сети PROFIBUS-PA Manchester II, устанавливают скорость передачи данных 31,25 кбит/с и подключают источник питания к двухпроводной линии промышленной сети без ухудшения цифрового сигнала в канале связи.

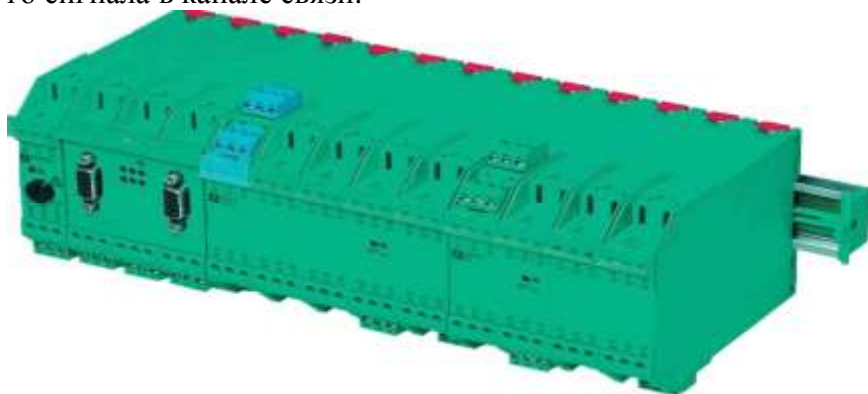


Рисунок 11 - Модульный сегментный соединитель SK2 с резервированным подключением к сети PROFIBUS-DP, установленный на силовой рейке с модулями Power Link

Сигнал между сетями PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA передается прозрачно. Ведущее устройство (Master) сети PROFIBUS обменивается информацией с каждым подключенным устройством сети PROFIBUS-PA точно так же, как с устройством сети PROFIBUS-DP. Каждое устройство PROFIBUS-PA имеет свой индивидуальный PROFIBUS-адрес и может конфигурироваться и параметрироваться посредством своего индивидуального GSD-файла. Сами сегментные соединители не имеют адреса в промышленной сети и не нуждаются в конфигурировании.

Сегментные соединители SK1 FieldConnex® формируют интерфейс между сетью PROFIBUS-DP со скоростью передачи данных 93,75 кбит/с и одним сегментом PROFIBUS-PA. Несколько сегментных соединителей могут быть объединены на одной силовой рейке (Power Rail) и обеспечиваться электропитанием от одного магистрального источника питания.

Сегментный соединитель SK2 FieldConnex® даёт возможность подключать несколько сегментов PROFIBUS-PA к одной магистрали PROFIBUS-DP благодаря модульной концепции построения этого соединителя, реализованной на базе нескольких модулей шлюзов (Gateway) и модулей канала передачи мощности (Power Link). Шлюзы образуют интерфейс между сетями PROFIBUS-PA и PROFIBUS-DP, предоставляя возможность сетям PROFIBUS-DP работать на любой установленной скорости от 45,45 кбит/с до 12 Мбит/с. В зависимости от версии шлюза может быть подключено от 5 до 20 модулей Power Link посредством силовой рейки (рисунок 11) или с помощью проводов, каждый модуль соответствует одному сегменту PROFIBUS-PA. Например, версия шлюза DPR.4PA характеризуется возможностью резервированного подключения к сети PROFIBUS-DP и наличием четырех каналов для подключения до пяти модулей Power Link к каждому. Модули Power Link доступны в искробезопасном и общепромышленном исполнениях. Они позволяют подключать к каждому сегменту полевые устройства в количе-

стве вплоть до максимально допустимого (до 31). Соответствующим размещением полевых устройств между каналами шлюзов может быть оптимизировано время цикла передачи (коммуникации) промышленной сети.



Рисунок 12 - Внешний вид модуля повторителя мощности для искробезопасного сегмента промышленной сети (вариант для FISCO или Entity)

4.2 Модуль повторителя мощности

Модули повторителя мощности (Power Repeater) Field-Connex® обеспечивают электропитанием полевые устройства через кабели связи сети PROFIBUS-PA и усиливают цифровые системные сигналы. Повторители мощности обеспечивают постоянное напряжение для полевых устройств независимо от нагрузки и входного напряжения. Они восстанавливают форму и уровень входных и выходных сигналов.

До 31 повторителя может быть расположено в одной и той же промышленной сети, управляемой одним ведущим устройством. С повторителя начинается новый сегмент промышленной сети. В зависимости от типа повторителя и фактического тока потребления устройствами к сегменту промышленной сети может быть подключено от 1 до 31 полевого устройства. При этом повторители гальванически изолируют сегменты сети друг от друга и от ведущего устройства.

Другим применением повторителей является удлинение промышленной сети. Для сегмента промышленной сети установлена максимально допустимая длина кабеля. Так как с каждого нового повторителя начинается новый сегмент сети, то за счёт подключения сегментов через повторители можно увеличить общую длину сетевого кабеля.

Повторители имеют две встроенных оконечных согласующих цепочки. Одна начинает сегмент промышленной сети, а вторая является переключаемой и позволяет подключать или ведущее устройство, или сегмент промышленной сети.

Съёмные и встроенные соединители для установки модуля повторителя на силовую рейку обеспечивают гибкость и простоту монтажа, а силовая рейка исключает необходимость соединения проводами с подключаемыми источником питания и линией промышленной сети.

Повторители мощности доступны в четырёх исполнениях. Кроме варианта большой мощности общепромышленного назначения, доступны версии для применений во взрывоопасных зонах. Они различаются используемыми видами взрывозащиты, которые основаны на концепции FNICO для применений в зоне класса 2 либо на моделях FISCO или Entity для применений в зоне класса 1. Все повторители для применений во взрывоопасных зонах могут быть установлены во взрывоопасной зоне класса 2.

На рисунке 12 показан внешний вид повторителя мощности для искробезопасного сегмента промышленной сети.

4.3 Распределительные коробки

Рекомендованными коммуникационными топологиями для сетей FOUNDATION Fieldbus H1 и PROFIBUS-PA являются ясные и простые для управления структуры «дерево» или «звезда». Каждое полевое устройство должно иметь свой собственный соединительный кабельный отвод к магистрали сегмента

промышленной сети. Таким образом, неисправное устройство может быть легко обнаружено и его отключение не окажет никакого влияния на коммуникации оставшихся устройств.

Распределительные коробки (распределители) FieldConnex® доступны в разных исполнениях с большим разнообразием корпусов и типов кабельных подключений. Обеспечивая через распределительные коробки необходимый ряд точек подключения, можно выстраивать гибкую топологию промышленной сети, точно соответствующую требованиям конкретного предприятия. Помимо этого распределительные коробки обеспечивают реализацию различных принципов экранирования и заземления.

Распределительные коробки Field-Connex® доступны для применений в общепромышленных и во взрывоопасных зонах. Их достоинством является встроенный переключаемый терминатор промышленной сети. Кроме вводов для сквозной магистрали, они располагают точками подключения для 1–8 кабельных отводов.

На рисунке 13–16 показаны варианты конструктивного оформления распределительных коробок системы Field-Connex®.



Рисунок 13 - Внешний вид конструкции распределительной коробки с одним искробезопасным кабельным отводом, клеммами и кабельными вводами (крышка снята)



Рисунок 14 - Распределительная коробка с одним кабельным отводом (соединители М12х1)



Рисунок 15 - Конструкция распределительной коробки с двумя кабельными отводами (использованы пластиковые кабельные вводы)



Рисунок 16 - Распределительная коробка с восемью кабельными отводами (соединители М12х1) и вводами для магистрального кабеля сети

4.4 Модули защиты сегмента

Модули защиты сегмента системы FieldConnex®, воплощая дальнейшее развитие функциональности распределительных коробок, реализуют защиту от короткого замыкания и перегрузки по току для каждого кабельного отвода. Это гарантирует, что аварийный режим в любом отводе не влияет на работу других отводов. Неповреждённые устройства продолжают обмениваться информацией, а повреждённый отвод может быть легко определён. Короткое замыкание индицируется светодиодом, и после устранения проблемы модуль защиты сегмента автоматически возвращается в исходное состояние, а отвод возобновляет функционирование в нормальном режиме.



Рисунок 17 - Модуль защиты сегмента F2-JBSC-8.CG в алюминиевом корпусе с восемью кабельными отводами



Рисунок 18 - Внешний вид модуля защиты сегмента в корпусе из нержавеющей стали с четырьмя кабельными отводами

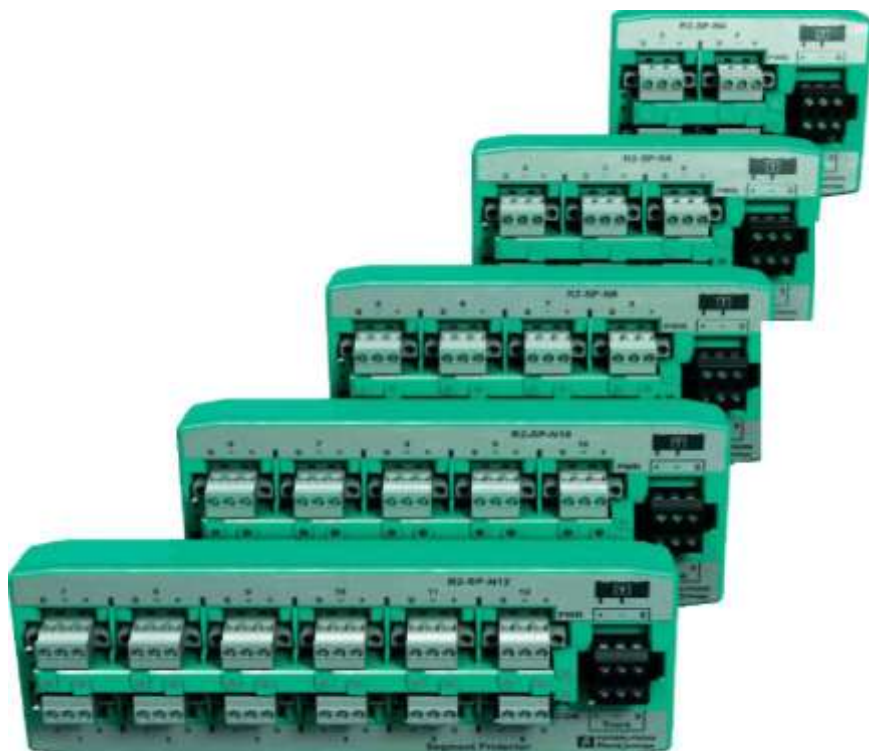


Рисунок 19 - Модули защиты сегмента серии R2-SP-N (количество отводов – 4, 6, 8, 10 и 12)

Для организации соединений устройств сети типа «дерево» или «звезда» доступны модули защиты сегмента с точками подключения до 12 отводов.

В настоящее время предлагаются модули защиты сегмента серии *-JBSC-*, установленные в корпуса из алюминия (рисунок 17) или нержавеющей стали (рисунок 18), а также модули для монтажа в шкафы на DIN-рейки (рисунок 19). Кабельные отводы выводятся из корпуса через кабельные вводы, которые выполнены из нержавеющей стали, латуни, покрытой никелем, или пластика. Модули защиты сегмента серии *-JBSC-* имеют маркировку взрывозащиты 2ExnA[L]IICТ4 X. Модули защиты

сегмента новой серии R2-SP-N* (рисунок 19) предназначены для установки на DIN-рейке в монтажных шкафах. Магистраль подключается к ним через T-образный соединитель. Все соединители снабжены штекерами с невыпадающими винтами и патронами для подключения измерительных приборов, таких как модуль расширенной диагностики “Advanced Diagnostic”. Серия R2-SP-N* включает в свой состав модули защиты сегмента с количеством отводов 4, 6, 8, 10 и 12. Диапазон рабочих температур модулей составляет от -50 до $+70^{\circ}\text{C}$.

4.5 Полевой барьер

Полевой барьер FieldBarrier системы FieldConnex® является чрезвычайно сложным модулем промышленной сети. Он объединяет в себе три неотъемлемые функции физического уровня:

- разветвление магистрали промышленной сети на четыре отвода для подключения полевых устройств;
- ограничение тока короткого замыкания для каждой точки подключения полевого прибора;
- использование удобного вида взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» для полевых устройств.

Полевой барьер является центральным элементом концепции обеспечения электропитанием промышленной сети через барьер. Он позволяет использовать преимущества искробезопасных полевых устройств, в то же время, обходя ограничения по параметрам электропитания и топологии, которые обычно встречаются во взрывоопасных зонах.

Питание для полевых устройств подаётся в сегмент промышленной сети стандартными источниками питания без ограничения мощности. Магистральный кабель, проложенный во взрывоопасную зону, должен быть установлен с применением технических требований защиты вида “е”. Несколько полевых барьеров могут быть соединены на магистрали каскадно, каждый из них имеет четыре выхода для подсоединения полевых устройств с взрывозащитой вида «искробезопасная электриче-

ская цепь». Это позволяет обслуживать полевые устройства без получения специального разрешения на проведение работ. Каждый из выходов обеспечивает ток 40 мА и соответствует требованиям концепций FISCO и Entity. К каждому выходу может быть подключён кабельный отвод с максимальной длиной 120 м без индивидуальных оконечных согласующих цепочек.

Повреждение на одной выходной линии не оказывает отрицательного влияния на магистральную линию или другие выходы благодаря индивидуальной защите каждого выхода от короткого замыкания и перегрузки. Об аварийном режиме сигнализирует светодиодный индикатор, функция автоматического возврата в исходное состояние возобновляет нормальный режим работы выходной линии после устранения проблемы. Конструктивное исполнение полевого барьера обеспечивает его высокую надёжность и длительный срок безопасного функционирования. Для обеспечения соответствия различным требованиям самых разнообразных применений, включая эксплуатацию в жёстких условиях окружающей среды, полевые барьеры доступны в разных исполнениях на базе большинства типов корпусов, представленных ранее в разделе о распределительных коробках. Полевой барьер F2D0-FB-Ex4.CGS в алюминиевом корпусе с кабельными вводами из нержавеющей стали показан на рисунке 20. Внешний вид полевого барьера RD0-FB-Ex4 для установки в шкаф на DIN-рейку представлен на рисунке 21. На рисунке 22 показан вариант конструктивного исполнения системы из трёх полевых барьеров, установленных в шкафу из нержавеющей стали.



Рисунок 20 - Внешний вид полевого барьера в алюминиевом корпусе с четырьмя кабельными вводами из нержавеющей стали



Рисунок 21 - Внешний вид полевого барьера RD0-FB-Ex4 для установки в шкаф на DIN-рейку



Рисунок 22 - Системное решение – три полевых барьера в шкафу из нержавеющей стали

Таблица 3 - Основные технические характеристики полевых барьеров системы FieldConnex®

	F2D0-FB-Eх4.*	F6D0-FB-Eх4.*	RD0-FB-Eх4
Тип корпуса	Алюминиевый корпус для установки во взрывоопасной зоне	Корпус из нержавеющей стали для установки во взрывоопасной зоне	Корпус для крепления на DIN-рейке в шкафу
Электрические параметры			
<i>Магистральная линия</i>			
Напряжение питания	16...32 В постоянного тока		
Ток нагрузки	Режим холостого хода: 25 мА при 16 В/ 22 мА при 32 В Нагрузка 20 мА на отвод: 121 мА при 16 В/ 74 мА при 32 В Нагрузка 40 мА на отвод: 230 мА при 16 В/ 125 мА при 32 В Короткое замыкание на всех выходах: 255 мА		
Согласующее сопротивление	100 Ом (переключаемое)	100 Ом (переключаемое)	100 Ом (переключаемое)
<i>Четыре отвода (значения указаны для одного отвода и справедливы для каждого из них)</i>			
Номинальное напряжение (мин.)	10 В при 40 мА	10 В при 40 мА	10 В при 40 мА
Номинальный ток (макс.)	40 мА	40 мА	40 мА
Ток короткого замыкания (макс.)	50 мА	50 мА	50 мА

Взрывозащита			
Подключение к магистрали	Защита “е”	Защита “е”	Защита “е”
Подключение к отводам	Искробезопасная электрическая цепь, уровень ia	Искробезопасная электрическая цепь, уровень ia	Искробезопасная электрическая цепь, уровень ia
Функциональный модуль	Герметизация компаундом те	Герметизация компаундом те	Герметизация компаундом те
Конструктивные параметры			
Кабельные подключения	Клеммы для подключения проводов сечением 2,5 мм ² или штекерный разъём		
Габаритные размеры (Ш×Д×В)	258×160×84 мм	320×220×86 мм	217×100×74 мм
Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254-96	IP67	IP66	IP20

В таблице 3 приведены основные технические характеристики полевых барьеров системы FieldConnex[®]. •

5. Модули расширенной диагностики FIELDCONNEX® ПОВЫШАЮТ КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Современная промышленная сеть является общепризнанной и в значительной степени уникальной технологией для передачи данных о технологическом процессе и диагностической информации. Со стороны пользователя одним из основных требований является высокий уровень готовности предприятия. Соответственно, качество физического уровня промышленной сети должно удовлетворять весьма высоким требованиям. Только физический уровень требуемого качества гарантирует надежную связь и предотвращение многих проблем. В противном случае возможны потеря связи, потеря отдельных устройств или даже полного сегмента сети.

Модули расширенной диагностики (Advanced Diagnostic Modules) серии FieldConnex® являются эффективными инструментальными средствами для проверки качества физического уровня промышленной сети. Они также обеспечивают помощь в предварительном распознавании проблемных зон и их устранении.

5.1. Диагностика на стадии ввода в эксплуатацию

Как и в случае использования для передачи значений измеряемых переменных унифицированного токового сигнала 4...20 мА, при вводе в эксплуатацию должна быть осуществлена проверка контура. Целью данной проверки является обеспечение наиболее высокого качества физического уровня промышленной сети предприятия при вводе системы в эксплуатацию. Качество должно быть оценено выходящим далеко за рамки требований «стандартного» контроля методом обратной передачи. Наиболее тщательно оцениваются следующие параметры:

- напряжение питания внешнего источника;
- тип модулей питания промышленной сети;
- напряжение питания и ток в кабеле промышленной сети;

- минимальный и максимальный уровни сигнала;
- симметричность монтажа промышленной сети;
- шумы;
- флуктуационные помехи.

Для обеспечения возможности проведения необходимых измерений компания Pepperl+Fuchs предлагает инструментальное программное обеспечение Commissioning Wizard (Мастер ввода в эксплуатацию), которое встроено в FieldConnex® Diagnostic Manager (Диагностическая управляющая программа). Сервисная программа выполняет все измерения автоматически. Она выдаёт измеренные значения и определённые на основе их «качества» предупредительные уровни, по которым формируются аварийные сигналы во время дальнейшего функционирования объекта управления в случае аварийных изменений на физическом уровне. Под «качеством» здесь понимается то, насколько далеко отстоит каждое отдельное измеренное значение от предельных значений, установленных техническими требованиями, – именно это является критерием стабильности управления промышленной сети.

Аварийные уровни определяются из условия, что они тоже должны находиться в рамках предельных значений, установленных техническими требованиями, но при этом должны отстоять от измеряемых значений достаточно далеко, чтобы исключить неоправданное появление мешающих аварийных сигналов. Так что даже в случае изменений на физическом уровне система имеет достаточный запас устойчивости.

Данные размещаются в диагностическом модуле, поэтому он не должен быть постоянно подключённым к FieldConnex® Diagnostic Manager во время работы. Все значения, относящиеся ко всему сегменту или к каждому конкретному подключённому полевому устройству, доступны для отображения и последующей обработки. Результаты представляются таким образом, что даже при беглом взгляде ясно, работает ли сегмент правильно или существуют проблемы на нижнем уровне. Информация о

возможных аварийных ситуациях отображается в виде открытого текста (рисунок 23). Кроме того, отчёт, сформированный для каждого сегмента, может быть экспортирован в различные форматы данных для последующего анализа (рисунок 24). Всё это сокращает время пусконаладочных работ и поиска любых возможных дефектов.

Segment Tag:

Segment Bus-Communication Status: ●

Motherboard Properties

Label	Actual Configuration	Status	Information
Motherboard Properties	Standard 500mA		
Redundancy	Redundant		
Module A	Galvanic isolated	✔	Excellent
Module B	Galvanic isolated	✔	Excellent

Segment Data Ignore Secondary Bulk Power Supply when creating Snapshot

Label	Actual Value	Min. Value	Max. Value	Status	Information
Primary Voltage [V]	25,0	25,0	25,0	✔	Excellent
Secondary Voltage [V]	25,0	25,0	25,0	✔	Excellent
Voltage [V]	29,8	29,7	29,8	✔	Excellent
Current [mA]	59,0	59,0	59,0	✔	Excellent
Unbalance [%]	-2,0	-2,0	-2,0	✔	Excellent
Noise [mV]	34,0	24,0	39,0	✔	Excellent
Jitter [us]	0,8	0,4	0,9	✔	Excellent
Min. Signal Level [mV]	783,0	779,0		✔	Excellent
Max. Signal Level [mV]	828,0		828,0	✔	Excellent

Field Device Data Field Device Tag

Add... /	Field Device Tag	Signal [mV]	Noise [mV]	Jitter [us]	Polarity
16	Host_TAG	783,0	34,0	0,6	Standard
20	P+F VC Box	792,0	29,0	0,7	Standard
21	P+F TI Mux	828,0	24,0	0,8	Standard

Рисунок 23 - При использовании модуля расширенной диагностики качество физического уровня промышленной сети можно оценить беглым взглядом на отображаемую информацию

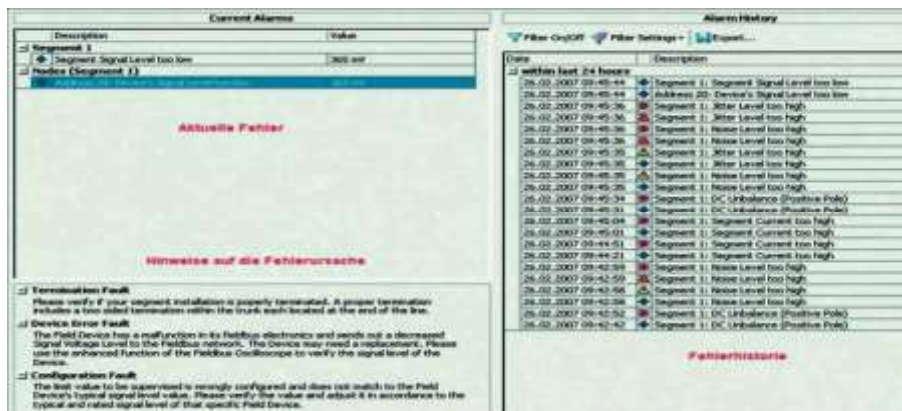


Рисунок 24 - Отображение текущих и архивных аварийных сообщений в формате листинга с текстовыми указаниями потенциальных причин отказов и способов их устранения

Таблица 4 - Сравнение затрат (в человеко-днях) на монтаж, ввод в эксплуатацию и эксплуатацию систем, выполненных с применением различных интерфейсов

Тип интерфейса	Стандартный	Промышленная сеть	
	Унифицированный токовый сигнал 4...20 мА	Без применения модуля расширенной диагностики	С применением модуля расширенной диагностики
Затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию	46,5	21,5	1,6
Затраты на эксплуатацию (техническое обслуживание)	37,5	21,5	1,6

Выгода для заказчика от применения модуля расширенной диагностики становится очевидной, когда выясняется, что проверка сегмента с 16 рабочими станциями занимает всего около 6

минут, включая полную проверку, определение предупредительных уровней аварийной сигнализации, загрузку в диагностический модуль и формирование отчёта. Какое время реально потребуется для контроля 16 измерительных цепей методом обратной передачи с применением токового сигнала 4...20 мА? Наверняка в десятки раз больше! Таким образом, время ввода в эксплуатацию существенно сокращается.

Этот вывод однозначно подтверждает таблице 4, в которой приведены данные по капитальным и эксплуатационным затратам для системы, состоящей из 1200 устройств, установленных непосредственно по месту нахождения оборудования. Таблица отражает потребность в человеко-днях для традиционного токового интерфейса 4...20 мА, промышленной сети без применения модуля диагностики, промышленной сети с применением модуля расширенной диагностики физического уровня и показывает существенное снижение затрат от первого случая к последнему.

5.2 Диагностика на этапе эксплуатации

Если в процессе эксплуатации нарушен предупредительный уровень, инициируется аварийный сигнал «Требуется техническое обслуживание». Для пользователя это означает следующее:

- сегмент по-прежнему функционирует;
- произошли отклонения от штатного режима работы;
- текущие значения характеристик по-прежнему находятся в пределах, установленных техническими требованиями.

Получив такое сообщение, пользователь может решать, нуждается ли данная проблема в немедленном разрешении, или она может быть устранена в течение нескольких последующих дней, или её можно оставить до плановой остановки оборудования. С помощью Diagnostic Manager пользователь получает информацию о типе отказа и о его возможной причине.

Кроме того, в процессе эксплуатации может быть проверена устойчивость связи. Модуль расширенной диагностики выяв-

ляет следующие факты, которые могут указать на проблемы физического уровня сети:

- как часто конкретное устройство исключается из циклической связи;
- как много сообщений конкретное устройство «потеряло»;
- какова причина потери связи.

5.3 Поиск неисправностей и анализ тренда

В отдельных сложных случаях начинает действовать встроенный осциллограф для промышленной сети. Особым свойством этого осциллографа является то, что он встроен в программное обеспечение и может быть запущен событиями промышленной сети, то есть специальными сообщениями или ошибками.

Кроме того, модули реализуют функцию архива, посредством которой могут быть обнаружены медленно развивающиеся изменения. Это позволяет, например, на основе архивных данных ещё до плановой остановки оборудования принять решение в отношении того, нуждается ли сегмент в обслуживании, и, если нуждается, с высокой достоверностью определить круг реально необходимых работ.

Предлагаются стационарная версия модуля диагностики в качестве компонента Power Hub, то есть источника питания промышленной сети (рисунок 26), и переносная версия (рисунок 27). Стационарная версия имеет следующие дополнительные свойства по сравнению с переносным вариантом:

- одновременный контроль до 4 сегментов;
- контроль промышленной сети и внешнего источника питания;
- измерение параметров источника питания в кабеле промышленной сети;
- непрерывный контроль сегментов, включающий передачу аварийных сообщений в систему управления технологическим процессом в соответствии с NE 107.

Оба варианта управляются через Field-Connex® Diagnostic Manager – открытое инструментальное программное средство на основе технологии FDT/DTM [13].

Таким образом, модуль расширенной диагностики может быть использован для сокращения времени ввода в эксплуатацию и для получения предупреждающих сообщений об аварийных изменениях во время работы технологического оборудования с целью обеспечения ещё большей надёжности его эксплуатации и повышения коэффициента готовности.



Рисунок 25 - Диагностический модуль HD2-DM-B промышленной сети PROFIBUS-PA в комплекте с двумя сегментными соединителями и резервированным источником питания промышленной сети



Рисунок 26 - Переносное исполнение средств расширенной диагностики промышленной сети: диагностический модуль, программное обеспечение и кабели в комплекте

Модули системы FieldConnex® сертифицированы в России (сертификат № ОСС ИТ. ГБ05. В05.В02346), и получено разрешение (№ РРС 00-30575) на их применение от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система FieldConnex® обеспечивает надёжное подключение к промышленным сетям PROFIBUS-PA FOUNDATION Fieldbus H1 интеллектуальных средств нижнего уровня систем автоматизации, установленных во взрывоопасных зонах.

Промышленные сетевые архитектуры соответствуют требованиям современных систем автоматизации обрабатывающих отраслей промышленности (нефтехимической, химической, газовой, горнодобывающей и др.). Применение магистральной линии связи повышенной мощности (High-Power Trunk), предложенной компанией Pepperl+Fuchs, позволяет передавать как сигнальные сообщения, так и обеспечивать питанием узлы сети, предоставляет разнообразные дополнительные возможности и обеспечивает необходимую гибкость в соответствии с требованиями систем автоматизации современного производства. Концепция High-Power Trunk с успехом применяется в промышленных сетях PROFIBUS-PA и FOUNDATION Fieldbus H1 и базируется на использовании:

- надёжных источников питания системы FieldConnex® и надёжной технологии монтажа промышленных сетей;
- передовых диагностических средств для всестороннего контроля за техническими параметрами промышленной сети;
- хорошо отработанных концепций взрывозащиты, что позволяет использовать оборудование в любых взрывоопасных зонах.

Система FieldConnex® обеспечивает полную безопасность и гарантирует стабильное функционирование технических средств. Охватить все основные аспекты развития промышленных сетей, конечно, невозможно. Обсуждение отдельных тенденций и аппаратно-программных решений на базе ЦПС будет обязательно продолжено, поскольку реальной альтернативы их применению в распределенных АСУ ТП нет. Только комплексная интеграция систем автоматизированного управления на предприятии в совокупности с модернизацией АСУ ТП отдельных технологических участков может вывести производство на новый уровень надежности и эффективности. Все эти задачи могут быть успешно реализованы на базе упомянутых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кругляк, К. Промышленные сети: цели и средства/К. Кругляк // Современные технологии автоматизации. - 2002. - № 4. - С. 6-17.
2. Ицкович, Э. Перспективные средства автоматизации и эффективность их эксплуатации/Э. Ицкович // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2000. - № 12. - С. 1-4.
3. Kegel, G. FISCO Model Versus Conventional Intrinsic Safety Evaluation in Fieldbus Technology. Mannheim: Pepperl+Fuchs GmbH, // G. Kegel, M. Kessler, G. Rogoll. - 2001.
4. Baltus, Chris. A new hardware concept for fieldbus / Control Engineering Europe. // Chris Baltus . - 2001.- April/May.
5. Kegel, Gunther. Is Fieldbus technology leading towards a breakthrough in process automation? / Gunther Kegel //Automation Technology in Practice (atp International). - 2003. - November.-№ 1.
6. Schmieder, Wilfried. FuRIOS: Fieldbus und Remote I/O_ein Systemvergleich / Wilfried Schmieder, Thomas Tauchnitz. atp Automatisierungstechnische Praxis. - 2002.- № 44. - Edition 12. - P.61 - 70.
7. Мурти, К.К.С. Сравнительный анализ протоколов Fieldbus применительно к промышленным приборам / К.К.С. Мурти, Р.С. Шекхават // Приборы и системы управления. – 1997. – № 2.
8. Гупта, А. FOUNDATION FIELDBUS или PROFIBUS-PA: выбор промышленной сети для автоматизации технологических процессов/ А. Гупта, Р. Каро // Современные технологии автоматизации. – 1999. – № 3.
9. Гусев, С. Краткий экскурс в историю промышленных сетей / С. Гусев // Современные технологии автоматизации. – 2000. – № 4.
10. Дитрих, Д. Fieldbus-концепция построения систем промышленной автоматизации / Д. Дитрих, Н.И. Артемов, О.Б. Низамутдинов, С.В. Белковский // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2000. – № 11.

11.Ицкович, Э.Л. Современные перспективные средства автоматизации: их свойства, характеристики, стандарты, эффективность эксплуатации: [аналитический обзор. Версия 2] / Э.Л. Ицкович // Серия аналитических обзоров по автоматизации производства. - 2003. – Вып. 5.

12.Берра, Дж. Реальные возможности полевой шины Fieldbus / Дж. Берра // Приборы и системы управления. – 1997. – № 4.

13.Жданкин, В.К. Спецификации FDT/DTM и консорциум RASTware / В.К. Жданкин // Современные технологии автоматизации. – 2002. – № 3.

14. [Электронный ресурс] / - Режим доступа: [[www.pea.ru/ ... /deltav/ knowledge base/ WP_ Installing_ Multiple_I_ S_Fieldbus _Device...](http://www.pea.ru/.../deltav/knowledge%20base/WP_Installing_Multiple_I_S_Fieldbus_Device...)], свободный

15.Электропитание и соединение сетей на основе полевой шины [Электронный ресурс]/-Режим доступа: [www.vspmos.ru/ .../FieldbusPowerSupplies_rus.pdf](http://www.vspmos.ru/.../FieldbusPowerSupplies_rus.pdf), свободный

16. [Электронный ресурс]/-Режим доступа: [www.yokogawa.ru/ videoregistrars/](http://www.yokogawa.ru/videoregistrars/), свободный

17.Рекомендации по проектированию систем Foundation™ Fieldbus [Электронный ресурс]/-Режим доступа: www.fieldbus.org/.../fieldbus_report_rus.pdf, свободный

18. [Электронный ресурс]/-Режим доступа: [www.aldis.ru/ techno/nets/history/fieldbus/](http://www.aldis.ru/techno/nets/history/fieldbus/), свободный

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В рамках перечисленных характеристик, общих для сетей различных типов, за последние 20 лет было разработано и внедрено множество законченных аппаратно-программных решений, значительно отличающихся по своим параметрам и сферам применения. Рассмотрим несколько ЦПС, широко распространенных в различных приложениях АСУ ТП и ставших стандартами де-факто.

AS-интерфейс

AS-интерфейс (Actuator/Sensor Interface) был представлен в виде концепции в 1993 году.

Поддерживается консорциумом ведущих производителей средств АСУ ТП, в числе которых фирмы Siemens, Pepperl+Fuchs и другие. Относится к классу ЦПС оконечных устройств, осуществляя непосредственную интеграцию датчиков и исполнительных механизмов в систему автоматизации. Позволяет полностью исключить из АСУТП аналоговые линии связи, кроссировочные шкафы и другое вспомогательное оборудование. Максимальное время цикла опроса составляет 5-10 мс, то есть сравнимо с циклом отработки программы в контроллере. Благодаря этому сети на базе AS-интерфейса активно применяются в распределенных АСУ ТП реального времени, например в системах управления конвейерными производствами. Первоначально AS-интерфейс был ориентирован на работу исключительно с бинарными данными, поэтому длина информационной посылки рекордно малая — всего 4 бита! Тем не менее новая редакция спецификации AS-интерфейса позволяет подключать к сети аналоговые датчики и поворотные шифраторы. Максимальное количество узлов равно 62, максимальная длина с использованием повторителей — 300 м. Данные и питающее

напряжение передаются по одной паре проводов. Сети на базе AS-интерфейса отличаются экономичностью и очень большим выбором средств комплексирования с другими ЦПС.

Протокол CAN

Протокол CAN (Controller Area Network) определяет только первые два уровня ISO/OSI – физический и уровень доступа к среде передачи данных. С начала 90-х годов, когда компания Bosch разработала соответствующую спецификацию, на основе этого протокола реализовано огромное количество полнофункциональных сетей, в том числе таких как SDS, CANOpen, DeviceNet и др. Количество узлов ЦПС, работающих на основе CAN, исчисляется десятками миллионов. Практически у каждого крупного производителя микроконтроллеров есть изделие с CAN-интерфейсом. Основными достоинствами, определившими высокую популярность этого протокола у разработчиков встраиваемых и промышленных систем, являются высокая скорость (до 1 Мбит/с), метод доступа CSMA/CA (не путать с CSMA/CD, реализованным в Ethernet), возможность иметь в сети несколько ведущих устройств, надежная система обнаружения и исправления ошибок. CSMA/CA сочетает минимальную задержку передачи информации с эффективным арбитражем ситуаций, когда несколько узлов начинают передавать данные одновременно. Благодаря этому гарантируется доставка сообщения, то есть система является детерминированной. «Гарантией качества» CAN являются автомобили «Мерседес», электроника которых работает именно по этому протоколу. Технические характеристики (для DeviceNet): максимальное расстояние 500 м, максимальное количество узлов 64, длина информационной посылки 8 байт, используемый кабель Belden 3082A.

Interbus

Спецификация Interbus была разработана фирмой Phoenix Contact в 1984 году и быстро завоевала прочные позиции в сфере распределенных АСУ ТП благодаря целому ряду интересных структурных решений. Прежде всего следует отметить максимальное расстояние, которое может охватывать эта ЦПС, — до 13 километров (рисунок П1)! Для сетей, физический уровень которых основан на стандарте RS-485, этот показатель просто феноменальный, и обеспечивается он благодаря ретрансляции сигнала в каждом узле. Максимальное количество узлов 512, расстояние между узлами до 400 метров, используемый кабель Belden 3119А. Узлы-ретрансляторы образуют основу топологии Interbus, оконечные же устройства подключаются к дополнительным кольцевым сегментам, в которых питающее напряжение передается вместе с данными. Длина дополнительных сегментов может составлять до 200 метров, для их прокладки используется обычная неэкранированная витая пара.

Доступ к среде передачи данных в Interbus организован по принципу суммирующего фрейма и обеспечивает гарантированное время передачи информации. Таким образом, Interbus является хорошим решением для унифицированной автоматизации производства, компоненты которого территориально разнесены на большое расстояние.

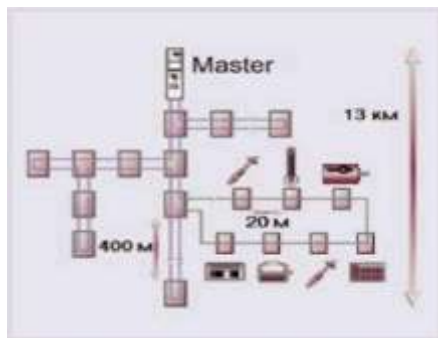


Рисунок П1 - Топология сети Interbus

PROFIBUS

PROFIBUS — семейство ЦПС, обеспечивающее комплексное решение коммуникационных проблем предприятия, было разработано фирмой Siemens в начале 90-х годов.

На нижнем уровне применяется сеть PROFIBUS-DP (рисунок П2), обеспечивающая высокоскоростной обмен данными с оконечными устройствами. Протокол физического уровня соответствует стандарту RS-485. Скорость обмена прямо зависит от длины сетевого сегмента и варьируется от 100 кбит/с на расстоянии 1200 метров до 12 Мбит/с на дистанции до 100 метров. Взаимодействие узлов в сети PROFIBUS определяется моделью «Master-slave». Master сегмента последовательно опрашивает подключенные узлы и выдает команды в соответствии с заложенной в него технологической программой. Протокол обмена данными гарантирует определенное время цикла опроса в зависимости от скорости обмена и числа узлов в сегменте (рисунок П3), что позволяет применять PROFIBUS в системах реального времени.

На более высоком уровне применяется сеть PROFIBUS-FMS, ориентированная на обеспечение информационного обмена одноранговых устройств. Во взрывоопасных зонах используется PROFIBUS-PA, основанная на стандарте физического уровня IEC 61158-2. Сегмент PROFIBUS-PA может иметь длину до 1900 метров со скоростью обмена между узлами 31,25 кбит/с. Применяемый кабель — Belden 3077. Сегменты PROFIBUS-PA подключаются к PROFIBUS-DP через разделительные мосты, обеспечивающие функционирование ЦПС во взрывоопасной зоне.

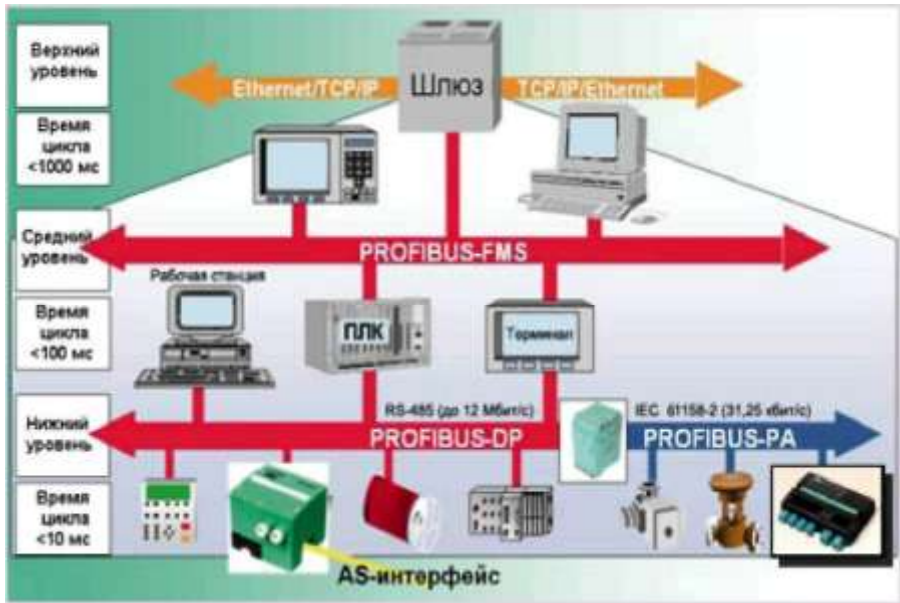


Рисунок П2 - Структура АСУ ТП на базе PROFIBUS

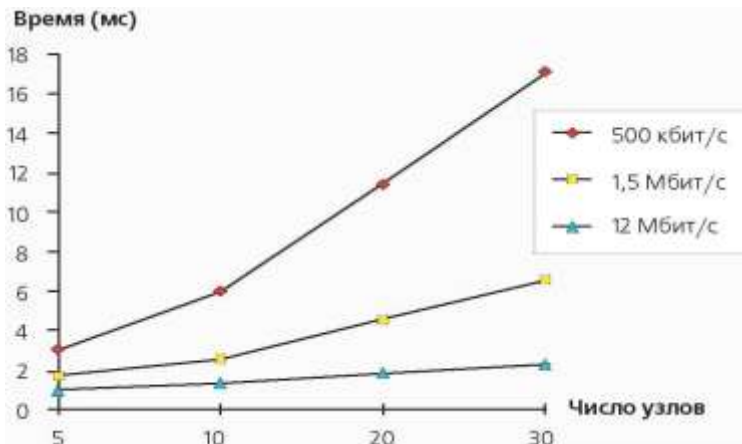


Рисунок П3 - Зависимость длительности цикла опроса от конфигурации сети PROFIBUS

Foundation Fieldbus

Foundation Fieldbus — пожалуй, наиболее «продвинутой» стандарт ЦПС, появившийся на свет только в 1995 году как результат усилий консорциума крупных, в основном североамериканских производителей. По многим параметрам эта система схожа с PROFIBUS-PA: возможность установки во взрывоопасных зонах, передача информационного сигнала вместе с питающим напряжением по одной паре проводов, двухуровневая иерархия и т.д. В Foundation Fieldbus на верхнем уровне используется высокоскоростная магистраль Ethernet, а на нижнем — технология передачи по стандарту IEC 61158.2, как и в PROFIBUS-PA.

Две особенности выделяют Foundation Fieldbus среди других ЦПС. Во-первых, был разработан специальный язык описания оконечных устройств (Device Description Language), использование которого позволяет подключать новые узлы к сети по широко применяемой в обычных IBM PC совместимых компьютерах технологии plug-and-play. Достаточно физически подключить новое устройство, и оно тут же самоопределится на основании заложенного описания DD (Device Description), после чего все функциональные возможности нового узла становятся доступными в сети. При конфигурировании инженеру достаточно соединить входы и выходы имеющихся в его распоряжении функциональных блоков, чтобы реализовать требуемый алгоритм (рисунок П4). Пользователям доступны как типовые DD для стандартных устройств (клапанов, датчиков температуры и т.д.), так и возможность описания нестандартных изделий. Во-вторых, в отличие от других промышленных сетей, Foundation Fieldbus ориентирована на обеспечение одноранговой связи между узлами без центрального ведущего устройства. Этот подход даёт возможность реализовать системы управления, распределенные не только физически, но и логически, что во многих случаях позволяет повысить надежность и живучесть АСУ ТП.

В Foundation Fieldbus реализованы самые сложные технологии обмена информацией: подписка на данные, режим «клиент-сервер», синхронизация распределенного процесса и т.д.

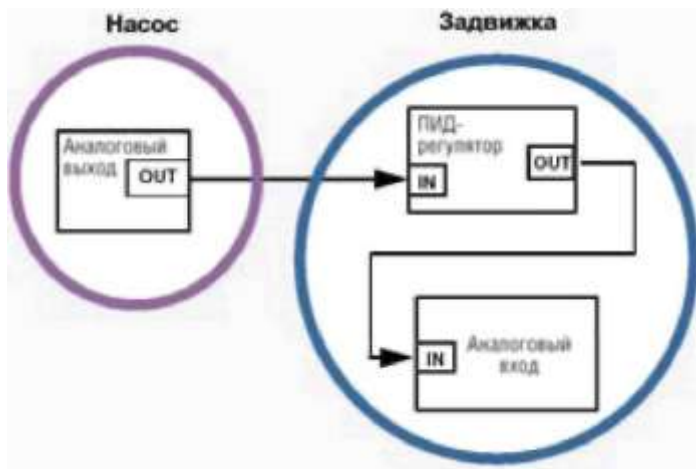


Рисунок П4 - Настройка алгоритма управления в Foundation Fieldbus

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ETHERNET В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основным фактором, обеспечившим Ethernet победное шествие в сфере АСУ, явилось наличие огромного выбора совместимых между собой аппаратных и программных средств построения сетей этого стандарта. Большое количество производителей и конкуренция между ними дали естественный экономический результат: решения на базе Ethernet практически вытеснили все остальные из офисных распределенных приложений. Поэтому следует считаться с желанием пользователей распространить сферу применения Ethernet в промышленные цеха на уровень низовой автоматике. Но очевидно, что использование стандартного набора аппаратных и программных решений в АСУ ТП невозможно, так как офисное оборудование не выдержит эксплуатации в запыленных помещениях, а протокол 802.3 не гарантирует сеть от «зависания» при повышении интенсивности трафика.

Тем не менее промышленный Ethernet существует и активно расширяет сферу своего применения. Прежде всего следует сказать о том, что еще на уровне офисных приложений была решена проблема недетерминированности Ethernet. Переход от концентраторов (hub) к коммутаторам (switch) и от полудуплексных каналов связи к дуплексным позволил снять вопрос о возможности блокировки обмена по сетевому каналу из-за многочисленных коллизий информационных кадров. Благодаря своим «интеллектуальным» возможностям коммутатор направляет полученный информационный кадр только на то подключение, где реально находится абонент, а не ширококешательно во всю сеть. В результате общий объем трафика в сети многократно сокращается. Фактически топология «общая шина» на логическом уровне трансформируется в топологию «каждый с каждым», обеспечивая гарантированную доставку данных.

Кроме того, одним из основных препятствий к применению Ethernet в АСУ ТП всегда было несоответствие между ис-

полнением аппаратных средств и условиями их применения в промышленности. Сейчас ситуация изменилась: появился целый ряд концентраторов и коммутаторов, выполненных в соответствии с требованиями промышленных условий эксплуатации. Такие устройства, в частности, выпускаются фирмами Advantech (ADAM-6510), Hirschmann (Rail-серия) и WAGO (758-500).



Рисунок П5 - Коммутатор RS2-FX/FX фирмы Hirschmann для промышленного Ethernet

Исполнение коммутатора 758-500 фирмы WAGO традиционно для компонента АСУ ТП:

- монтаж на DIN-рейку,
- питание от источника нестабилизированного напряжения 10-30 В постоянного тока,
- диапазон рабочих температур от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$,
- влажность в пределах 5-95% (без конденсации влаги),
- соответствие международным стандартам по вибро- и пожароустойчивости, электробезопасности и электромагнитному излучению,
- защита от выбросов напряжения,
- малые габаритные размеры и низкое энергопотребление,
- возможность установки во взрывоопасных зонах (зона II).

Помимо этого устройство обладает всеми необходимыми характеристиками современного коммутатора:

- пять портов RJ-45 для подключения витой пары,
- поддержка всех стандартных протоколов Ethernet,
- высокая пропускная способность (1,4 Гбит/с),
- защита от «широковещательной атаки»,
- автоопределение параметров линии обмена (дуплекс/ полудуплекс, 10/100 Мбит/с).

Наличие гнезд под разъемы RJ-45 не позволяет, конечно, говорить о какой-либо пылевлагозащите, но этот недостаток легко преодолевается путём установки коммутатора в электротехнический шкаф со степенью защиты IP55, например PROLINE или INLINE фирмы Schroff.

Отдельно следует остановиться на продукции Rail-серии фирмы Hirschmann. Концентраторы и коммутаторы серий RH1, RS1 и RS2 позволяют реализовать фирменное системное решение производителя — гиперкольцо (HIPER-Ring), позволяющее с помощью минимальных затрат многократно повысить надежность системы коммуникаций. Замкнув кольцо, то есть проложив всего-навсего один дополнительный кабель, разработчик распределенной АСУ ТП получает гарантию самовосстановления системы при возникновении самой тяжелой для любой сети аварийной ситуации, такой как обрыв кабеля или выход из строя какого-либо узла. Восстановление нормального информационного обмена осуществляется без участия человека за минимальное время (не более 500 мс). В зависимости от условий эксплуатации и степени удаленности оборудования разработчик комплекса АСУ ТП может применять экранированную витую пару, многомодовое или одномодовое оптоволокно.



Рисунок П6 - Промышленный коммутатор 758-500 фирмы WAGO для сетей Ethernet

Таким образом, на сегодняшний день имеется достаточный набор аппаратных средств, с помощью которых можно протянуть линию Ethernet с верхнего (офисного) «этажа» АСУ ТП предприятия на нижний — в цех. Возникает следующий вопрос: как оптимально использовать полученный информационный канал?

Следует сразу отметить, что возможности непосредственного подключения отдельных оконечных устройств к Ethernet пока нет. Это объясняется несколькими обстоятельствами. Во-первых, накладные расходы на передачу малого объема информации (1-2 байта) в Ethernet неоправданно высоки (минимальный размер блока данных 512 бит). Во-вторых, при всей своей экономичности Ethernet-решения пока ещё слишком дороги, если применять их к каждому оконечному устройству.

Тем не менее существует несколько системных решений, гарантирующих промышленному Ethernet долгую и счастливую жизнь. Прежде всего это объединение в единую сеть промышленных компьютеров, рабочих станций и терминалов, используемых в качестве рабочих мест технологов и операторов. Это направление применения Ethernet в АСУ ТП практически ничем (за исключением аппаратных средств) не отличается от комплексования IBM

PC совместимых компьютеров в офисной среде. Следует упомянуть о применении промышленных контроллеров, имеющих встроенный сетевой интерфейс. Примеров множество: Octagon Systems 6225, Fastwel CPU686E, Diamond Prometheus и т.д. Каждый из них может служить вычислительным ядром системы ввода-вывода, контролирующей тот или иной технологический участок производства. С верхнего уровня посредством файлового обмена и стандартных протоколов IPX и TCP/IP могут осуществляться такие важные функции, как загрузка программ, настройка, параметризация, получение текущих значений, выдача команд оператором. Выбор тех или иных протоколов обмена находится целиком в ведении разработчика программного обеспечения верхнего уровня. Наиболее популярным решением в настоящее время является применение ModBus/TCP.

Следующее направление развития АСУ ТП на базе Ethernet-распределенные УСО с Ethernet-интерфейсом. В качестве примера рассмотрим новую серию модулей - ADAM-6000 фирмы Advantech. Эта серия УСО является развитием широко используемой серии ADAM-4000, поддерживающей интерфейс RS-485. Номенклатура модулей (аналоговый и дискретный ввод-вывод, ввод сигналов термодпар/RTD, счетчики и т.д.) повторяет и расширяет серию 4000, а также поддерживает старую систему команд в ASCII-формате, что позволяет конечным пользователям осуществлять модернизацию системы удаленного сбора данных в минимальные сроки и с минимальными затратами. Кроме того, серия ADAM-6000 поддерживает протоколы TCP/IP, UDP/IP, а также стандартный промышленный протокол ModBus/TCP для прямого сопряжения со SCADA-системами посредством OPC-сервера. Новые УСО идеально подходят для построения АСУ ТП на базе Интернет-технологий, поскольку имеют встроенную поддержку web-страниц и удаленной загрузки программного обеспечения.



Рисунок П7 - Концентраторы и коммутаторы серии Rail фирмы Hirschmann



Рисунок П8 - 4-портовый концентратор Ethernet ADAM-6510

Наиболее эффективным средством развития АСУ ТП с помощью промышленного Ethernet является интеграция существующих систем сбора и обработки данных, основанных на последовательных интерфейсах RS-232/422/485, посредством шлюзов. Это направление особенно интересно в условиях, когда у предприятия недостаточно финансовых средств для комплексной модернизации, а задача объединения ресурсов АСУ ТП в единый комплекс насущна и жизненно необходима. Применение устройств ADAM-4570/4571 делает подобную интеграцию реальностью, причем с минимумом затрат. Поставляемое программное обеспечение делает соединение через локальную сеть абсолютно прозрачным, благодаря чему информация с удаленной подсистемы моментально становится доступной на верхнем уровне в реальном масштабе времени. Для экономичного подключения большого количества подсетей последовательного интерфейса можно применять концентраторы EDG-4504/4508/4516 фирмы Advantech с 4/8/16 последовательными каналами соответственно.

Приложение В

Установка нескольких искробезопасных устройств FOUNDATION fieldbus с системой DeltaV

Технология FOUNDATION fieldbus позволяет подключать несколько искробезопасных устройств к одному коммуникационному сегменту. Таким образом, в одной системе управления могут использоваться устройства различных фирм. Подобное свойство называется совместимостью. Плата H1 DeltaV осуществляет планирование обмена данными между устройствами, необходимого для выполнения стратегий управления. Цифровая система управления DeltaV обеспечивает инициализацию, диагностику и текущий контроль работы каждого сегмента. В зависимости от стратегии управления, система DeltaV выполняет стратегию управления либо, если управление реализуется в устройствах FOUNDATION fieldbus, отображает текущие параметры. Система DeltaV обеспечивает совместимость множеством способов.

Рассмотрим пример подключения нескольких искробезопасных устройств при использовании DeltaV. Конфигурацию, изображенную на рисунке П9, с помощью стандартного оборудования Fisher-Rosemount. На плате H1 DeltaV имеется два порта. В приведенном ниже примере для подключения нескольких устройств используется только один из портов [14].

На рисунке П9 показано восемь искробезопасных устройств, подключенных к одному сегменту H1 DeltaV.

В схеме присутствует устройство MTL5995, которое является источником питания общего назначения, разработанное для использования на полевой шине 31.25 кбит/с (H1). Оно может применяться как в искробезопасных, так в не искробезопасных системах. При использовании источника в искробезопасных системах он должен комплектоваться барьером безопасности, таким как MTL791. MTL5995 соответствует требованиям к источ-

никам питания fieldbus FOUNDATION™ типа 131 (неискро-безопасный источник для питания искрозащитных барьеров). Для того чтобы соответствовать стандартам на полевую шину, каждая шина должна быть ограничена оконечными нагрузками с обоих концов. Для этих целей могут поставляться оконечные нагрузки полевой шины MTL типа FBT1-IS или FCS-MBT либо для безопасных зон и короткой шине устройство MTL5995 имеет встроенную нагрузку для безопасных зон, которая активизируется с помощью переключателя, например, MTL5053 [15].

Участок сегмента MTL791 не может превышать по длине 120 м. Барьер должен быть заземлен. Участок сегмента MTL5053 не может превышать по длине 1900 м. Максимальная суммарная длина сегмента – 1900 м.

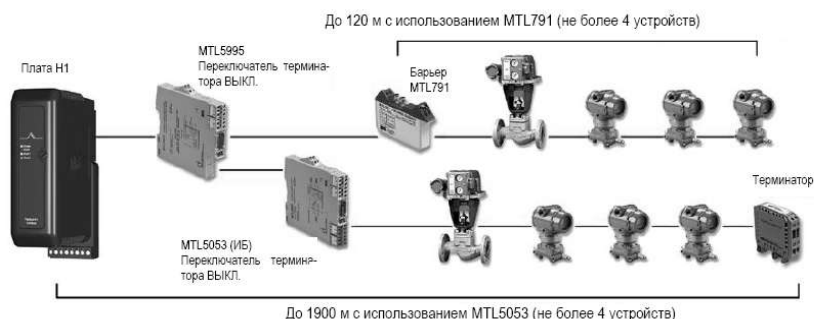


Рисунок П 9 - Подключение восьми искробезопасных устройств к одному сегменту H1

Сравнивая системы FieldConnex® и DeltaV можно сделать вывод, что использование последней является оптимальным, т.к.

1. источник питания шины комплектуется барьером искробезопасности;
2. количество датчиков, которые можно подсоединить к источник питания увеличивается в 2 раза;
3. по стоимости система DeltaV дешевле, чем FIELDCONNEX®.

FOUNDATION fieldbus по своим возможностям является качественным стандартом, поскольку она не только обеспечивает цифровую связь полевого оборудования с системой управления, но и дает возможность приборам взаимодействовать друг с другом без участия устройств верхнего уровня [16]. При этом общий стандарт FOUNDATION fieldbus позволяет приборам от разных производителей работать совместно без какого-либо дополнительного программного обеспечения.

Помимо общего снижения затрат на установку, запуск и обслуживание технологического оборудования, это свойство вкуче с цифровой передачей данных открывает новые горизонты в области оптимизации управления технологическими процессами и повышения качества продукции.

Приложение Г

Многовходовой температурный модуль системы FieldConnex®: простая интеграция сигналов от датчиков температуры в сеть FOUNDATION Fieldbus

Измерение температуры и управление ею в технологических установках, использующих промышленную сеть FOUNDATION Fieldbus H1, стало значительно проще после того, как компания Pepperl+Fuchs выпустила новый компонент системы FieldConnex® – многовходовой модуль для сигналов от датчиков температуры (исполнения ****D0-TI-Ex*.**.*****). Это аналоговое полевое устройство сопряжения промышленной сети передаёт сигналы от термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей, датчиков сопротивления, а также сигналы напряжения милливольтового диапазона через сеть FOUNDATION Fieldbus H1. Ток для питания устройства передаётся через кабель промышленной сети, то есть применение дополнительного силового кабеля для него не требуется. Многовходовой температурный модуль доступен в различных конструктивных исполнениях на базе двух основных модификаций: для установки в шкафах на стандартной DIN-рейке и для жёстких условий окружающей среды с температурами от –40 до +70°C. Маркировка взрывозащиты модулей в зависимости от модификации конструктивного исполнения – 0ExiaIICT4 или [Exia]IIС. На рисунке П10 показан вариант конструктивного исполнения многовходового температурного модуля для установки в шкаф. Модуль может устанавливаться во взрывоопасных зонах класса 1 или в качестве связанного оборудования с источником питания в общепромышленном исполнении в зонах класса 2. Взрывозащищённость модуля соответствует требованиям концепций FISCO и Entity; также он может применяться в зоне класса 2 в сети, отвечающей требованиям FNICO – концепции промышленной сети с уровнями энергии, не вызывающими воспламенения горючей смеси.



Рисунок П 10 - Восьмиканальный температурный модуль системы FieldConnex® для установки в шкафу на DIN-рейке

Данное многовходовое устройство позволяет подключать до восьми датчиков, которые могут быть расположены в зоне класса 0. Возможно подключение i термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей по двух-, трёх- или четырёхпроводным схемам, а также датчиков сопротивления и напряжения. Каждая линия подключения датчика во время работы контролируется индивидуально, повреждения отображаются светодиодными индикаторами и сопровождаются аварийными сообщениями. Гальваническая изоляция входов позволяет конфигурировать и параметризовать их индивидуально. Также поддерживаются функции диагностирования датчиков и компенсации э.д.с. холодного спая для термопар.

Коммуникация в сети FOUNDATION Fieldbus H1 обеспечивается посредством восьми аналоговых функциональных входных узлов или одним многовходовым аналоговым функциональным блоком. Время обновления информации от датчика составляет менее 1 с. С целью обеспечения соответствия перспективным требованиям быстро развивающихся технологий полевых устройств и промышленных сетей предусмотрен встроенный интерфейс для обновления записанного во флэш-память программного обеспечения.

Многоходовой температурный модуль системы FieldConnex®, являясь по сути своей сложным решением для построения интерфейса с промышленными сетями, обеспечивает между тем простую и эффективную интеграцию сигналов от полевых устройств в цифровые коммуникации промышленных сетей и открывает возможности для реализации преимуществ современных сетевых технологий.

Приложение Д

«Определение отношения максимальной индуктивности к сопротивлению (L_0/R_0) для источника питания с внутренним сопротивлением R_i » из главы 6.3.3 стандарта ГОСТ Р 51330.10-99

Отношение максимальной внешней индуктивности к сопротивлению (L_0/R_0), Гн/Ом, которые могут подключаться к источнику питания с внутренним сопротивлением R_i должно быть рассчитано по следующей формуле

$$L_0/R_0 = \frac{\delta e R_i + (64e^2 R_i^2 - 72U_0^2 e L_i)^{1/2}}{4,5U_0^2},$$

где e - минимальная воспламеняющая энергия, Дж;

R_i - минимальное внутреннее сопротивление источника питания, Ом;

U_0 - максимальное напряжение холостого хода, В;

L_i - максимальная индуктивность, подключенная к источнику питания, Гн.

Значение e , Дж, составляет для электрооборудования:
группы I ... $525 \cdot 10^{-6}$

подгруппы

ПА ... $320 \cdot 10^{-6}$

ПВ... $160 \cdot 10^{-6}$

ПС ... $40 \cdot 10^{-6}$.

При $L_i = 0$

$$L_0/R_0 = \frac{32eR_i}{9U_0^2},$$

Данные формулы учитывают коэффициент безопасности 1,5 по току, и не должны использоваться, когда C_i на выходных зажимах электрооборудования превышает 1 % от C_0 .

Примечания:

1. При коэффициенте искробезопасности, равном 1, значение L_0/R_0 должно быть увеличено в 2,25 раза.
2. Обычно отношение L_0/R_0 применяется для оценки влияния распределенных параметров кабеля, а его применение для сосредоточенных значений индуктивности и сопротивления требует особого рассмотрения.