

Виктор Жданкин

Применение fieldbus-систем во взрывоопасных зонах

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

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]. В данной статье кратко представлена современная концепция построения распределённых сетей для взрывоопасных зон, приведена методика оценки искробезопасности интерфейса RS-485.

СТРУКТУРА ИСКРОБЕЗОПАСНЫХ FIELDBUS-СИСТЕМ

Обобщённую структуру искробезопасной fieldbus-системы можно представить так, как это показано на рис. 1.

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 промышлен-

ленные 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.

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 по

средством 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

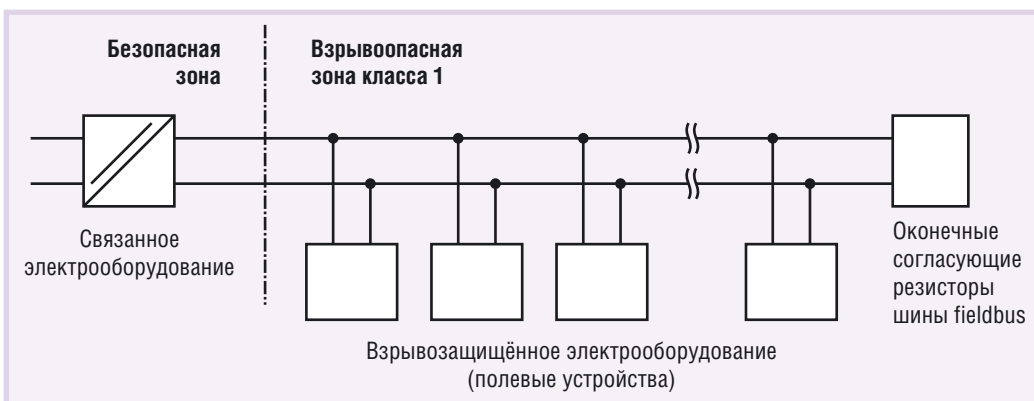


Рис. 1. Структура искробезопасной fieldbus-системы

Таблица 1

Значения минимальной воспламеняющей энергии для электрооборудования различных групп/подгрупп

Группа/подгруппа	Значения минимальной воспламеняющей энергии e [Дж]
I	525×10^{-6}
IIA	320×10^{-6}
IIВ	160×10^{-6}
IIС	40×10^{-6}

ределяемое 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 (рис. 1). При этом исходим из сценария наихудшего случая, соответствующего ситуации, когда все устройства осуществляют передачу одновременно.

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 системы 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 .

достаточно учитывать только максимальное выходное напряжение U_0 , которое может появиться на соединительных устройствах искробезопасных цепей электрооборудования в случае приложения максимального напряжения, и максимальное 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 полевом 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 соединительным 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 главы 6.3.3 «Определение отношения максимальной индуктивности к сопротивлению (L_0/R_0) для источника питания с внутренним сопротивлением R_p » 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. табл. 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, оп-

Модель FISCO

Аббревиатура FISCO означает Fieldbus 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 рис. 2 на примере битов 3 и 4, они должны быть разделены характерным перепадом. В силу этой особенности на рис. 2 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 рис. 2 ток источника питания представлен значением 10 мА.

2. Допускается только один активный источник на сегмент (в этом случае связанное электрооборудование — сегментный соединитель 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 рис. 2 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 оборудо-

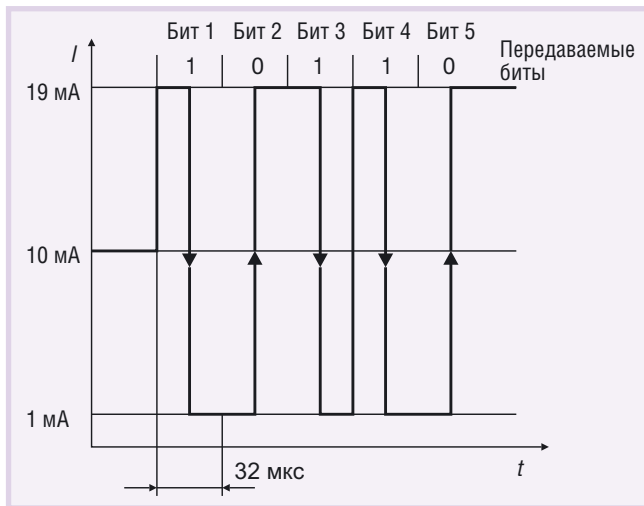


Рис. 2. Представление логических 0 и 1 в коде Manchester II

ования (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 особовзрывобезопасного уровня взрывозащиты Ex ia IIC, равна 1000 м. В общую длину кабеля входят длина кабеля основной шины и суммарная длина всех кабельных отводов.

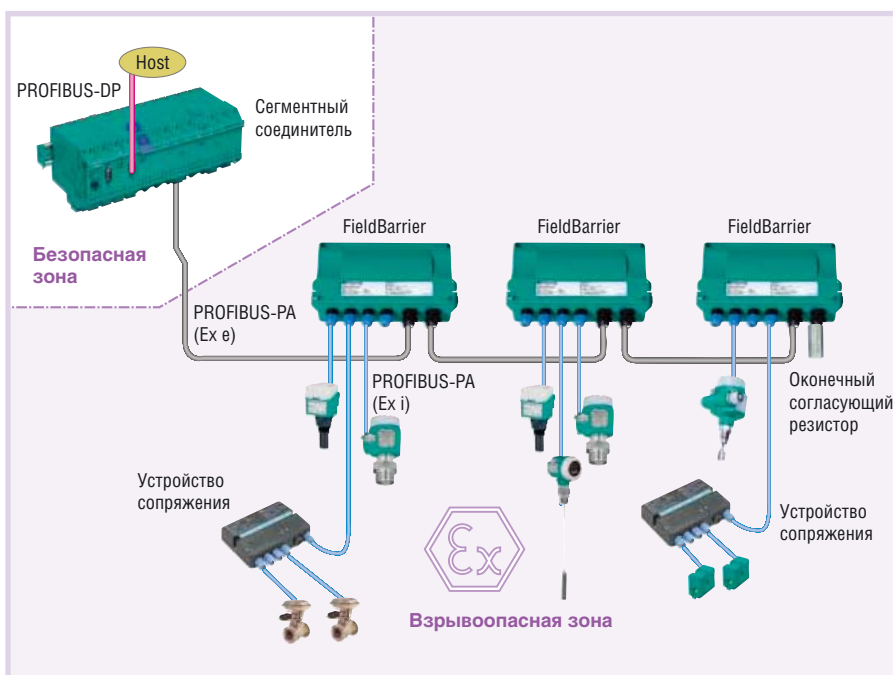


Рис. 3. Структура системы на базе сетей PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA, в которой разные виды взрывозащиты сочетаются в соответствии с концепцией FieldConnex™

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:

- $C' = C'_{\text{проводник/проводник}} + 0,5C'_{\text{проводник/экран}}$, если шина изолирована;
- $C' = C'_{\text{проводник/проводник}} + C'_{\text{проводник/экран}}$, 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).

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 ра-

ботать в сегменте шины, оказывается меньшим и определяется их суммарным током потребления.

СОЧЕТАНИЕ РАЗНЫХ ВИДОВ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ В FIELDBUS-СИСТЕМАХ

Если fieldbus-система разработана исключительно в качестве искробезопасной, то это означает, что потребуется сравнительно большое число сегментных соединителей или усилителей мощности (данный факт был кратко проиллюстрирован в предыдущем разделе). Конечно, искробезопасное оборудование имеет то пре-

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

Снизить материальные затраты и объединить преимущества вида взры-

возащиты «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 (рис. 3).

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 под-

ключённого 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 то-

ка 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. 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 (рис. 4).

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Кругляк К. Промышленные сети: цели и средства // Современные технологии автоматизации. 2002. № 4. С. 6-17.
2. Ицкович Э. Перспективные средства автоматизации и эффективность их эксплуатации // Промышленные АСУ и контроллеры. 2000. № 12. С. 1-4.
3. G. Kegel, M. Kessler, G. Rogoll. FISCO-Model Versus Conventional Intrinsic Safety Evaluation in Fieldbus Technology. Mannheim: Pepperl+Fuchs GmbH, 2001.
4. Chris Baltus. A new hardware concept for fieldbus // Control Engineering Europe. 2001. April/May.
5. Gunther Kegel. Is Fieldbus technology leading towards a breakthrough in process automation? // Automation Technology in Practice (atp International). 2003. November. № 1.
6. Wilfried Schmieder, Thomas Tauchnitz. FuRIOS: Fieldbus und Remote I/O - ein Systemvergleich // atp Automatisierungstechnische Praxis. 2002. № 44. Edition 12. P. 61-70.

В.К. Жданкин — сотрудник фирмы ПРОСОФТ
 119313 Москва, а/я 81
 Телефон: (495) 234 -0636
 Факс: (495) 234-0640
 E-mail: info@prosoft.ru

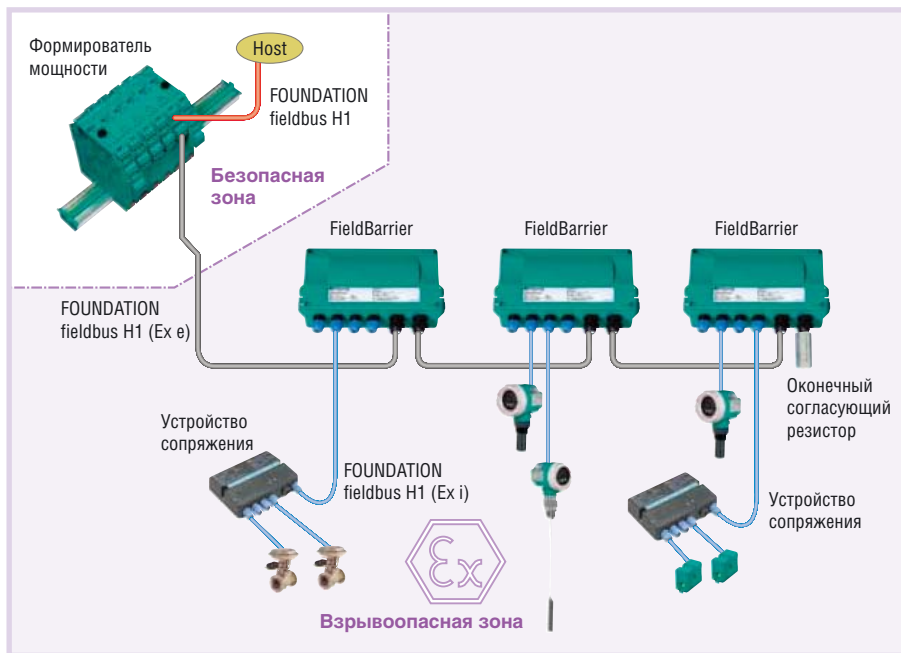


Рис. 4. Структура системы на базе сети FOUNDATION fieldbus H1, в которой разные виды взрывозащиты сочетаются в соответствии с концепцией FieldConnex™