

Особенности оценки применимости систем автоматизации с физическим уровнем передачи данных по волоконно-оптическим кабелям во взрывоопасных средах

Гладких С.А.¹, Длутров О.В.¹, Залогин А.С.², Семенов А.Б.³, Хвостов Д.В.⁴, Залогин А.А.⁵, Лошатецкий В.И.⁵

¹АО «Москабель-Фуджикура», Россия, Москва; ²ООО «НАНИО ЦСВЭ» МО, Люберцы, Россия;

³Московский государственный строительный университет, Москва, Россия; ⁴ООО «СИМПЭК»,

Москва, Россия; ⁵РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия;

mk-f@mk-f.ru, dlutrovov@mk-f.ru, zalogin@ccve.ru, andre52.55@mail.ru, simpec@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены особенности сертификации систем автоматизации для взрывоопасных производств с построением физического уровня на волоконно-оптической технике. Указано на отсутствие возможности полноценного общего решения этой задачи на интеграторском уровне из-за наличия нормативных запретов, что влечет за собой необходимость применения законченных вендорских решений при построении систем со старшим классом по уровню защиты. Отмечена простота самого процесса сертификации из-за его линейного характера.

Материалы и методы

Использованы материалы международных, российских и межгосударственных стандартов, федеральных законов, технических регламентов, тематических публикаций в научной периодике, проспекты фирм-производителей. Применены метод структурного анализа нормативных документов, синтез ключевых обобщений.

Ключевые слова

волоконно-оптический кабель, взрывобезопасность, оценка соответствия, сертификация, технический регламент, стандарт, вендор, интегратор

Для цитирования

Гладких С.А., Длутров О.В., Залогин А.С., Семенов А.Б., Хвостов Д.В., Залогин А.А., Лошатецкий В.И. Особенности оценки применимости систем автоматизации с физическим уровнем передачи данных по волоконно-оптическим кабелям во взрывоопасных средах // Экспозиция Нефть Газ. 2026. № *. С. 81–84

Современное предприятие вне зависимости от области деятельности должно демонстрировать высокую эффективность в широком смысле этого термина. Она обеспечивается различными средствами, причем в перечне ключевых среди них значится поддержка различных аспектов производственного процесса со стороны информационно-телекоммуникационной системы (ИТС). ИТС в процессе выполнения своих функций предоставляет сотрудникам различные виды связи и доступ к информационным ресурсам, создает комфортные условия для работы при реализации офиса как умного дома, а в производственной части обеспечивает функционирование всего комплекса технологического оборудования как единого целого.

Одна из специфических особенностей ИТС предприятий горнорудной, угледобывающей, нефтехимической, газовой и других промышленных отраслей — особые требования в части взрывобезопасности. Это определяется тем, что электрические и оптические сигналы, используемые в сетевых интерфейсах различного назначения, в ряде случаев имеют такую энергию, которая достаточна для инициализации воспламенения взрывоопасной среды. Документом, подтверждающим отсутствие таких рисков, т.е. саму возможность безопасного применения компьютерного и телекоммуникационного оборудования в этих областях, является соответствующий сертификат, выдаваемый органом сертификации на основании испытаний, проводимых уполномоченной аккредитованной лабораторией.

Для слабого оборудования, которое использует для организации информационного обмена токи проводимости, т.е. электрические сигналы, получение такого

сертификата основывается на выполнении ряда норм [1]. Что же касается применения технических средств, использующих волоконно-оптические решения, то сертификационные процедуры проработаны существенно слабее. Важность этой области определяется широким распространением волоконной оптики в системах передачи информации [2] и наблюдающийся с начала первого десятилетия XXI века быстрый рост популярности ее применения в различных измерительных системах [3]. Далее приводятся определенные соображения, которые снимают по крайней мере ключевые вопросы в этой части.

Особенности сертификации волоконно-оптических интерфейсов на безопасность функционирования во взрывоопасных средах

Безопасность технических систем вне зависимости от области применения регулируется техническим регламентом ТРТС 012/2011. Специфика отдельных областей учитывается требованием выполнения профильных стандартов, входящих в соответствующий перечень указанного регламента [4]. Применительно к системам автоматизации для взрывоопасных сред базовым нормативным документом является ГОСТ 31610.28-2017.

Указанный стандарт разрешает применение волоконно-оптических кабелей во взрывоопасных зонах. При этом во всех случаях кабель рассматривается исключительно как неотъемлемая составная часть телекоммуникационной или измерительной системы. Конкретные требования к технике сводятся к:

- заданию предельно допустимого уровня оптического излучения;
- ограничению вероятности выхода излучения из поврежденного волокна;

- применению механической защиты кабеля;
- выбору конструкции применяемых соединителей;
- использованию комплекса остальных мероприятий, которая соответствует требуемому уровню взрывозащиты.

Отсюда непосредственно вытекает, что, согласно ГОСТ 31610.28-2017, волоконно-оптический кабель не может быть отнесен к классу «Ех-оборудования», то есть оборудования, которое применительно к взрывоопасным средам имеет самостоятельное значение.

Иерархия взрывобезопасности систем с волоконно-оптическим кабелем по ГОСТ 31610.28-2017

Область действия ГОСТ 31610.28-2017 распространяется на оборудование и передающие системы, которые используются во взрывоопасных средах или же в процессе своего штатного функционирования направляют оптическое излучение в таковые. Данное оборудование может быть отнесено к одному из нескольких базовых уровней взрывозащиты. Для обозначения уровней используются символы а, b и с, причем уровень, а в этой классификации рассматривается как наивысший (очень высокий по терминологии стандарта). Взрывоопасные среды из-за разности их свойств учитываются отдельно и делятся на G (gas — газ), D (dust — пыль) и M (mining — рудничный метан). В результате формируется матрица уровней защиты оборудования в части взрывобезопасности, которая приведена в таблице 1.

Соответственно, формируется удобная в практическом использовании система обозначений в форме двухбуквенной

аббревиатуры, например, Gc, Db, Ma. Выбор системы обозначений произведен из соображений гармонизации с международным стандартом IEC 60079-28:2015, а их применение дает полное понимание назначения оборудования.

ГОСТ 31610.28-2017 исходит из того, что волоконно-оптический кабель без ограничения общности может содержать как один, так и несколько волоконных световодов, что соответствует современной практике построения волоконно-оптических систем.

Особенности применения защищенного волоконно-оптического кабеля

Волоконно-оптический кабель как составная часть взрывобезопасного оборудования должен относиться к так называемым защищенным кабельным изделиям. По ГОСТ 31610.28-2017 кабель считается защищенным, если в процессе штатного функционирования в нормальных условиях эксплуатации, а также при прогнозируемых неисправностях выход излучения в окружающую среду блокируется конструкцией самого кабеля, а также различными дополнительными схемными решениями уже использующей его аппаратуры.

Защищенные кабели без привлечения дополнительных мер по наращиванию взрывобезопасности могут применяться в составе техники, сертифицированной на два младших уровня взрывозащиты, т.е. Gb, Db, Mb и Gc, Dc.

Для уровней Gc или Dc требования к кабельной инфраструктуре минимальны, т.к. они относятся к областям, в которых взрывоопасная среда возникает редко и на короткое время. Здесь может использоваться волоконно-оптический кабель с внутренними разъёмными соединителями только заводского исполнения. Соединения, выполняемые непосредственно на объекте, должны соответствовать требованиям ГОСТ 31610.0 к внешним штепсельным соединениям для соответствующего уровня взрывозащиты.

Кабель уровней Gc или Dc также не обязан обладать свойствами ограничителя передачи энергии (искробезопасности) или специальной защитой от проникновения газа вдоль жил внутри оболочки (как это требуется для герметичного компаундирования в уровнях Ga/Gb). Главная задача кабеля здесь — просто передать сигнал, не создавая при нормальной работе источников зажигания.

Реализация защиты уровней Gb, Db, Mb не вызывает технических сложностей. Она достигается:

- целенаправленным введением в конструкцию кабеля защитных элементов;
- применением дополнительной внешней механической защиты на основе кабелепровода или кабельного канала.

Взрывобезопасность в аварийных ситуациях обеспечивается выполнением требования в части того, что кабель или волокно, выходящие из оболочки оконечного оборудования, должны проходить испытание

на отрыв. При этом соединение внешнего кабеля с оборудованием должно иметь механическую прочность, сопоставимую с прочностью самого кабеля. Метод выполнения соединения на объекте должен быть описан в документации.

Фактически ГОСТ 31610.28-2017 в этой части распространяет на новую область известный в кабельной технике подход к применению кабельных муфт всех видов. В его основу положен принцип обеспечения 75-процентной механической прочности от конструкции обслуживаемых кабелей при полной герметичности.

Ситуация усложняется при необходимости обеспечения уровня защиты вида *or pr* (англ. *protected optical radiation*) или защиты предотвращением, которая исключает выход оптического излучения во взрывоопасную среду. На этом уровне при каких-либо повреждениях кабеля оптическое излучение должно оставаться внутри волокна или же не выходить за пределы защитной оболочки. Фактически ужесточение требований сводится к гарантированной дополнительной защите волокна от механических повреждений. В случае же повреждений стандартом выдвигается требование локализации излучения внутри общей оболочки.

Случай уровней Ga, Da и Ma

Для наиболее жестких условий, соответствующих уровням Ga, Da и Ma, только защита предотвращением типа «*or pr*» считается недостаточной. Необходимо привлечение дополнительных вариантов обеспечения взрывобезопасности (рис. 1):

- обеспечение искробезопасности оптического излучения «*or is*» (англ. *inherently safe optical radiation*) жестким ограничением интенсивности светового пучка;
- применение схемы «*or pr*» (англ. *optical radiation protection by encapsulation*) или защиты оболочкой для Gb/Db/Mb и Gc/Dc, предполагающей наличие защищенного волоконно-оптического кабеля, конструкция которого блокирует выход излучения в окружающую среду в аварийных ситуациях;
- установка элементов блокировки оптического излучения в сетевых интерфейсах для получения уровня «*or sh*».

Оптическое излучение искробезопасно и соответствует критерию «*or is*» в том случае, если мощность и энергия светового импульса искусственно ограничены на уровне самого источника. Искробезопасное излучение не в состоянии нагреть микрочастицы до температуры воспламенения даже при прямом попадании светового потока во взрывоопасную газовую или пылевоздушную смесь.

При всей эффективности подхода «*or is*» его главным недостатком является заметное ограничение дальности действия интерфейса из-за конечной чувствительности приемника. Его устраняют применением подхода типа «*or pr*». Суть этого приема обеспечения взрывозащиты заключается в том, что потенциально опасный источник оптического

излучения (в большинстве случаев выход излучателя передатчика сетевого интерфейса или же оптически активная торцевая поверхность световода) физически изолируется от окружающей взрывоопасной среды. Наиболее просто достигнуть этого свойства через:

- монтаж потенциально опасных оптических компонентов внутри корпуса;
- заливкой всех соединителей компаундом таким образом, чтобы взрывоопасная среда физически не могла взаимодействовать с источником света.

Заливка компаундом при всей ее эффективности не выгодна тем, что устройство становится неремонтопригодным.

Уровень «*or sh*» реализуется в тех ситуациях, когда излучение не является искробезопасным. Может рассматриваться как распространение уровня *or pr* на случай ситуации выхода излучения за пределы оболочки в нормальных условиях эксплуатации, т.е. при размыкании разъема.

Выполнение условий уровня «*or sh*» обеспечивается применением быстродействующей системы отключения оптического излучения или его блокировкой на уровне управляющей электроники оптических интерфейсов. Такая защита должна срабатывать значительно раньше, чем повреждение волокна и выход оптического излучения в окружающее пространство сможет привести к воспламенению среды. Соответствующие схемотехнические решения заимствуются, например, из систем связи со спектральным мультиплексированием, где согласно санитарным нормам также необходимо блокировать выход излучения в окружающую среду при отключении вилки шнура от розетки оптического интерфейса.

Время блокировки излучения должно быть существенно меньше времени задержки воспламенения без конкретизации этого значения.

Особенности ограничения мощности излучения

В случае защиты по схеме «*or is*» безопасность определяется не конструкцией кабеля как таковой, а максимальной мощностью или энергетической освещенностью (плотностью мощности), которая может появиться при обрыве волокна, разъединении соединителя или неисправности источника.

Излучатели волоконно-оптических передатчиков сетевых интерфейсов современных систем автоматизации имеют мощность, которая примерно на порядок ниже предельно допустимой по ГОСТ 31610.28-2017. Соответственно для телекоммуникационного оборудования принимается во внимание только энергетическая освещенность, которая:

- не должна превышать 5 мВт/мм² для всех сред групп I и II;
- для группы III энергетическая освещенность ограничена значением 5 мВт/мм² для Da и Db, 10 мВт/мм² для Dc.

Допускаются более высокие значения рассматриваемого параметра, но они обосновываются отдельно. При этом может потребоваться проведение предусмотренных стандартом испытаний на воспламенение.

Необходимость реализации этого ограничения должны быть предусмотрена еще на стадии выполнения проекта. В процессе соответствующего расчета с привлечением данных активного сетевого оборудования контролируются:

- уровень сигнала на выходе оптического

Табл. 1. Матрица уровней защиты оборудования по взрывобезопасности

Уровень	G (газ)	D (пыль)	M (метан)
a	+	+	+
b	+	+	+
c	+	+	—



Рис. 1. Варианты наращивания взрывобезопасности волоконно-оптических систем



Рис. 2. Области применения основных нормативных документов при оценке соответствия волоконно-оптического кабеля требованиям взрывобезопасности

передатчика сетевого интерфейса и на входе во взрывоопасную зону;

- рабочая длина волны;
- разновидность волоконного световода (одномодовый/многомодовый).

Результаты расчетов верифицируются измерениями в процессе приемки законченной монтажом системы.

Объем оценки соответствия волоконно-оптической техники

Оценка соответствия волоконно-оптического кабеля на требования взрывобезопасности производится в составе системы автоматизации и требует привлечения в качестве нормативной основы положений двух документов: ТР ТС 012/2011 и упоминаемый им ГОСТ 31610.28-2017 (рис. 2). При этом ТР ТС 012/2011 задает общее требование в части исключения источников воспламенения и оптического излучения как одной из его разновидностей, тогда как ГОСТ 31610.28-2017 выдвигает детальные требования, в том числе количественного характера к конструкции волоконно-оптической техники.

Функции ядра оценки берут на себя параметры оптического излучения, передаваемого по волоконно-оптическому кабелю. Применительно к конкретной группе взрывоопасной среды (пыль, газ) контролируется соблюдение ограничений на предельно допустимые значения энергетической освещенности. С учетом типовых скоростей передачи и оптических линейных кодов сетевых интерфейсов оборудования автоматизации требуемый ГОСТ 31610.28-2017 отдельный контроль одиночных импульсов не выполняется.

Применяемый в составе системы волоконно-оптический кабель должен относиться к защищенным, что достигается введением в его конструкцию дополнительных армирующих компонентов. При необходимости уровень защищенности доводится до требуемого проектными приемами через применение соответствующих кабелепроводов и кабельных каналов.

Кроме того, конструкция кабеля должна выполнять действующие требования ГОСТ IEC 60079-14-2013 в части ограничения продольного перемещения воды и взрывоопасной среды по воздушным каналам

неплотной структуры кабельного сердечника и пожаробезопасности.

Отдельно через испытания на отрыв по ГОСТ 31610.11 контролируются соединители всех видов, необходимые для построения волоконно-оптического тракта. На соединители в части их механических характеристик распространяются правила применения кабельных муфт: прочность должна составлять не менее 75 % от конструкции кабеля.

На уровне схемных решений проверяется наличие схемы защиты от электрической перегрузки или повреждений, которые могут привести к резкому росту интенсивности пучка.

Проектными решениями предусматривается четкая маркировка и исчерпывающая документация.

Волоконно-оптический кабель как взрывобезопасный компонент системы

Волоконно-оптический кабель как компонент системы демонстрирует некоторый дуализм в части обеспечения взрывобезопасности.

С одной стороны, кабель или шнур могут быть неотъемлемой частью взрывозащитного оборудования, проходящего обязательную сертификацию на соответствие требованиям взрывобезопасности ТР ТС 012/2011.

С другой стороны, волоконно-оптические кабели, которые не являющиеся частью системы, могут использоваться для построения систем автоматизации для взрывоопасных зон, если они проложены в кабельных каналах любого вида соответствующим уровням взрывозащиты Gb, Db, Mb и Gc, Dc. В случае уровней Gc, Dc требования в части взрывобезопасности ослабляются до требований соответствующих промышленных стандартов.

С точки зрения практики реализации проектов комплекс этих требований можно интерпретировать как рекомендацию

- применения законченного вендорского решения при выдвигании исходного требования обеспечения характеристик уровней Ga, Da, Ma;
- допустимость интеграторского подхода к формированию системы на продуктах различных производителей при уровнях взрывозащиты двух младших классов.

Волоконно-оптический кабель и искробезопасность

ГОСТ 31610.28-2017 через свое приложение D предполагает возможность наличия в конструкции волоконно-оптических кабелей стальной ленточной или проволоочной брони и экранирующей ленты из легкого алюминиевого сплава. В процессе эксплуатации они могут механически контактировать друг с другом, что создает потенциальную возможность искрения с последующим зажиганием паровоздушной смеси заданного состава, опасность которого вытекает из ГОСТ IEC 60079-14-2013 и может быть оценена по ГОСТ Р 58068-2018.

Очевидный на первый взгляд переход на непроводящую, композитную, в частности стеклопластиковую, броню не решает проблему искрения полностью из-за существования в общем случае двух полярных ситуаций.

Первая из таких ситуаций касается построения взрывобезопасной системы в условиях разности потенциалов вплоть до десятков кВ, например, для обеспечения молниезащиты. Типовой способ решения проблемы — применение полностью диэлектрического волоконно-оптического кабеля.

Во втором случае речь идет о рисках накопления электростатического заряда на поверхности диэлектрической оболочки кабеля из обычных кабельных полимеров. Типовой способ устранения этой проблемы (через подбор состава оболочки и/или внедрение проводящего экрана), что требует заземления и сопровождается рисками перемещения нулевого потенциала в пределах взрывоопасной зоны.

Соответственно, еще одним критерием при разработке проектных решений в части взрывобезопасности становится учет электрических рисков.

Итоги

Доказано, что физический уровень систем автоматизации может быть построен и полноценно сертифицирован на применение во взрывоопасных средах в случае использования волоконно-оптической техники. Установлено, что универсальным подходом к обеспечению взрывобезопасности является применение законченных вендорских решений, интеграторский подход на основе продукции различных производителей допустим не более чем при

средних уровнях рисков. Сама сертификация эффективна только в случае дополнительного учета электрических рисков.

Выводы

1. Сертификация систем автоматизации различного назначения с использованием волоконно-оптического кабеля на физическом уровне на применимость во взрывоопасных средах должна производиться с обязательным привлечением положений двух нормативных документов: ТР ТС 012/2011 и ГОСТ 31610.28-2017.
2. Задача построения системы автоматизации с волоконно-оптическими интерфейсами в зависимости от ситуации решается как с привлечением

законченного вендорского решения, так и на интеграторском уровне (для двух младших классов системы) с учетом конкретных характеристик применяемой в этой области техники.

3. Оценка соответствия оборудования автоматизации с волоконно-оптическими интерфейсами требованиям взрывобезопасности носит линейный характер и может быть выполнена в форме простой покомпонентной многошаговой процедуры.
4. Учет электрических рисков при оценке взрывобезопасности обязателен и выполняется по двум альтернативным сценариям в зависимости от конструктивной разновидности используемого кабеля.

Литература

1. Максютов С.Г., Постнов С.П. Основы выбора электрических аппаратов для взрывоопасных помещений и зон // Территория Нефтегаз. 2010. № 11. С. 12–15.
2. Гладких С.А., Длутров О.В., Хвостов Д.В., Семенов А.Б. Волоконно-оптический кабель и взрывоопасные среды // Вестник связи. 2025. № 6. С. 61–64.
3. Бадеева Е.А., Гориш А.В., Крупкина Т.Ю. и др. Волоконно-оптический датчик давления на туннельном эффекте // Датчики и системы. 2005. № 8. С. 10–12.
4. Семенов А.Б., Хвостов Д.В. LAN-кабели и их сертификация на безопасность // Электросвязь. 2025. № 6. С. 12–16.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гладких Сергей Анатольевич, генеральный директор, АО «МОСКАБЕЛЬ-ФУДЖИКУРА», Москва, Россия
Для контактов: mk-f@mk-f.ru

Длутров Олег Вячеславович, к.т.н., технический директор, АО «МОСКАБЕЛЬ-ФУДЖИКУРА» Москва, Россия
Для контактов: dlutrovov@mk-f.ru

Залогин Александр Сергеевич, к.т.н., генеральный директор, ООО «НАНИО ЦСВЭ» МО, Люберцы, Россия
Для контактов: zalogin@ccve.ru

Семенов Андрей Борисович, д.т.н., профессор, Московский государственный строительный университет, Москва, Россия
Для контактов: andre52.55@mail.ru

Хвостов Дмитрий Вадимович, генеральный директор, ООО «СИМПЭК», Москва, Россия
Для контактов: simpec@mail.ru

Залогин Александр Александрович, аспирант, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия
Для контактов: aazalogin@ccve.ru

Лошатецкий Вадим Игоревич, аспирант, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия



При поддержке
АССОЦИАЦИИ
НЕФТЕГАЗОСЕРВИСНЫХ
КОМПАНИЙ



КАЛЕНДАРЬ МЕРОПРИЯТИЙ 2026

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОНФЕРЕНЦИИ

26-30 ОКТЯБРЯ 2026,
Адлер,
Сочи Парк Отель

Бурение, освоение, испытания, ремонт и эксплуатация горизонтальных скважин. Инновации в области добычи нефти и газа. Промышленная безопасность на ОПО нефтегазовой отрасли

ACADEMY.
INTECHNOL.
COM



t.me/GNVP_STOP



Сайт



Канал MAX



625000, Россия, г. Тюмень,
ул. Республики д. 62 офис 345

8 (3452) 520-958; 8 800 222 99 89
8 982 928 58 63

academy@intechinol.com
academy.intechinol.com