

# Некоторые вопросы обеспечения взрывобезопасности оборудования

Виктор Жданкин

*Из искры возгорится пламя*

А. Одоевский

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) предприятий горнодобывающей, химической, нефтехимической, газовой промышленности, применяющих в технологических процессах или производящих взрывоопасные и токсичные вещества, работают на объектах, где определенные участки производства характеризуются либо постоянным наличием взрывоопасной среды, либо существует потенциальная опасность появления такой среды в случае аварий или отклонений от нормального течения технологического процесса. Вот почему выбор высоконадежных и экономичных технических решений, обеспечивающих защиту предприятия от возможных возгораний и взрывов, является одной из первоочередных задач при проектировании АСУ ТП.

Последствия таких техногенных катастроф могут привести как к человеческим жертвам, так и к необратимому ущербу для окружающей среды. Ничто не говорит о важности этих проблем более красноречиво, чем следующая выдержка из газеты Коммерсантъ-Daily от 24 апреля 1998 г.: «Причиной взрыва на донецкой шахте имени Скочинского, где 4 апреля 1998 года погибли 63 человека, было замыкание в коробке электродвигателя угольного конвейера. Сначала от искр воспламенился метан, а затем взорвалась угольная пыль.» Необходимо учитывать, что датчики, электротехническое и электронное оборудование, а также линии связи между ними, кроме всего прочего, находятся в неблагоприятных условиях промышленного предприятия. Из-за существенной протяженности линий связи (обычно она составляет несколько сотен метров) вероятность их повреждения в результате отказа или аварии того или иного технологического агрегата достаточно высока. Поэтому при проектировании необходимо принимать меры, направленные на обеспечение защиты элементов системы от возможных аварийных ситуаций.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В промышленности очень часто возникают условия, при которых существует непосредственная возможность возникновения пожара или взрыва. Для защиты как оборудования, так и обслуживающего персонала должны быть приняты меры предосторожности, создающие условия, при которых во взрывоопасных средах вероятность возникновения взрыва сводится к нулю.

Известно много способов взрывозащиты, обеспечивающих безопасную эксплуатацию электрооборудования во взрывоопасных средах. Государственные, а в некоторых случаях международные стандарты и правила безопасности устанавлива-

ют эти способы и подробно определяют, каким образом следует разрабатывать и применять различное оборудование.

С химической точки зрения, окисление, горение и взрыв являются экзотермическими реакциями, происходящими с различными скоростями. Для осуществления таких реакций необходимо наличие следующих трех компонентов в соответствующих пропорциях:

- топливо — легковоспламеняющиеся пары, жидкости или газы, горючая пыль, горючая смесь;
- окислитель — обычно воздух или кислород;
- энергия воспламенения — электрическая или тепловая.

В зависимости от того, каким образом происходит реакция, результатом может быть нормированное горение, волна огня или взрыв.

Все методы защиты, применяемые в настоящее время, пытаются исключить один или более компонентов для того, чтобы уменьшить риск возникновения взрыва до приемлемого уровня. В корректно спроектированной системе, как правило, допускается, что должны возникнуть две или более независимые неисправности, каждая с небольшой вероятностью, для того чтобы возможный взрыв произошел.

Для кислородосодержащей атмосферы риск воспламенения взрывоопасной смеси зависит от вероятности одновременного наличия следующих двух условий:

- образование легковоспламеняющихся или взрывоопасных паров, жидкостей или газов, горючей пыли в атмосфере или скопление огнеопасных или взрывчатых веществ;
- наличие источника энергии: электрической искры, электрической дуги или температуры, достаточной для воспламенения, т. е. того, что способно воспламенить опасную смесь.

Для многих распространенных взрывоопасных смесей экспериментальным путем построены так называемые характеристики воспламенения. Характеристики для водорода и пропана приведены на рис. 1. Для каждого топлива существует минимальная энергия поджигания

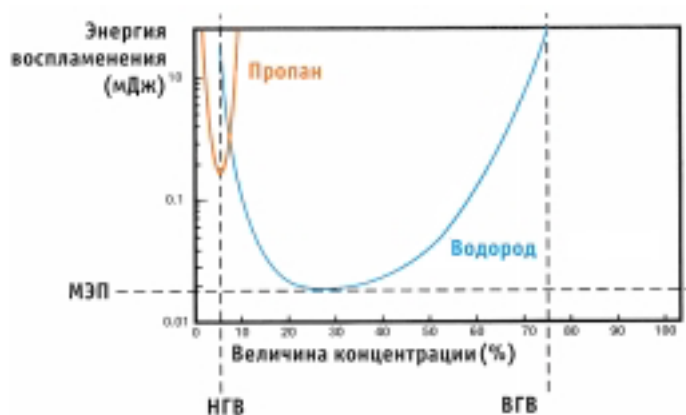


Рис. 1. Характеристики воспламенения для водорода и пропана

(МЭП), которая соответствует идеальной пропорции топлива и воздуха, в которой смесь легче всего воспламеняется. Ниже МЭП поджигание невозможно при любой концентрации.

Для концентрации ниже, чем величина, соответствующая МЭП, количество энергии, требующейся для воспламенения смеси, увеличивается до тех пор, пока значение концентрации не станет меньше значения, при котором смесь не может воспламениться из-за малого количества топлива. Эта величина называется нижней границей взрыва (НГВ). Аналогичным образом при увеличении концентрации количество необходимой для воспламенения энергии растет, пока концентрация не превысит значения, при котором воспламенение не может произойти из-за недостаточного количества окислителя. Это значение называется верхней границей взрыва (ВГВ).

В качестве примера в таблице 1 приводятся характеристики для водорода и пропана.

**Таблица 1. Характеристики МЭП, НГВ, ВГВ для водорода и пропана**

	МЭП	НГВ	ВГВ
Водород	20 мкДж	4%	75%
Пропан	180 мкДж	2%	9,5%

С практической точки зрения, НГВ является более важной и существенной величиной, чем ВГВ, потому что она устанавливает в процентном отношении минимальное количество топлива, необходимого для образования взрывоопасной смеси. Эта информация важна при классификации опасных зон.

МЭП (минимальная энергия, требуемая для поджигания смеси воздуха и топлива при наиболее благоприятной концентрации) является фактором, на котором основан такой вид взрывозащиты, как искробезопасная электрическая цепь. В этом случае энергия, освобождаемая электрической цепью, даже при аварийных условиях ограничивается до более низкого значения, чем МЭП.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ

Стандарт ГОСТ 12.1.011-78, который полностью соответствует стандартам МЭК 79-1А, 79-4, устанавливает классификацию взрывоопасных смесей по категориям и группам, а также методы определения параметров взрывоопасности, используемые при классификации смесей. Классификация взрывоопасных смесей позволяет получить исходные данные, необходимые при выборе взрывозащищенного электрооборудования согласно ГОСТ 12.2.020-76.

Во-первых, взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на категории взрывоопасности в зависимости от величины безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ — максимальный зазор между фланцами оболочки, через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации горючего в воздухе) и значения соотношения между минимальным током воспламенения испытываемого газа или пара и минимальным током воспламенения метана (МТВ); во-вторых, на группы в зависимости от величины температуры самовоспламенения.

Взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом подразделяются на следующие категории:

I — метан на подземных горных работах,

II — другие газы и пары за исключением метана на подземных горных работах.

В зависимости от значений БЭМЗ газы и пары категории II подразделяются согласно табл. 2.

**Таблица 2. Подразделение газов и паров категории II в зависимости от значений БЭМЗ**

Категория взрывоопасности смесей	Величина БЭМЗ, мм
IIA	0,9 и более
IIB	Выше 0,5, но менее 0,9
IIC	0,5 и менее

В зависимости от значений МТВ газы и пары категории II подразделяются согласно табл. 3.

**Таблица 3. Подразделение газов и паров категории II в зависимости от значения МТВ**

Категория взрывоопасности смесей	Величина МТВ
IIA	Более 0,8
IIB	От 0,4 до 0,8 включительно
IIC	Менее 0,45

Для классификации большинства газов и паров достаточно применения одного из указанных критериев. В некоторых случаях необходимо определять как БЭМЗ, так и соотношение МТВ. В тех случаях, когда значение БЭМЗ или соотношение МТВ неизвестны для данного газа или пара, за основу можно взять химическое соединение, принадлежащее к тому же гомологическому ряду, но с меньшим молекулярным весом.

В зависимости от величины температуры самовоспламенения взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на группы согласно табл. 4.

**Таблица 4. Подразделение смесей газов и паров в зависимости от температуры самовоспламенения**

Группы взрывоопасных смесей	Температура самовоспламенения, °С
T1	Выше 450
T2	От 300 до 450 включительно
T3	От 200 до 300
T4	От 135 до 200
T5	От 100 до 135
T6	От 85 до 100

Распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам приведено в табл. 5.

В табл. 6 сравниваются обозначения категорий взрывоопасных смесей в соответствии со стандартом МЭК 79-12 и классификации в соответствии с Государственной кодировкой, принятой в США. В настоящее время большинство государственных стандартов используют обозначения категорий взрывоопасных смесей в соответствии с МЭК, где II обозначает наземные условия, а I — опасность, обусловленную метаном на подземных горных работах. Сравнение в таблице является приблизительным: например, американская Категория С примерно соответствует перечню веществ для категории IIB стандарта МЭК.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОПАСНЫХ МЕСТ В ЕВРОПЕ И СЕВЕРНОЙ АМЕРИКЕ

В Европе существует тенденция следовать рекомендациям МЭК 79-10, основывающимся на том, что любое место, где существует вероятность наличия взрывоопасной среды, должно быть отнесено к одной из следующих трех зон:

**Zone 0** — зона, в которой взрывоопасная смесь воздуха и газа присутствует постоянно или в течение длительного промежутка времени;

**Таблица 5. Распределение наиболее распространенных взрывоопасных смесей по категориям и группам**

Категория взрывоопасности и группа взрывоопасных смесей	T1	T2	T3	T4	T5	T6
IIA	Ацетон Этан Этил хлористый Аммиак Бензол Кислота уксусная Метан Метанол Метил хлористый Пропан Толуол	Этил Амилацетат Бутан Бутилены	Бензин Дизельное топливо Гексан Гептан Диметилсульфиддегид Нефть сырая	Альдегиды: изомасляный, масляный, ацеталь Паральдегид		
IIВ	Коксовый газ Синильная кислота	Окись этилена Этилен	Изопропанилацетилен			
IIС	Водород			Сероуглерод		

**Class I (газы или пары)**

Опасные зоны Class I подразделяются на следующие четыре группы, зависящие от вида присутствующих легковоспламеняющихся газов или паров:

**Group A** — атмосферы, содержащие ацетилен;

**Group B** — атмосферы, содержащие водород, топливо и горючие технологические газы, где более чем 30% водорода в объеме, или газы и пары, равнозначные по опасности таким, как

бутадиен, окись этилена, окись пропилена;

**Group C** — атмосферы, содержащие этиловый эфир, этилен или газы и пары равнозначной опасности;

**Group D** — атмосферы, содержащие ацетон, аммиак, бензин, бутан, этанол, гексан, метанол, метан, природный газ, нефть, пропан или газы и пары равнозначной опасности.

**Class II (горючие пыли и порошки)**

Опасные зоны Class II подразделяются на следующие три группы, зависящие от вида присутствующих горючих пылей или порошков:

**Group E** — атмосферы, содержащие горючие металлические порошки, включая алюминий, магний и их сплавы или другие горючие пыли, чьи размеры частиц, электропроводность сходны по опасности при использовании электрооборудования;

**Group F** — атмосферы, содержащие горючие каменноугольные пыли, или коксовые пыли, или синтезированы из других веществ так, что приводят к опасности взрыва;

**Group G** — атмосферы, содержащие горючие пыли, не включенные в Group E или Group F, в том числе муку, зерно, древесину, пластмассу и химические продукты.

**Class III (легко зажигаемые летучие вещества)**

В опасных зонах Class III волокна или летучие вещества не находятся во взвешенном состоянии в воздухе в достаточных количествах, чтобы образовать поджигаемые смеси.

В табл. 7 показано различие между классификацией опасных зон в соответствии с МЭК 79-10 и классификацией, принятой в Северной Америке.

**Таблица 7. Классификация опасных мест в Европе (МЭК 79-80) и Северной Америке**

	Постоянная опасность	Переменяющаяся опасность	Опасность в ненормальных условиях
Северная Америка		Division 1	Division 2
МЭК/ Европа	Zone 0	Zone 1	Zone 2

Из приведенной таблицы видно, что Zone 2 (МЭК/Европа) и Division 2 (Северная Америка) являются почти равнозначными, тогда как Division 1 включает в себя Zone 0 и Zone 1. Аппаратура, разработанная для Zone 1, не обязательно может применяться в Division 1.

**Таблица 6. Сравнение классификаций взрывоопасных газов и паров (приблизительно)**

МЭК 79-12	Классификация, принятая в США	Типичные газы и пары
IIA	D	class I Этан, пропан, бутан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, уксусная кислота
IIВ	C	
IIС	B	
	A	Водород Ацетилен

**Zone 1** — зона, в которой существует вероятность появления взрывоопасной смеси воздуха и газа при нормальной работе;

**Zone 2** — зона, в которой образование взрывоопасной смеси воздуха и газа маловероятно, но если это происходит, то только на короткий промежуток времени.

Любые места, не подпадающие ни под одно из приведенных определений, считаются неопасной зоной.

В Соединенных Штатах классификация опасных мест опирается на Государственные электротехнические нормы (National Electrical Code), NFPA 70, Articles 500-504.

В Канаде применяется C22. Part I Канадских электротехнических норм (Canadian Electrical Code).

В обеих странах опасные места распределяются по классам, в зависимости от присутствующего огнеопасного вещества:

**Class I** — опасные из-за наличия легковоспламеняющихся веществ, таких как газы или пары;

**Class II** — опасные из-за наличия легковоспламеняющихся веществ, таких как пыль или порошок;

**Class III** — опасные из-за наличия легковоспламеняющихся веществ в жидком, волокнообразном или твердом состоянии.

В зависимости от характера опасности места делятся также на подгруппы:

**Division 1** — опасность может существовать во время нормального функционирования, во время ремонта или технического ухода или там, где авария может быть причиной одновременного отказа электрооборудования, способного стать причиной воспламенения;

**Division 2** — горючий материал присутствует, но находится в закрытом контейнере или системе, либо место приоткрывает к участку Division 1.

В зависимости от степени опасности классы подразделяются на группы в соответствии со следующими правилами:

Обычно для Zone 0 уровень вероятности наличия опасной смеси принимается равным более чем 1%.

Места, классифицируемые как Zone 1, имеют уровень вероятности наличия опасной смеси между 0,01% и 1% (максимум 100 часов в год), в то время как для мест, классифицируемых как Zone 2, опасная смесь присутствует в течение не более 1 часа в год.

Основное различие между европейской и североамериканской классификациями опасных зон заключается в том, что в настоящее время не существует непосредственного эквивалента Zone 0 в североамериканской системе, однако новые стандарты ISA, если они будут приняты, могут изменить положение вещей.

## КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТУРЫ В ЕВРОПЕ

Европейский стандарт EN 50.014 (ГОСТ 12.2.020-76) определяет, что аппаратура подразделяется на две группы:

**Group I** — аппаратура для применения в шахтах, где опасность представлена метаном и угольной пылью;

**Group II** — аппаратура для применения в промышленной обстановке, где опасность представлена газом и паром. Group II подразделяется, в свою очередь, на три подгруппы: A, B и C.

Эти деления основываются на величине безопасного экспериментального максимального зазора для взрывонепроницаемой оболочки или минимальном токе воспламенения для электрооборудования с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь».

В Европе электрооборудование сертифицируется на основе конструктивных особенностей, тогда как в североамериканской системе оно классифицируется, исходя из зоны возможной установки. С практической точки зрения, две системы являются равнозначными, даже если существуют незначительные различия, как показано в табл. 8.

**Таблица 8. Классификация электрооборудования по категориям взрывоопасности в Европе и Северной Америке**

Категория взрывоопасности	Классификация аппаратуры		Энергия поджигания
	Европа	Северная Америка	
Метан	Group I (шахты)	Class I, Group D	
Ацетилен	Group II, C	Class I, Group A	> 20 мкДж
Водород	Group II, C	Class I, Group B	> 20 мкДж
Этилен	Group II, B	Class I, Group C	> 60 мкДж
Пропан	Group II, A	Class I, Group D	> 180 мкДж
Металлическая пыль		Class II, Group E	
Угольная пыль	Готовится	Class II, Group F	Наиболее легко поджигаемые
Зерновая пыль		Class II, Group G	

Каждая подгруппа Group II и Class I связана с определенным количеством газов, имеющих энергию поджигания, включенную в приведенное значение и представленную газом, находящимся в представленной таблице, который применяется в сертификационных тестах.

Оборудование «Group II, C» (Европа) и «Class I, Groups A и B» (США) предназначено для применения в наиболее опасных зонах. Оборудование, разработанное для этих групп, не должно поджигать электрическими средствами любую потенциально взрывчатую газозвудушную смесь.

## МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Для того чтобы уменьшить опасность взрыва, необходимо исключить одно или более условий возникновения взрыва (воспламенения): топливо, окислитель или энергию воспламенения.

**Сдерживание взрыва** — при этом методе взрыв происходит, но ограничен определенной зоной, таким образом, что распространение взрыва в окружающую атмосферу не происходит. На этом принципе базируется вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка».

**Изоляция** — метод, который основывается на физическом разделении или изоляции электрических элементов или горячих поверхностей от взрывоопасных смесей. Сюда включаются различные способы, такие как поддержание повышенного давления, герметизация и т. д.

**Предотвращение** — метод, который ограничивает энергию, как электрическую, так и тепловую, сохраняя определенные уровни как при нормальной работе, так и при аварийных обстоятельствах. Наиболее характерным техническим приемом здесь является вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь». За рубежом этот вид взрывозащиты известен как intrinsic safety (внутренняя безопасность).

Для каждого метода характерны один или более специфических технических приемов, претворяющих в жизнь философию, при которой должны произойти, по крайней мере, две независимые аварии в одном и том же месте и в одно и то же время, для того чтобы вызвать взрыв. Авария в электрической цепи или системе, которая впоследствии приводит к аварии в другой электрической цепи или системе, рассматривается как одиночная авария. Естественно, существуют ограничения в принимаемых во внимание авариях или некоторых случаях. Например, при проектировании могут не учитываться аварии, вызванные сильным землетрясением или другой природной катастрофой, потому что повреждение, причиненные этими катастрофами, могут превышать по своей серьезности последствия, связанные с нарушением системы взрывобезопасности.

Какие условия и повреждения (неисправности, аварии) необходимо иметь в виду при выборе методов защиты?

Прежде всего, должно приниматься во внимание нормальное функционирование оборудования. Во-вторых, нужно учесть возможные аварийные режимы аппаратуры из-за поврежденных комплекующих частей. Наконец, должны быть оценены все случайные условия, такие как короткое замыкание, разрыв электрической цепи, заземление и ошибочная прокладка электрических соединительных проводов. Выбор конкретного метода защиты зависит от степени безопасности, которую необходимо обеспечить.

Ни один из методов защиты не может обеспечить абсолютно надежного предотвращения взрыва. Однако при правильно установленном и содержащемся в исправности стандартном защитном оборудовании вероятность взрыва стремится к нулю. Предосторожность, которая всегда должна соблюдаться, — это не размещать электрооборудование в опасных зонах. При проектировании завода или фабрики необходимо иметь в виду этот фактор. Только в том случае, когда нет альтернативы, может быть допущено такое размещение.

Нужно принимать во внимание также такие второстепенные, но тем не менее существенные факторы, как габариты оборудования, которое должно быть защищено, гибкость системы, возможность выполнения текущего ремонта, стоимость сборки и т. д.

В Европе приняты следующие обозначения типов защиты:

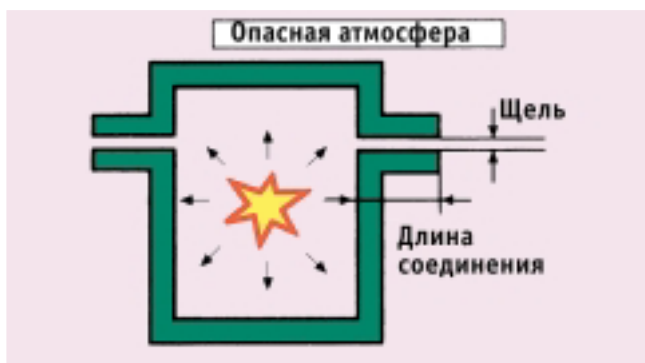
- d** — взрывонепроницаемая оболочка;
- e** — повышенная безопасность;

- ia** — искробезопасная электрическая цепь ( Zone 0);
- ib** — искробезопасная электрическая цепь ( Zone 1);
- h** — герметическая изоляция;
- m** — герметизация;
- n** — отсутствие искрообразования;
- o** — погружение в масло;
- p** — метод повышенного давления;
- q** — заполнение порошком;
- s** — специальная защита. Этот метод стандартизован только в Великобритании и Германии.

**Вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка»**

Этот вид защиты основывается на идее сдерживания взрыва. В данном случае допускается, чтобы источник энергии вступил в соприкосновение с опасной смесью воздуха и газа. В результате происходит взрыв, но он должен оставаться ограниченным в оболочке, изготовленной таким образом, чтобы выдерживать давление, возникающее при взрыве внутри оболочки, и таким образом препятствовать распространению взрыва в окружающую атмосферу.

Теория, поддерживающая этот метод, основывается на том факте, что газовая струя, получающаяся в результате взрыва, выходя из оболочки, быстро охлаждается, благодаря тепловой проводимости оболочки, быстрому расширению и ослаблению горячего газа в более холодной внешней атмосфере. Это возможно, только если оболочка имеет специальные газоотводящие отверстия или щели имеют достаточно малые размеры (рис. 2).



**Рис. 2. Взрывонепроницаемая оболочка**

По существу дела, необходимые свойства для взрывонепроницаемой оболочки включают крепкую механическую конструкцию, контактное соединение между крышкой и основной частью оболочки и небольшие размеры щелей в оболочке.

Большие щели не допускаются, но малые щели в местах соединений неизбежны. Нанесение изоляции на щель увеличивает степень защиты от коррозионной атмосферы, но не устраняет щели.

В зависимости от природы взрывоопасной смеси и ширины прилегающих поверхностей, допускаются различные максимальные зазоры между ними.

Классификация оболочек основывается на категориях взрывоопасности смесей и максимальной величины температуры самовоспламенения, которая должна быть ниже, чем температура возгорания смеси, присутствующей в месте, где они установлены.

В качестве материала для изготовления оболочки обычно используется металл (алюминий, катаная сталь и т. д.). Пластмасса и неметаллические материалы могут быть ис-

пользованы для оболочек с маленьким внутренним объемом (меньше 3 дм³).

В нашей стране требования к конструкции взрывонепроницаемой оболочки изложены в ГОСТ 22782.6-81 (Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка»). Данный стандарт устанавливает технические требования и методы испытаний по обеспечению взрывозащиты электрооборудования (электротехнических устройств), электрических средств автоматизации и связи групп I и II по ГОСТ 12.2.020-76 с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка». В Северной Америке каждая испытательная лаборатория (например FM, UL, CSA) имеет собственный стандарт, в то время как в Европе распространен стандарт EN 50.018.

Маркировка по взрывозащите электрооборудования, выполненного в соответствии со стандартом ГОСТ 22782.6-81, должна отвечать ГОСТ 12.2.020-76. Стандарты МЭК, которые подобны рекомендациям CENELEC (Европейский Комитет по электротехнической стандартизации), предусматривают совпадающую с обозначениями CENELEC маркировку, за исключением того, что знак «Ex», принятый МЭК, CENELEC заменяет знаком «EE».

Пример:



В маркировке по взрывозащите электрооборудования категории II, предназначенного только для конкретной взрывоопасной смеси, после знака II должна указываться в скобках химическая формула горючего вещества, образующего с воздухом такую смесь. В этом случае указывать температурный класс электрооборудования не требуется. Например, взрывобезопасное электрооборудование, предназначенное для применения только в водородно-воздушной или только аммиачно-воздушной взрывоопасной смеси, должно иметь следующие маркировки по взрывозащите:

ExdII (H2) или ExdII (NH3)

Защите типа «взрывонепроницаемая оболочка» свойственны следующие проблемы при монтаже и эксплуатации.

1. Оболочки, особенно крупногабаритные, весьма тяжелы, и их установка создает механические и строительные сложности.
2. Коррозионная атмосфера (типичная для химических и нефтехимических предприятий) требует применения таких материалов, как нержавеющая сталь или бронза, что приводит к существенному увеличению стоимости оболочки.
3. Кабельные вводы требуют приспособлений для особого монтажа (обжатие, кабельные хомуты, металлические трубы, кабель в оболочке с наполнителем, изоляция), что в некоторых случаях обходится очень дорого.
4. Во влажной атмосфере конденсация может создавать проблемы внутри оболочки или в подводящей трубе.
5. Безопасность взрывонепроницаемой оболочки основывается на ее механической целостности, поэтому необходимы периодические осмотры.
6. Для проведения работ, связанных с доступом персонала внутрь оболочки, зачастую требуется прекращение технологического процесса, что приводит к удорожанию технического обслуживания системы.
7. Представляет трудность удаление крышки (требуется специальный инструмент или необходимо отвернуть 30-40

болтов). При установке крышки обратно очень важно обеспечить выполнение требований по максимально допустимому зазору, поэтому необходима особая ответственность персонала.

8. Трудно произвести изменения в системе.

Степень безопасности взрывонепроницаемой оболочки зависит от правильного использования и текущего технического обслуживания, выполняемого заводским персоналом.

Описанный метод защиты является одним из наиболее широко используемых и пригоден для расположенного в опасных зонах электрооборудования, которое имеет дело с высокими уровнями мощности (моторы, трансформаторы, лампы, коммутаторы, соленоиды, пускатели и другие устройства, которые производят искры). Типичный внешний вид взрывонепроницаемой оболочки показан на рис. 3.

### Метод повышенного давления (очистка)

Метод повышенного давления основывается на идее отделения окружающей атмосферы от электрического оборудования. Этот метод не позволяет опасной смеси воздуха и газа пройти через оболочку, содержащую электрические части, которые могут производить искры или иметь опасные температуры. Защитный газ (воздух или инертный газ), содержащийся внутри оболочки, находится под давлением, более высоким, чем давление внешней атмосферы (рис. 4).

Внутренний перепад давления поддерживается постоянным, как в случае с постоянным потоком защитного газа, так и без него. Оболочка должна обладать определенной прочностью, однако особых механических требований не предъявляется, потому что поддерживаемая разность давлений не очень высокая.



Рис. 3. Типичный вид взрывонепроницаемой оболочки

- А - алюминиевый корпус;
- Б - фланец с прокладкой;
- В - углубленные выемки во фланцах;
- Г - отводящие отверстия;
- Д - кованые монтажные проушины;
- Е - монтажные приливы;
- Ж - шарниры;
- З - крепежные болты.

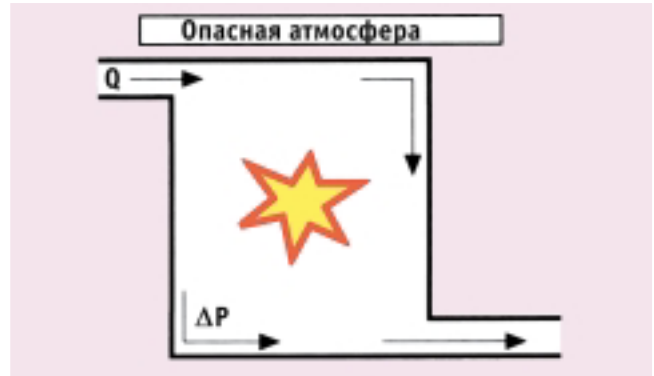


Рис. 4. Схема оболочки, находящейся под повышенным давлением

Для поддержания разности давлений система подвода защитного газа должна быть способна компенсировать его потери вследствие утечек из оболочки или возникшие из-за доступа персонала.

Так как возможно, что опасная смесь может остаться внутри оболочки после того, как система повышения давления будет выключена, необходимо удалить оставшуюся смесь путем подачи определенного количества защитного газа перед перезапуском электрооборудования.

Классификация электрооборудования должна быть основана на максимальной температуре внешней поверхности оболочки или поверхности внутренних деталей, которые имеют другой вид защиты и продолжают работать, даже когда подача защитного газа прекращается.

Метод повышенного давления не зависит от классификации газа. При нормальных условиях, когда в оболочке поддерживается выше, чем атмосферное, давление опасного внешнего газа, последний не вступает в контакт с электрическими деталями и горячими поверхностями внутри.

Европейский стандарт CENELEC EN 50.016, относящийся к этому методу, требует, чтобы отдельные системы безопасности функционировали, невзирая на потери внутреннего защитного газа из-за утечек, выключений, поломки компрессора или ошибок оператора.

Метод повышенного давления разрешен в качестве защиты в Zone 1 и Zone 2. В случае потери давления автоматика либо немедленно отключает источник питания (для Zone 1), либо подает звуковой или световой сигнал (допускается для Zone 2).

Европейские и американские применения весьма схожи. Устройства безопасности (датчики давления, реле времени, расходомеры и т. д.), необходимые для активизации сигнала тревоги или выключения источника питания, должны быть выполнены с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» или «искробезопасная электрическая цепь», потому что, как правило, они находятся в соприкосновении с взрывоопасной смесью как за пределами оболочки, так и внутри оболочки во время стадии продувки или потери давления.

Иногда метод внутреннего повышенного давления является единственным возможным решением, то есть когда ни один из видов взрывозащиты не применим. Метод внутреннего повышения давления является единственным решением, например, в случае, когда электротехнические устройства имеют большие габариты или панели управления, где габаритные размеры и высокие уровни энергии делают невозможным использование взрывонепроницаемой оболочки или применение метода ограничения энергии.

Использование метода повышенного давления ограничено защитой электрооборудования, которое не содержит ис-

точника легковоспламеняющейся смеси. Для таких электрических средств автоматизации, как газоанализаторы, должен применяться метод непрерывного разжижения. При этом защитный газ, воздух или инертный газ всегда сохраняется в таком количестве, что концентрация легковоспламеняющейся смеси никогда не превышает нижнего предела, установленного для конкретного взрывоопасного газа.

Устройства безопасности для метода непрерывного разжижения подобны тем, что применяются для метода повышенного давления, за исключением сигнала тревоги или системы питания, работа которой зависит от количества защитного газа, притекающего для поддержания внутреннего давления.

Применение этого метода регулируется государственными стандартами в Европе, Соединенных Штатах и Канаде, однако он не принят в стандарте CENELEC.

### Герметизация

Метод защиты герметизацией основывается на изоляции тех электрических элементов, которые могут вызвать поджигание взрывоопасной смеси при наличии искры или продолжительного нагрева путем помещения их в компаунд, который оказывает противодействие определенным условиям окружающей среды (рис. 5).

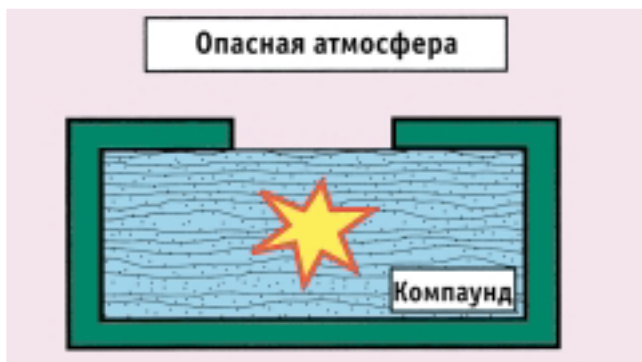


Рис. 5. Метод защиты герметизацией

Этот метод защиты признается не всеми стандартами. Герметизация обеспечивает хорошую механическую защиту и является весьма эффективным средством для предотвращения контакта с взрывоопасной смесью. Как правило, она применяется для защиты электрических цепей, не содержащих подвижных элементов, кроме таких элементов (например язычковых реле), которые уже находятся внутри оболочки. Герметизация часто применяется в качестве дополнения к другим методам защиты.

Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» требует, чтобы некоторые составные части имели достаточную механическую защиту, для того чтобы предотвратить случайное короткое замыкание. В этой ситуации применение компаунда является весьма эффективным. Искробезопасные барьеры, например, обычно герметизируются компаундом в соответствии с требованиями стандартов.

### Метод защиты погружением в масло

В соответствии с этим методом защиты (рис. 6) все электрические элементы погружаются в любое невоспламеняющееся или слабовоспламеняющееся масло, которое предотвращает соприкосновение электрических элементов с атмосферой. Масло зачастую служит также смазочно-охлаждающей эмульсией (см. UL 698 или МЭК 79-6).

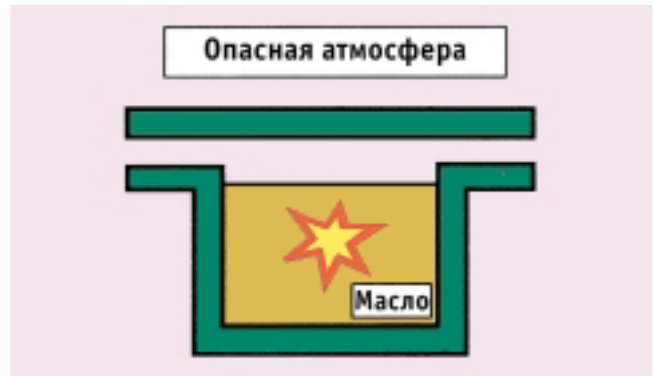


Рис. 6. Метод защиты погружением в масло

Наиболее часто этот метод применяется для неподвижного электрооборудования, такого как трансформаторы.

Метод погружения в масло непригоден для контрольно-измерительного оборудования или для электрооборудования, которое требует частого технического обслуживания или осмотра.

### Метод защиты заполнением порошком

Этот метод защиты подобен методу защиты погружением в масло, за исключением того, что разделение электрооборудования и взрывоопасной атмосферы осуществляется заполнением оболочки порошкообразным материалом таким образом, чтобы электрическая дуга, генерируемая внутри оболочки, не вызвала воспламенения опасной атмосферы (рис. 7).



Рис. 7. Метод защиты заполнением порошком

Заполнение должно быть выполнено таким образом, чтобы предотвратить образование пустот в массе. В качестве заполнителя применяется кварцевый песок по ГОСТ 22782.2-77, и его зернистость должна соответствовать стандарту.

### Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь»

Метод взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» является наиболее показательной концепцией предотвращения взрыва и основывается на принципе ограничения энергии, запасенной в электрической цепи.

Искробезопасные электрические цепи фактически не способны генерировать электрическую дугу, искры или оказывать тепловое воздействие, которые могут вызвать взрыв опасной смеси как во время нормального функционирования, так и при определенных аварийных ситуациях.

В США и Канаде искробезопасные системы должны сохранять свои свойства при двух независимых неисправностях. Это значит, что могут произойти две различные и не

связанные между собой неисправности, такие как короткое замыкание внешней электропроводки и повреждение компонентов, и при этом система будет по-прежнему безопасной.

В соответствии со стандартом CENELEC EN 50.020 определяются два уровня искробезопасных цепей: Ex ia и Ex ib, устанавливающих количество неисправностей, возможных в особых случаях, и коэффициенты безопасности, применяющиеся на стадии проектирования.

Уровень ia допускает до двух независимых неисправностей и может быть использован в Zone 0, в то время как уровень ib допускает только одну неисправность и может быть использован в Zone 1.

ГОСТ 22782.5-78 (Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь») распространяется на взрывозащищенное электрооборудование групп I и II по ГОСТ 12.2.020-76 с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» и электрооборудование с другими видами взрывозащиты, имеющее искробезопасные и связанные с ними искроопасные цепи. Стандарт полностью соответствует публикациям МЭК 79-3 (1972 г.) и 79-11 (1976 г.) в части основных технических требований и методов испытаний.

В соответствии с этим стандартом искробезопасные электрические цепи разделяются на три уровня, указанных в табл. 9.

**Таблица 9. Уровни искробезопасных электрических цепей**

Знак уровня искробезопасной электрической цепи для электрооборудования групп		Наименование уровня взрывозащиты по ГОСТ 12.2.020-76
I	II	
Ia	ia	Особовзрывобезопасный
Ib	ib	Взрывобезопасный
Ic	ic	Повышенная надежность против взрыва

Вид взрывозащиты «искробезопасная цепь» является методом, который защищает электрооборудование и связанную с ним электропроводку в опасных зонах, включая повреждения, вызванные разрывом, коротким замыканием или случайным заземлением соединяющего кабеля. Установка является весьма упрощенной, потому что не требуются кабели в металлической оболочке, кабелепроводы или специальные устройства. К тому же текущий ремонт и проведение контрольных проверок может осуществляться персоналом, даже когда цепи находятся под нагрузкой и оборудование функционирует.

В следующем номере журнала вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» будет рассмотрен более подробно.

## СРАВНЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ШИРОКО ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ

Краткое сравнение рассмотренных методов дано в табл. 10 («+», «-» и «=» соответственно обозначают «лучше», «хуже» или «одинаково» по отношению к методу взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка»).

Метод защиты «взрывонепроницаемая оболочка» наиболее широко известен и применяется в течение длительного периода времени. Тем не менее, общепризнанно, что метод защиты «искро-

безопасная электрическая цепь» является наиболее безопасным, наиболее гибким и имеет наименьшую стоимость установки и обслуживания.

## Безопасность

Анализ вероятности воспламенения опасной смеси может доказать, что отдельный метод защиты имеет уровень защиты выше или ниже, чем другие.

Метод сдерживания взрыва, например, имеет большую вероятность риска, чем обеспечивает искробезопасная электрическая цепь. Тем не менее, с точки зрения статистики, в течение 50 лет использования не было сообщений об аварии из-за применения взрывонепроницаемой оболочки. Поэтому рассмотрение превышения фактора безопасности одного метода защиты по сравнению с другим некорректно. Если система правильно спроектирована и установлена, не существует практической разницы, где фактор безопасности выше или ниже.

Этот показатель учитывает только человеческий фактор как причину, вызывающую опасное происшествие или аварию. С этой точки зрения, может иметь решающее значение довод о том, что метод искробезопасной электрической цепи лучше других методов, поскольку он в незначительной степени зависит от человеческой ошибки.

Применение метода избыточного давления и взрывонепроницаемой оболочки требует больших эксплуатационных расходов, оба метода зависят от правильной эксплуатации, которая важна для обеспечения безопасности системы.

## Гибкость

Метод повышенного давления является более гибким, чем метод защиты «взрывонепроницаемая оболочка», потому что он не зависит от типа опасной атмосферы и, несмотря на его сложность, может быть применен там, где ни один другой метод не применим.

Метод взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь», даже если существует связь с типом атмосферы, является единственным методом, который не требует особых способов прокладки электропроводки, поэтому конфигурирование и установка систем здесь не слишком сложные.

## Стоимость установки

Стандарт, относящийся к искробезопасной электрической цепи, допускает установку электрооборудования способом, схожим с тем, который применяется для стандартного электрооборудования.

Только один этот фактор снижает стоимость установки.

## Затраты на текущий технический уход

В отношении затрат на эксплуатационные расходы метод «искробезопасная электрическая цепь» является наиболее выгодным, потому что он допускает осуществление текущего ремонта без отключения оборудования. Искробезопасная электрическая цепь наиболее надежна вследствие применения надежных и небольших компонентов, как предписано стандартами.

**Таблица 10. Сравнение методов взрывозащиты**

Наименование метода	Безопасность	Гибкость	Стоимость установки	Стоимость эксплуатации
Искробезопасная цепь	+	+	-	-
Взрывонепроницаемая оболочка	=	=	=	=
Метод повышенного давления	+	+	+	=

Взрывонепроницаемая оболочка требует особого внимания к целостности соединяемых частей и кабельных вводов, что увеличивает эксплуатационные расходы.

### **Вывод**

Сравнивая три наиболее широко применяющихся метода защиты, можно заключить, что вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» является предпочтительным

для применения по причине безопасности и надежности. Этот метод также наиболее экономичен при установке и эксплуатации.

Но нельзя забывать о том, что существуют приложения, где целесообразно применять и другие методы защиты. ●

# Вид взрывозащиты

## «Искробезопасная электрическая цепь»

Виктор Жданкин

В предыдущей статье [1], опубликованной в «СТА» 2/98, были представлены различные методы защиты, применение которых позволяет снизить опасность взрыва или пожара на участках производства с наличием взрывоопасной среды, либо там, где существует потенциальная опасность появления такой среды. Вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и виды защиты, основанные на идее изоляции, являются методами, которые ограничивают взрыв взрывоопасной смеси в пределах оболочки или изолируют электрооборудование от взрывоопасной атмосферы посредством защитного газа (воздуха или инертного газа). В обоих случаях требуется применение специальных оболочек, особой прокладки электрических проводов и размещение оборудования согласно определенным правилам, что требует значительных капитальных вложений.

Искробезопасная электрическая цепь определяется как цепь, в которой разряды или термические воздействия, возникающие во время нормального режима работы электрооборудования, а также в аварийных режимах, не вызывают воспламенения взрывоопасной смеси.

Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» основывается на поддержании искробезопасного тока (напряжения, мощности или энергии) в электрической цепи. При этом под искробезопасным током (напряжением, мощностью или энергией) имеется в виду наибольший ток (напряжение, мощность или энергия) в электрической цепи, образующий разряды, который не вызывает воспламенения взрывоопасной смеси в предписанных соответствующими стандартами условиях испытаний.

К такого рода стандартам можно отнести: ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» или международные стандарты IEC 79-3 Spark Test Apparatus for Intrinsically-Safe Circuits, IEC 79-11 Construction and Test of Intrinsically Safe and Associated Apparatus.

В Соединенных Штатах Америки правомочной организацией по классификации взрывоопасных зон является Государственная ассоциация пожарной охраны (National Fire Protection Association — NFPA). NFPA отвечает за соблюдение Государственных электротехнических норм (National Electrical Code), североамериканского стандарта на взрывозащищенное электрооборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь», нормативных документов NFPA 70, NFPA 493.

Статья 500 Государственных электротехнических норм оговаривает применение электрооборудования во взрывоопасных зонах и определяет классификацию зон для возможных групп взрывоопасных веществ и величин температур самовоспламенения.

NFPA 493 относится к виду взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» и является авторитетным источником, на котором базируются стандарты для испытательных лабораторий таких, например, как Factory Mutual Research Corporation — FM (стандарт FM 3610) и Underwriters Laboratories — UL (стандарт UL 913).

Североамериканский стандарт является равнозначным Европейскому стандарту EN 50.020 для уровня взрывозащиты «ia». Эти стандарты идентичны в части сертификации электрооборудования по отношению к существующей опасности: газ, пыль и температура воспламенения — и в части характеристик искробезопасности для омической, индуктивной и емкостной цепей. Различия лежат в обозначениях групп, в градациях величин температур самовоспламенения и в назначении коэффициентов искробезопасности.

### Основные типы электрических цепей

Вспомним простейшие электрические цепи и рассмотрим их с точки зрения искробезопасности.

Типовая электрическая цепь содержит источник напряжения  $U$ , сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$ , емкость  $C$  и переключатель  $S$ , соединенные, как показано на рис. 1.

Для анализа электрической цепи на искробезопасность

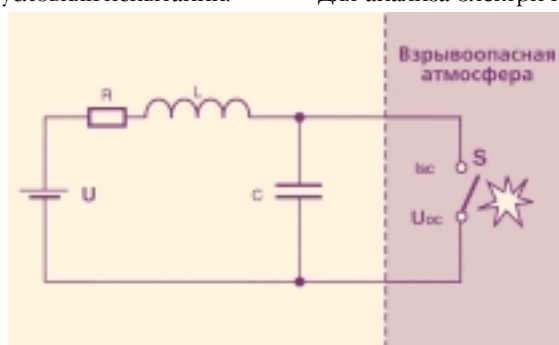


Рис. 1. Схема электрическая типовой искробезопасной цепи

необходимо рассматривать реактивные элементы цепи (индуктивности и емкости), которые способны накапливать и отдавать энергию. Когда переключатель, расположенный в опасной зоне, разомкнут, конденсатор накапливает электрическую энергию, которая выделяется при замыкании переключателя, образуя электрическую искру. Таким же образом при замыкании переключателя индуктивность накапливает магнитную энергию, которая выделяется в

виде электрической дуги при размыкании переключателя. Значение энергии, выделяемой электрической цепью, должно быть ниже минимальной энергии поджигания газозвушной смеси, присутствующей в опасной зоне.

Теоретическое определение точного значения энергии, накопленной в электрической цепи, не всегда возможно,

особенно если вырабатываемая источником энергия выше энергии, накопленной реактивными элементами. По этой причине характеристики искробезопасных электрических цепей представляются в виде соотношения между электрическими параметрами цепи, напряжением, током и минимальной энергией поджигания опасной атмосферы.

Электрическая цепь любой сложности может быть последовательно рассмотрена как омическая, индуктивная и емкостная. Если критерии безопасности отвечают различным типам цепей, то исходная цепь может считаться искробезопасной.

Определение воспламеняющего тока для индуктивной, омической или емкостной цепи производится с помощью установок для контрольных испытаний электрических цепей на искробезопасность. Детальное описание методики определения воспламеняющего тока и напряжения и построения характеристик искробезопасности приводится в ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь». Стандарт полностью соответствует документам МЭК 79-3 (1972 г.) и 79-11 (1976 г.) в части основных технических требований и методов испытаний. Характеристики искробезопасности строятся в прямоугольной системе координат с логарифмическим масштабом. Экспериментальные точки (воспламеняющие параметры) определяются для цепей с индуктивностью 1, 10, 100 мкГн; 1, 10, 100 мГн; 1, 10 Гн и т. д. или с емкостью 100, 1000, 10000, 100000 пФ; 1, 10, 100 мкФ и т. д., с разрядными резисторами 1, 10, 100, 1000 Ом и т. д. Величины напряжения принимаются, исходя из удобства их дальнейшего использования. Обычно используют ряд 7,5; 15; 24; 30; 45; 70; 120 В.

**Омическая цепь**

Электрическая цепь считается омической, если реактивные сопротивления (индуктивность или емкость) равны нулю или незначительны (рис. 2).

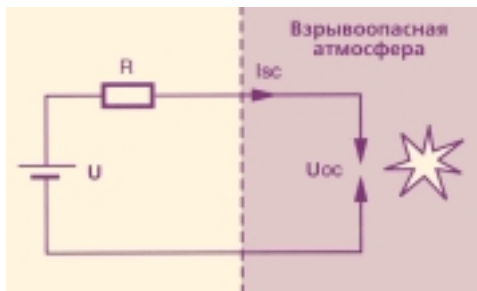


Рис. 2. Схема электрическая омической цепи

Энергия в этом типе электрической цепи зависит от напряжения источника питания U и тока, ограниченного резистором R. В этом случае трудно установить соотношение минимальной энергии поджигания и состояния в цепи, при котором образуется искра.

Экспериментальные исследования этого типа электрической цепи показывают, что способность к воспламенению взрывоопасных смесей зависит от напряжения в режиме холостого хода U х.х. и тока короткого замыкания I к.з. Зависимости минимального воспламеняющего тока от напряжения источника в омической цепи (индуктивность менее 10<sup>-4</sup> Гн)



Рис. 3. Зависимости минимального воспламеняющего тока от напряжения источника в омической цепи (индуктивность менее 10<sup>-4</sup> Гн):

- 1- группа I (метано-воздушная смесь);
- 2 - подгруппа IIA (пентано-воздушная смесь);
- 3 - подгруппа IIB (этилено-воздушная смесь);
- 4 - подгруппа IIO (водородно-воздушная смесь)

источника для метано-воздушной смеси (группа I).

Зависимости минимальных воспламеняющих токов от

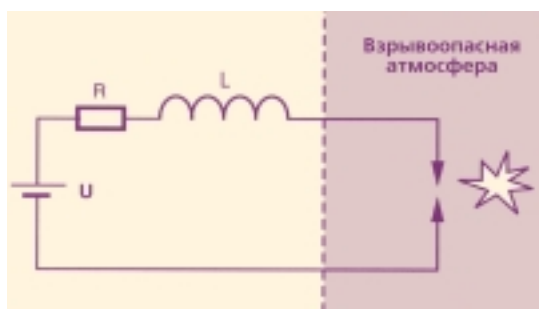


Рис. 4. Схема электрическая индуктивной цепи

для всех представительных взрывоопасных смесей показаны на рис. 3. Для определения значения искробезопасного тока (напряжения) необходимо при заданных электрических параметрах цепи определить минимальный воспламеняющий ток (напряжение) заданной взрывоопасной смеси и разделить его на коэффициент искробезопасности, т.е. на 1,5. При расчете цепей переменного тока необходимо принимать амплитудные значения тока и напряжения.

**Индуктивная цепь**

Электрическая цепь считается индуктивной, если реактивное сопротивление, определяемое индуктивностью цепи, выше активного сопротивления. Схема электрическая индуктивной цепи приведена на рис. 4.

Максимальный ток, протекающий в цепи при замкнутом переключателе, определяется как

$$I = U/R$$

Индуктивность накапливает энергию в количестве

$$E = 1/2LI^2$$

Когда цепь размыкается, напряжение на индуктивности ( $U_L = L \, dI/dt$ ) суммируется с энергией источника напряжения. Магнитная энергия, накопленная в индуктивности, и энергия источника выделяются в виде электрической дуги.

На рис. 5 приводятся зависимости минимального воспламеняющего тока от индуктивности цепи и напряжения

источника для метано-воздушной смеси (группа I). Зависимости минимальных воспламеняющих токов от индуктивности для других представительных взрывоопасных смесей можно найти в [2].

**Емкостная цепь**

Электрическая цепь считается емкостной, если реактивное сопротивление, определяемое емкостью цепи, выше активного сопротивления.

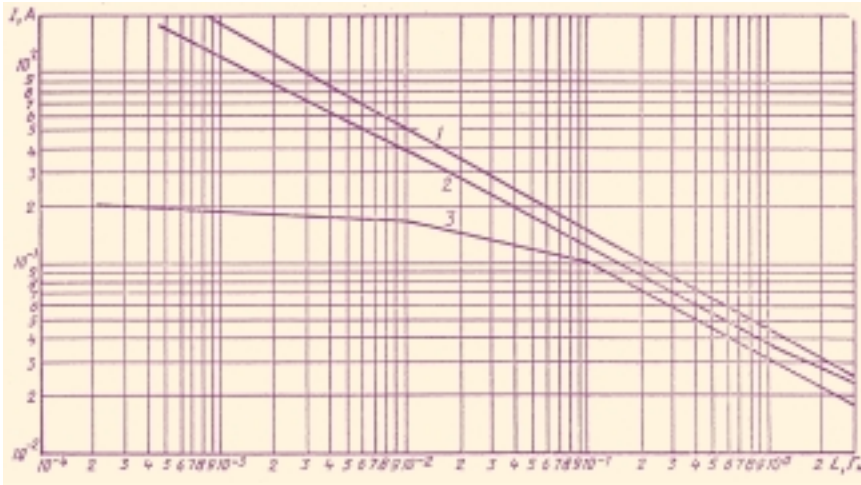


Рис. 5. Зависимости минимального воспламеняющего тока от индуктивности цепи и напряжения источника для метано-воздушной смеси (группа I) при напряжениях источника: 1- 12 В; 2- 24 В; 3- 70 В

Емкостная цепь изображена на рис. 6.

Когда цепь разомкнута, конденсатор заряжается до напряжения U; в момент замыкания цепи энергия, накопленная конденсатором ( $E=1/2 CU^2$ ), выделяется в виде электрической искры. Разряд конденсатора является неполным и происходит не мгновенно.

Резистор, включенный в цепь разряда конденсатора, увеличивает время разряда, рассеивает часть энергии, накопленной конденсатором, и таким образом ограничивает энергию, выделяемую в месте контакта. Зависимости

минимального воспламеняющего напряжения от емкости цепи и сопротивления ограничительного резистора для пентано-воздушной смеси приведены на рис. 7.

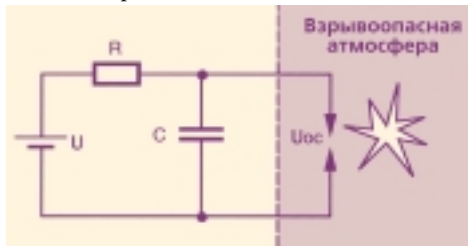


Рис. 6. Схема электрическая емкостной цепи

### Классификация взрывозащищенного электрооборудования

В стандартах на электрооборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» рассматриваются три типа устройств:

- элементарные устройства,
- искробезопасное электрооборудование,
- связанное электрооборудование.

#### Элементарные устройства

К элементарным устройствам относятся такие, в которых не превышает ни одно из следующих значений: 1,2 В; 0,1 А; 20 мкДж; 25 мВт.

К этой категории относятся пассивные воспринимающие элементы (термопары, резистивные датчики, контакты, светодиоды и т.д.), которые могут быть непосредственно размещены на опасных участках. Они не требуют сертификации и маркировки.

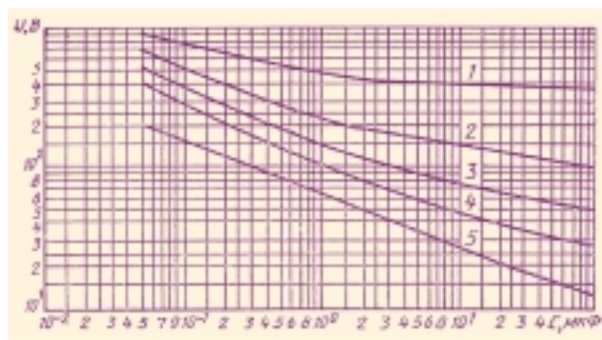


Рис. 7. Зависимости минимального воспламеняющего напряжения от емкости цепи и сопротивления ограничительного резистора для пентано-воздушной смеси: 1- R=10 кОм; 2- R=1,0 кОм; 3- R=0,1 кОм; 4- R=0,01 кОм; 5- R=0

### Искробезопасное электрооборудование

Искробезопасным электрооборудованием является электрооборудование, у которого внешние и внутренние электрические цепи искробезопасны. Внешнее оборудование (выходные элементы, преобразователи «ток-давление», клапаны соленоидов и т.д.), применяющееся во взрывоопасных зонах, должно быть сертифицировано на искробезопасность. Сертификация основывается на максимальном уровне энергии (группа газа) и величине температуры самовоспламенения.

Маркировка электрооборудования, устанавливаемого во взрывоопасных условиях, должна содержать обозначения уровня искробезопасной цепи.

В электрооборудовании группы II, рассчитанном для применения в конкретном горючем газе или паре, вместо обозначения подгруппы температурного класса по ГОСТ 12.2.020-76 указывается наименование этого газа или пара.

Пример: OExia аммиак «В комплекте... (указывается сокращенное наименование комплекта электрооборудования или системы)».

В электрооборудовании группы II, предназначенном для установки вне взрывоопасной зоны и имеющем искробезопасные цепи, в маркировке по ГОСТ 12.2.020-76 должны быть исключены знаки уровня взрывозащиты и температурного класса.

Пример: ExiaIIС или ExIIA «В комплекте... (указывается сокращенное наименование электрооборудования или системы)».

### Связанное электрооборудование

К этому типу устройств относят электрооборудование или его цепи, которые при нормальном или аварийном режиме работы не отделены гальванически от искробезопасных цепей.

Пассивные барьеры, изолированные барьеры постоянного тока и контрольно-измерительное оборудование, которые применяются для сопряжения и измерения сигналов, поступающих из опасных зон, являются основной частью этого типа оборудования и должны быть сертифицированы на соответствие максимальному значению энергии (группа газа), которое может быть передано во взрывоопасную зону.

Электрооборудование должно размещаться во взрывобезопасной зоне, а при размещении во взрывоопасной среде должно иметь соответствующие виды взрывозащиты.

В европейской практике для связанного электрооборудования, размещенного во взрывобезопасной зоне, применяется следующая маркировка: [Ex ia] II, С.

Связанное электрооборудование, размещенное во взрывоопасной зоне и име-

ющее вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка», маркируется следующим образом: Ex «d» [ia] II, С Т4. Маркировка в квадратных скобках указывает на то, что это связанное электрооборудование.

Взрывозащищенное электрооборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь», размещенное во взрывоопасной зоне, должно быть также сертифицировано на соответствие величине температуры самовоспламенения.

### Коэффициенты искробезопасности

Под коэффициентом искробезопасности понимается отношение минимальных воспламеняющих параметров к соответствующим искробезопасным.

По стандартам США для вида взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» приняты следующие коэффициенты искробезопасности:

1,5 — при наиболее неблагоприятных условиях и одном повреждении,

1 — при наиболее неблагоприятных условиях и двух повреждениях.

В Северной Америке принят коэффициент искробезопасности 1,5 по энергии, если конструкция устройства экспериментально испытана. При теоретических исследованиях применяется коэффициент 2 по напряжению и току для нормального режима и одного повреждения в аварийном режиме, коэффициент 1,33 применяется для аварийного режима с двумя повреждениями.

Основной причиной повышения значений коэффициентов искробезопасности при теоретических исследованиях является неизвестность номинальных значений компонентов. Например, значение индуктивности может зависеть от метода измерения.

В соответствии с европейскими стандартами и отечественным ГОСТом 22782.5-78 искробезопасные цепи должны иметь коэффициент искробезопасности не ниже 1,5 в нормальном режиме работы электрооборудования, а также в аварийных режимах при искусственно создаваемых повреждениях его элементов и соединений.

Коэффициент искробезопасности 1,5 применяется к напряжению и току, ему соответствует коэффициент 2,25 по энергии.

### Проектные и конструкторские аспекты искробезопасных цепей взрывозащищенного электрооборудования

С точки зрения электротехники, конструкция взрывозащищенного электрооборудования с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» должна ограничивать максимальные значения тока и напряжения, которые могут присутствовать в опасных зонах в результате аварийного режима или сочетания аварийных режимов со значениями характеристик искробезопасности ниже значений, полученных после применения соответствующего коэффициента искробезопасности.

С конструкторской точки зрения, должны применяться устройства, гарантирующие целостность деталей и цепей, от которых зависит искробезопасность.

Стандарты, относящиеся к искробезопасности, описывают, главным образом, следующие аспекты:

- размеры элементов,
- распределение проводников,
- изоляция,
- человеческий фактор.

### Требования к элементам электрооборудования

Искробезопасное электрооборудование должно оставаться безопасным в аварийных режимах при одном или двух повреждениях. Как правило, электрическое повреждение может быть вызвано износом компонентов или случайным коротким замыканием.

В элементах, от которых зависит искробезопасность цепи, должны быть предусмотрены меры, повышающие их надежность. В электрической цепи не должно быть элементов, нагруженных больше, чем на 2/3 номинальных значений тока, напряжения или мощности. Элементы, которые не соответствуют этим требованиям, должны рассматриваться как повреждаемые.

Следующие элементы относятся к надежным:

- металлопленочные резисторы;
- проволочные резисторы, если в конструкции приняты меры против разматывания и закорачивания витков, например пропитка обмоток изоляционным лаком;
- реле, электромагнитные контакторы, электрооптопары, конструкция которых удовлетворяет требованиям стандарта к искрозащитным элементам;
- трансформаторы (сигнальные и силовые): сетевая (первичная) обмотка трансформатора должна снабжаться токовой защитой, например плавкими предохранителями. В системах электроснабжения с заземленной нейтралью токовая защита должна устанавливаться в каждый провод сетевой обмотки. В системах с изолированной нейтралью предохранители должны устанавливаться в трехфазных трансформаторах — в две фазы, в однофазных трансформаторах — в одну фазу. Конструкция трансформатора должна быть такой, чтобы обмотка, питающая искробезопасные и гальванически связанные с ними искроопасные цепи, была надежно изолирована от остальных обмоток. Электрические параметры (изоляция, ток холостого тока) должны соответствовать требованиям стандарта;
- конденсаторы должны включаться последовательно (минимум два в цепи), не допускается применение танталовых и электролитических конденсаторов;
- полупроводниковые элементы, такие как диоды, стабилитроны, должны быть дублированы, и искробезопасность цепи не должна нарушаться при отключении одного из шунтирующих элементов. Допускается последовательное включение двух диодов, при этом падение напряжения на каждом из них не должно превышать 2/3 обратного рабочего напряжения. Диоды выпрямительного устройства, используемые в качестве искрозащитных, должны рассчитываться на ток короткого замыкания на выходных зажимах выпрямительного устройства;
- транзисторы, применяемые в качестве шунтирующих, должны быть дублированы; в транзисторах, применяемых в качестве ограничительных, эмиттер и база должны быть соединены через шунтирующий резистор.

Соединение элементов искробезопасной цепи внутри электрооборудования должно выполняться способами, обеспечивающими долговечность в условиях эксплуатации, например пайкой или сваркой. Крепление элементов должно исключать возможность уменьшения электрических зазоров или замыкания между ними.

### Требования к путям утечки, электрическим зазорам и электрической изоляции

Разделение проводников в искробезопасных цепях определяется электрическими зазорами и путями утечки и

зависит от амплитудных значений напряжений между цепями в соответствии с таблицей 1 из ГОСТа 22782.5-78 или EN50.020.

Электрический зазор является наикратчайшим расстоянием в воздухе между проводниками, в то время как путь утечки является наикратчайшим расстоянием по твердой поверхности.

Пути и зазоры, имеющие значения в пределах 1/3 значений, указанных в таблице 1, считаются повреждениями. Если путь утечки составляет 1/3 и меньше указанных значений, цепи считаются замкнутыми между собой и это соединение не входит в учет количества повреждений.

В общем случае значение пути утечки больше, чем значение электрического зазора. Исключение составляют случаи, в которых разделение не является достаточно протяженным для того, чтобы считаться эффективным.

На рис. 8 показано, как определяются электрические зазоры и пути утечки.

Разделение менее, чем 3 мм, но больше, чем 1 мм, должно рассматриваться как возможное повреждение. Если разделение меньше, чем 1 мм, то длина пути утечки и электрические зазоры совпадают.

Для подключения внешних искробезопасных и искроопасных цепей, в том числе и сетевых, должны применяться штепсельные разъемы, в которых пути утечки и электрические зазоры между токоведущими частями (штифтами или гнездами) удовлетворяют требованиям табл. 1, а электрические зазоры между жабимами для присоединения кабелей или проводов указанных цепей и между изолированными участками соединительных проводов должны составлять не менее 50 мм. Если эти жабимы разделены изоляционной или заземленной металлической перегородкой, то кратчайшее расстояние между изолированными соединительными проводами с учетом высоты перегородки должно составлять не менее 50 мм.

Электрические зазоры между жабимами для присоединения искробезопасной цепи и заземленными частями также должны удовлетворять требованиям табл. 1.

Жабимы для присоединения внешних искробезопасных и искроопасных цепей должны располагаться в разных вводных устройствах.

Соседние жабимы для присоединения искробезопасных цепей должны быть расположены на расстоянии по крайней мере 6 мм.

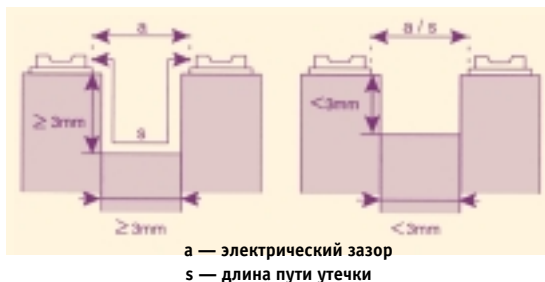
**Изоляция**

В соответствии с требованиями FM 3610, UL 913 и CSA C22.2, N157 изоляция между двумя искробезопасными цепями и между искробезопасной цепью и цепью заземления должна выдерживать испытательное напряжение 500 В (среднеквадратичное значение).

ГОСТ 22782.5-78 требует, чтобы изоляция элементов электрооборудования выдерживала испытательные напряжения, указанные в табл. 2.

Значение  $U_{ном}$  выбирается в соответствии со следующими указаниями. Между искробезопасными и искроопасными цепями в качестве исходного напряжения должна приниматься сумма амплитудных значений напряжений этих цепей. Если напряжение искробезопасной цепи составляет менее 20% напряжения искроопасной цепи, то в качестве исходного принимается напряжение искроопасной цепи. Между искробезопасными цепями, гальванически не связанными между собой, в качестве исходного должно приниматься наибольшее напряжение одной из цепей.

Искробезопасные и гальванически связанные с ними искроопасные цепи должны иметь гальваническое разделение



**Рис. 8. Определение длины пути утечки и электрического зазора между токоведущими элементами**

**Таблица 1. Зависимость электрических зазоров и путей утечки от амплитудных значений напряжений**

Напряжение, В	Пути утечки		Электрические зазоры		Толщина слоя изоляционного компаунда, мм
	для незалитых компаундом, мм	для залитых компаундом, мм	для незалитых компаундом, мм	для залитых компаундом, мм	
До 30	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0
Свыше 30 до 60	3,0	1,0	3,0	1,0	1,0
> 60 > 90	4,0	1,3	4,0	1,3	1,5
>90 > 190	8,0	2,6	6,0	2,0	2,0
>190> 375	10,0	3,3	6,0	2,0	2,0
> 375> 550	15,0	5,0	6,0	3,0	3,0
> 550> 750	18,0	6,0	8,0	5,0	5,0
>750 > 1000	25,0	8,3	10,0	5,0	5,0
>1000 > 1300	36,0	12,0	14,0	5,0	5,0

**Таблица 2. Испытательные напряжения для разных видов изоляции**

Изоляция	Испытательное напряжение (действующее значение), В
1. Между искробезопасными цепями, гальванически не связанными между собой	2U ном, но не менее 500
2. Между искробезопасной цепью и заземленными частями электрооборудования, если цепь по условиям работы не должна заземляться	
3. Между искробезопасной цепью и искроопасной, гальванически отделенной от силовой внешней цепи	
4. Между искробезопасной цепью и искроопасной, гальванически связанной с силовой внешней цепью с напряжением до 60 В, для электрооборудования группы I	(2U ном+1000), но не менее 1500
5. Между искробезопасной и силовой внешней цепью с номинальным напряжением до 250 В	
6. Между искроопасной цепью, гальванически связанной с искробезопасной, и силовой внешней цепью с номинальным напряжением до 250 В	(2U ном+1000), но не менее 2000
7. Между искробезопасной и силовой внешней цепью с номинальным напряжением свыше 250 В	
8. Между искроопасной, гальванически связанной с искробезопасной, и силовой внешней цепью с номинальным напряжением свыше 250 В	(2U ном+1000), но не менее 2000

ние от силовой, сигнальной или осветительной сетей переменного тока. Допускается гальваническое соединение искробезопасных и связанных с ними электрических цепей через искрозащитные элементы с цепями автономных источников питания постоянного тока (аккумуляторной батареи, генератора постоянного тока, преобразователя).

Искробезопасная цепь не должна заземляться, если этого не требуют условия работы электрооборудования. При заземлении искробезопасных цепей соединение с землей должно выполняться в одной точке. В случае заземления цепи в двух точках необходимо учитывать возможность наведения опасного напряжения в этой цепи и должны быть предусмотрены дополнительные меры по обеспечению ее взрывозащищенности.

### Человеческий фактор

Электрооборудование, содержащее цепи или участки цепей, которые являются искробезопасными, требует соответствующей защиты от возможных вмешательств или ошибок монтажа, текущего ремонта и персонала, производящего освидетельствование.

Зажимы для присоединения внешних искробезопасных цепей должны закрываться крышкой, запираемой специальным инструментом, или опломбироваться. Винтовые (болтовые) зажимы должны быть предохранены от самовывинчивания, а кабели и провода – от рассоединения.

Очевидно, что абсолютная защита невозможна, но для минимизации ошибок обслуживающего персонала необходимо иметь соответствующую документацию, которая включает в себя описания по установке и текущему ремонту оборудования, а также методики проведения контрольных проверок.

Электрооборудование должно снабжаться достаточным количеством поясняющих надписей и указаний, упрощающих эксплуатацию такого оборудования. На отдельно устанавливаемом электрооборудовании должна быть табличка с его блок-схемой, на которой обозначены присоединительные зажимы.

### Искрозащитные разделительные барьеры

Искрозащитные элементы обеспечивают искробезопасность электрической цепи посредством ограничения энергии в пределах нижней границы взрыва взрывоопасной смеси в месте установки.

Для сопряжения электрооборудования, расположенного во взрывоопасной зоне, с электрооборудованием, находящимся во взрывобезопасной зоне (связанное электрооборудование), должны применяться определенные ограничительные элементы. Ограничительные элементы можно разделить на две группы:

- диодные барьеры безопасности, или пассивные барьеры,
- гальванически изолированные барьеры безопасности, или активные барьеры.

### Пассивные разделительные элементы

С точки зрения электротехники, искрозащитные устройства этого типа являются несложными (рис. 9).

Принцип действия блоков искрозащиты состоит в следующем: в случае появления опасного напряжения на зажи-

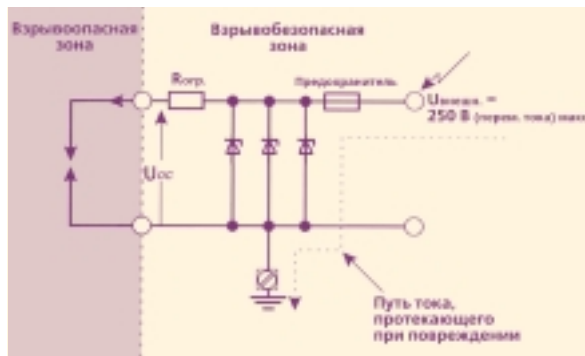


Рис. 9. Схема электрическая блока искрозащиты на диодах

мах, подключенных к приборам во взрывобезопасной зоне (250 В макс.), значение которого превышает напряжение стабилизации стабилизаторов, в цепи появляется ток (путь указан штриховой линией) и срабатывает предохранитель.

Параметры пассивных блоков искрозащиты на стабилизаторах приведены в таблице 3.

На рис. 10. приведены принципиальные электрические

схемы блоков искрозащиты на стабилизаторах (БИС).

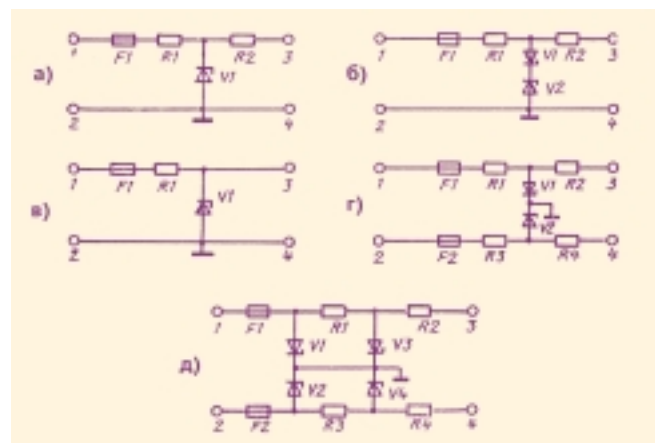
Оценка искробезопасности блоков искрозащиты на стабилизаторах проводится путем вычисления коэффициента искробезопасности (ГОСТ 22782.-5, Приложение 5).

Спецификация блоков искрозащиты на стабилизаторах включает в себя следующие параметры:

- максимальная внешняя емкость — емкость, которая может быть подключена к клеммам искробезопасных электрических цепей блока; ее значение определяется суммарным значением емкостей проводников и входной емкости прибора;

Таблица 3. Параметры пассивных блоков искрозащиты

Макс. E	Максимальное значение ЭДС, прикладываемой ко входам блока защиты при аварийном режиме
Макс. I	Максимальный ток короткого замыкания
Макс. C	Максимальное значение внешней емкости
Макс. L	Максимальное значение внешней индуктивности



Условные обозначения:

- V1, V2, V3, V4 — шунтирующие стабилизаторы,
- F1, F2 — предохранители,
- R1, R3 — ограничительные резисторы,
- R2, R4 — балластные резисторы.

Рис. 10. Схемы электрические блоков искрозащиты на стабилизаторах:

- а — схема блока с балластным резистором;
- б — схема блока с балластным резистором для переменного тока;
- в — схема блока без балластного резистора;
- г — схема блока для переменного тока с балластными резисторами и заземленной средней точкой стабилизаторов;
- д — схема блока для переменного тока с балластными резисторами, с дублированием стабилизаторов и заземленной их средней точкой

- максимальная внешняя индуктивность — индуктивность, которая определяется суммой значений индуктивности элементов, установленных до блока искрозащиты, и входной индуктивности прибора;
- напряжение на входе при 10 (1) мкА — максимальное напряжение при правильной полярности, которое приложено между клеммами взрывобезопасной зоны и земли при определенном токе утечки (10 мкА) (при этом имеются в виду верхние значения рекомендуемого рабочего диапазона);
- максимальное напряжение на входе — это максимальное значение напряжения при правильной полярности, приложенное между клеммами взрывобезопасной зоны и земли, не вызывающее срабатывания предохранителя; данный параметр рассчитывается при разомкнутых искробезопасных электрических цепях и при температуре окружающей среды 20°C.

Конструктивно блок искрозащиты представляет собой единый неразборный блок, залитый компаундом, устойчивый к условиям эксплуатации.

Далее приведены схемы подключения различных первичных преобразователей с применением блоков искрозащиты на стабилизаторах — БИС (рис. 11-14).

На рис. 11 показано наиболее простое и дешевое применение одноканального БИС. Прибор во взрывоопасной зоне не заземлен.

Применение двухканальных барьеров не требует непосредственного заземления искробезопасных электрических цепей (рис. 12). Заземление происходит только при аварийном режиме, когда срабатывают стабилитроны. Такой способ подключения исключает перекрестные взаимодействия между электрическими цепями.

Из схемы подключения платинового термометра сопротивления по 4-проводной схеме (рис. 13) видно, что ни один из четырех проводников не соединен непосредственно с землей. Поэтому вся система в целом является квазиплавающей. Это лучший способ предотвратить влияние сопротивления БИС на точность измерения.

При незаземленном источнике питания применение одноканального заземленного БИС обеспечивает простейшее и дешевое решение (рис. 14). Амперметр применяется в комплекте с самописцем, переключателем предельных значений или резистором 250 Ом или заменяется этими устройствами. При этом должно учитываться общее сопротивление. Рабочий диапазон входного напряжения БИС равен 27 В. Выходное напряжение источника питания может быть увеличено на 1 В для каждого установленного резистора 250 Ом. Допустимо напряжение 16,5 В при 20 мА для преобразователя во взрывоопасной зоне при использовании резисто-

ра 250 Ом и источника питания 28 В. Падение напряжения на барьере равно 6,5 В.

Итак, основные достоинства БИС:

- низкая стоимость элементов,
- надежный и несложный принцип действия,

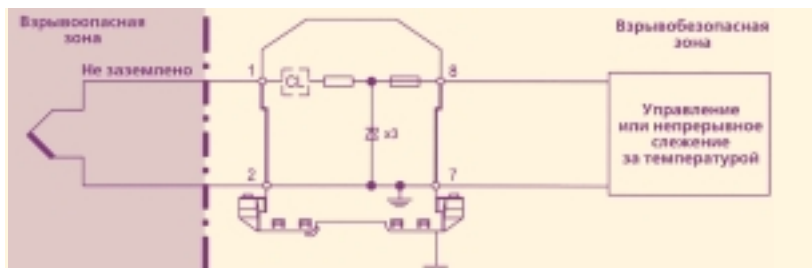


Рис. 11. Схема подключения одноканального БИС без заземления

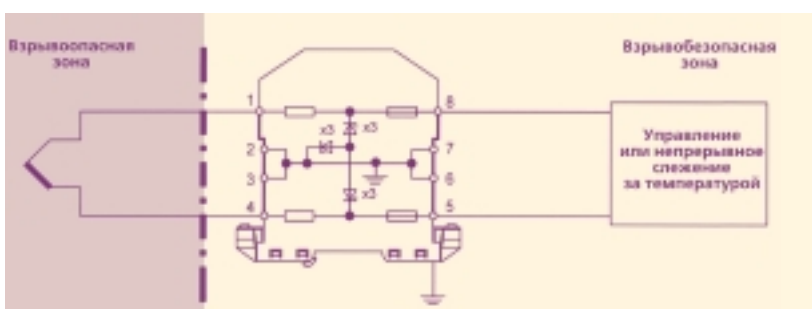


Рис. 12. Схема подключения двухканального БИС

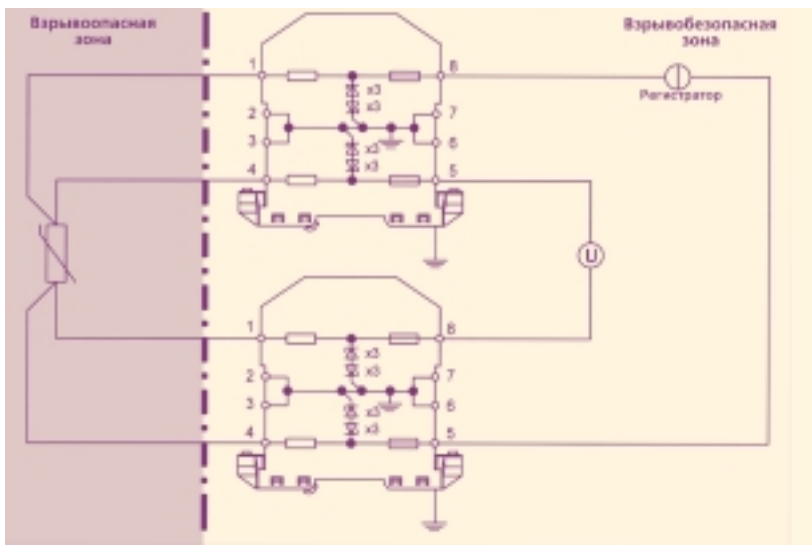


Рис. 13. Схема подключения платинового термометра сопротивления по 4-проводной схеме

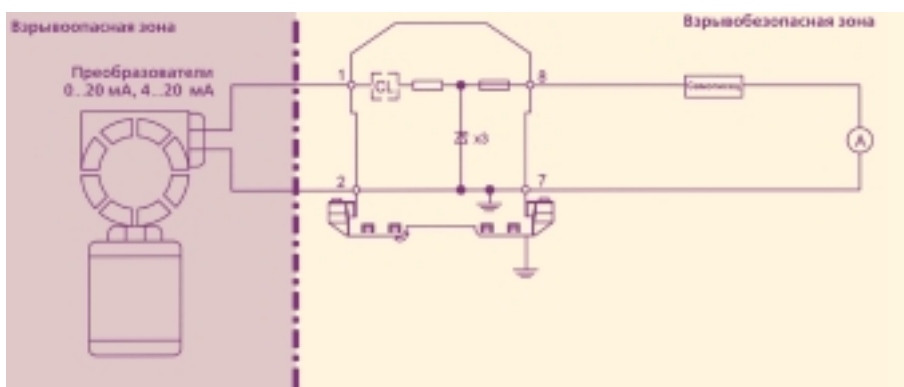


Рис. 14. Схема подключения БИС при измерениях

- возможность превращения стандартного электрооборудования в искробезопасное электрооборудование,
  - большая гибкость.
- Ограничениями БИС являются следующие:
- требование эквипотенциальной системы заземления,
  - наличие проблем с обратным током в случае отсутствия изоляции между входом и выходом,
  - уменьшение полезного напряжения преобразователя из-за наличия ограничивающего резистора и возникновение ошибок при подключении ограничивающих резисторов к резистивным датчикам,
  - возникновение ошибок из-за наличия тока утечки шунтирующих стабилитронов на землю,
  - необходимо применять активное контрольно-измерительное оборудование, генерирующее сигнал в виде уровней тока 4...20 мА, что неудобно для применения с установленными во взрывобезопасной зоне пассивными первичными преобразователями, такими как термопары, термометры сопротивления и др.,
  - возможность невосстанавливаемого повреждения БИС в случае аварийной ситуации или неправильного подключения.

**Активные разделительные устройства**

Гальванически изолированные активные разделительные устройства (барьеры) имеют источник напряжения или формирователи сигналов, которые передают или принимают сигналы из взрывоопасных зон через изолированный тракт (рис. 15).

Основное отличие между пассивными БИС и гальванически изолированными барьерами (активными барьерами) заключается в безопасных элементах, которые применяются для изоляции между взрывобезопасной зоной и электрическими цепями, обеспечивающими искробезопасность.

Эта конфигурация не позволяет опасному напряжению, которое приложено к зажимам, расположенным во взрывобезопасной зоне, быть переданным во вторичные цепи без ограничения по максимальному напряжению при аварийной ситуации.

Так как входная цепь является плавающей по отношению к земле, то при повреждении ток не протекает через энергоограничивающие цепи, поэтому нет необходимости заземлять энергоограничивающую цепь.

Достоинства активных барьеров:

- нет необходимости в системе заземления,
- могут быть применены заземленные первичные преобразователи,
- гальваническая изоляция снимает проблемы обратных токов и обеспечивает высокий коэффициент подавления помехи общего вида,
- достигается более высокая точность измерений,
- непосредственно могут использоваться выходные сигналы.

- Недостатки гальванически изолированных барьеров:
- высокая стоимость элементов, сопоставимая со стоимостью установки,
  - спроектированы для особых применений, поэтому являются менее гибкими.

**Искробезопасные системы**

Искробезопасное электрооборудование никогда не применяется отдельно. Как правило, оно является частью системы, в которой применяются сертифицированные элементы, гарантирующие безопасность системы.

Упрощенная схема искробезопасной системы показана на рис. 16.

Такая система включает в себя:

- электрооборудование, размещенное во взрывоопасной зоне,
- электрооборудование, размещенное во взрывобезопасной зоне,
- электропроводку между ними.

Анализ искробезопасных систем исходит из критериев, которые подтверждают, что максимальное значение электрической и тепловой энергии, выделяющейся во взрывоопасной зоне, ниже, чем границы воспламенения потенциально взрывоопасной смеси при нормальном или аварийном режимах работы.

Каждый экземпляр искробезопасного оборудования должен иметь паспорт, в котором указываются параметры для выбора связанного электрооборудования:  $I_{внешн. (I_{max})}$  — допустимый ток короткого замыкания и  $U_{внешн.}$  — напряжение холостого тока на внешних зажимах искробезопасной цепи. Связанное электрооборудование, подключенное к каждому входу, не должно иметь максимального значения выходного напряжения ( $U_{oc}$ ) выше, чем  $U_{внешн.}$ . Аналогично максимальное значение выходного тока связанного оборудования ( $I_{sc}$ ) не должно превышать  $I_{max}$ .

Методика определения безопасности системы состоит в следующем.

Определяется максимальное значение напряжения холостого хода и, соответственно, ток короткого замыкания. Исходя из зависимости минимального воспламеняющего

тока от напряжения для омической цепи, проверяется условие  $2/3 I < I_{sc}$  при  $U = U_{max}$ .

Исходя из зависимости минимального воспламеняющего напряжения от емкости цепи, определяют максимальное значение допустимой емкости для напряжения

$$U = U_{max} \times 1,5$$

Исходя из зависимости воспламеняющего тока от индуктивности цепи и напряжения источника, определяется максимальное значение допустимой индуктивности при токе

$$I = I_{sc} \times 1,5$$

Определяется величина температуры самовоспламенения, основываясь на максимальном значении энергии, которая может рассеиваться во взрывоопасной зоне.

На практике все возможные аварийные условия (например, короткое замыкание, размыкание или заземление соединительных кабелей)



Рис. 15. Схема гальванически изолированного барьера

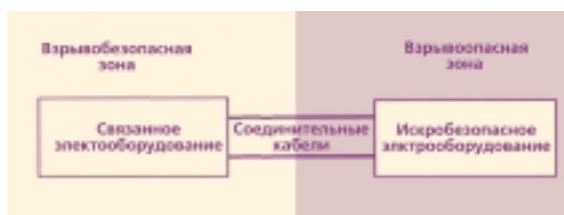


Рис. 16. Упрощенная схема искробезопасной системы

должны рассматриваться для того, чтобы определить, какое из них является наиболее опасным.

Система, показанная на рис. 16, является простой для оценки, так как существует незначительное число аварийных комбинаций, а знание параметров безопасности электрооборудования и характеристик кабеля является достаточным для оценки безопасности всей системы.

Более сложные системы (например, сочетание барьеров или применение многополюсных кабелей) требуют более детального анализа, потому что сочетания аварийных комбинаций являются многочисленными и не всегда явными.

**Электрооборудование для взрывоопасных зон**

Электрооборудование, предназначенное для размещения во взрывоопасных зонах, делится на два типа: элементарное электрооборудование и искробезопасное электрооборудование.

Элементарное электрооборудование — это то оборудование, в котором не превышает ни одно из следующих значений: 1,2 В; 0,1 А; 20 мкДж или 25 мВт. Проще говоря, элементарное электрооборудование не способно производить или накапливать энергию, достаточную для воспламенения взрывоопасной смеси.

Термопары, термометры сопротивлений (RTD), контакты, светодиоды и электрооптроны являются частью этой категории и по своей природе не требуют сертификации.

Искробезопасность электрооборудования должна быть гарантирована. Это достигается посредством ограничения высокого уровня энергии, поступающей с подключенного электрооборудования или других электрических цепей, расположенных в этой же зоне.

От сертификации не могут быть освобождены электрические схемы с реактивными сопротивлениями ввиду их способности накапливать и отдавать энергию. Индуктивные элементы, катушки реле или соленоиды клапанов зачастую могут работать с уровнями энергии намного ниже рекомендуемых для обеспечения искробезопасности, но энергия, выделяемая при разрыве цепи, может вызвать воспламенение взрывоопасной смеси. Таким же образом емкостная цепь может вызвать воспламенение при разряде конденсатора. Эти типы электрооборудования должны быть оборудованы элементами, ограничивающими выделяемую энергию до безопасных уровней.

Одним из решений, обеспечивающих безопасность применения индуктивного элемента, является подключение полупроводникового диода параллельно катушке с тем, чтобы выделяемая энергия могла быть поглощена. Для емкостных компонентов последовательно подключается резистор, уменьшающий уровень тока разряда до безопасного значения.

Стандарты допускают применение диодов и резисторов, которые считаются надежными для тех случаев, когда имеют значение условия работы. Шунтирующие диоды должны быть дублированы и установлены таким образом, чтобы возможное повреждение не отсоединяло их от катушки. Резистор должен быть металлопленочным или проволочным с предельным рабочим напряжением, в полтора раза превышающим напряжение при наиболее опасном аварийном режиме. Намотка проволочного резистора должна быть рядовой, виток к витку, межвитковая изоляция обмоточного провода рассчитывается на напряжение, равное утроенному падению напряжения на резисторе в нормальном режиме.

**Таблица 4. Параметры оценки искробезопасности оборудования для взрывоопасных зон**

U max (U внеш.)	Максимальное напряжение, приложенное к оборудованию
I max (I внеш.)	Максимальное значение тока, протекающего в оборудовании
Ci	Максимальное значение внутренней незащищенной емкости
Li	Максимальное значение внутренней незащищенной индуктивности

Электрооборудование для взрывоопасных зон должно быть утверждено как искробезопасное и иметь параметры, которые отвечают требованиям соответствующей взрывоопасной смеси, в которой должно применяться искробезопасное электрооборудование (табл. 4).

Параметры Umax и Imax определяют максимальное значение энергии, которая может быть безопасно рассеяна электрооборудованием, и гарантируют, что величина температуры самовоспламенения, учитывающая максимальное значение точно определенной окружающей температуры, является ниже минимального значения температуры воспламенения взрывоопасной смеси. Параметры эквивалентной емкости и индуктивности используются для всеобщего анализа электрической цепи.

**Электрооборудование для взрывобезопасных зон**

Связанное электрооборудование, размещенное во взрывобезопасной зоне, состоит из электрических цепей, связанных с искробезопасными цепями, которые могут быть спроектированы таким образом, чтобы ограничивать энергию, передаваемую во взрывоопасную зону, до требуемого уровня.

Связанное электрооборудование может быть следующих трех типов:

- электрооборудование, принимающее сигналы извне,
- электрооборудование, передающее сигналы наружу,
- искробезопасные средства сопряжения.

Контрольно-измерительное оборудование, которое принимает сигналы из взрывоопасной зоны, не передает энергию во внешние устройства во время нормальной работы. Искробезопасность обеспечивается ограничением энергии при аварийном режиме.

Аппаратура, передающая сигналы, проектируется таким образом, чтобы никогда не были превышены опасные уровни энергии при нормальном режиме или при аварийных режимах.

Искробезопасные средства сопряжения (например, пассивные БИС) предотвращают передачу опасной энергии, поступающей от несертифицированной аппаратуры во взрывобезопасных зонах.

Связанное электрооборудование должно быть сертифицировано на предмет искробезопасности на основании максимального уровня энергии, которая может быть передана во взрывоопасную зону, и иметь параметры согласно табл. 5.

Эти параметры весьма важны для искробезопасности системы. Если их учитывать, то воспламенение взрывоопас-

**Таблица 5. Параметры оценки искробезопасности оборудования для взрывобезопасных зон**

Uoc	Напряжение холостого хода
Isc	Допустимый ток короткого замыкания
Ca	Максимально допустимое значение емкости
La	Максимально допустимое значение индуктивности

ной смеси будет предотвращено как при нормальном режиме, так и при аварийных режимах (например, случайное короткое замыкание, размыкание или заземление соединительного кабеля).

В европейской практике учитывается также параметр  $L/R$  (отношение максимальной индуктивности к сопротивлению).

**Кабельные соединения**

Длина кабельных соединений искробезопасного электрооборудования со связанным электрооборудованием может быть ограниченной из-за способности кабеля накапливать энергию. Руководящие документы обеспечивают методиками по определению максимально допустимой емкости и индуктивности.

Электрические параметры связанного оборудования учитывают значения максимально допустимых индуктивности и емкости подключенных электроцепей; поэтому, должны быть определены не только реактивные сопротивления внешнего оборудования, но и реактивные параметры соединительных кабелей. Можно ограничить или подавить накопленную энергию для внешней и взрывобезопасной аппаратуры, однако для распределенной по всей длине общей индуктивности и емкости кабеля не представляется возможным это сделать (рис. 17).

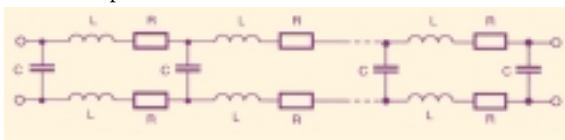


Рис. 17. Эквивалентная схема кабеля

Погонные емкость, индуктивность, сопротивление обычно указываются изготовителем кабеля и редко доставляют проблемы заказчику. Особое внимание должно быть уделено параметрам кабеля, потому что данные изготовителя не связаны с возможными аварийными условиями, предусмотренными искробезопасностью. Должен быть проверен наихудший случай сочетаний повреждений.

Для двухполюсного кабеля достаточными являются параметры, предоставляемые изготовителем. Для экранированных или многополюсных кабелей анализ является более сложным. В этих случаях рекомендуется измерить значения емкости и индуктивности образца кабеля, применяя токоизмерительный мост, и рассмотреть наихудшее условие. В результате, определив длину образца кабеля, можно узнать величину параметров  $C$  и  $L$  требуемого отрезка.

В европейской практике наиболее важной характеристикой кабеля является отношение индуктивности к сопротивлению ( $L/R$ ), учитывающее тот факт, что чем длиннее кабель, тем больше сопротивление. Можно доказать, что максимальное значение энергии, которая может быть накоплена кабелем, связано с отношением  $L/R$  и не зависит от длины кабеля. Из того, что энергия, накопленная индуктивным сопротивлением кабеля, связана с протеканием тока ( $1/2 LI^2$ ), следует, что кабель бесконечной длины имеет бесконечное сопротивление, а ток и накопленная энергия будут равны нулю. Энергия имеет максимальное значение в месте, где сопротивление кабеля имеет такое же значение, как и сопротивление источника энергии (рис. 18).

Параметр  $L/R$ , определяемый для связанного электрооборудования, вычисляется и/или проверяется при условии максимально передаваемой энергии по следующему уравнению:

$$L/R = 4La/r$$

Здесь  $La$  — индуктивность, определяемая из зависимости минимального воспламеняющего тока ( $Isc$ ) от индуктивности цепи и напряжения источника, умноженная на 1,5;

$r = Umax/Isc$  — это сопротивление эквивалентного источника, которое определяется путем деления напряжения холостого хода на ток короткого замыкания.

Отношение  $L/R$  обычно указывается в единицах мкГн/Ом, и может быть альтернативой значениям индуктивности кабеля. Это отношение допускает большую гибкость при оценке параметров кабеля, так как оно не связано с его длиной.

**Применение многожильных кабелей**

Применение многополюсных кабелей для подключения внешнего оборудования является широко распространенной практикой и допускается стандартами, если при анализе безопасности системы размыкание, короткое замыкание и заземление не считаются аварийными режимами.

В примере, показанном на рис. 19, многополюсный кабель включает разные искробезопасные цепи. С течением времени кабель может быть поврежден, что приведет к закорачиванию проводников различных электроцепей, поэтому во взрывоопасных зонах может появиться напряжение или ток со значениями выше, чем для каждой отдельной цепи.

Анализ следствия случайных контактов подобен анализу, который применяется при оценке сочетаний барьеров.

**Требования к заземлению**

Стандарты искробезопасности требуют, чтобы были заземлены определенные точки системы, а другие должны быть изолированными от земли. Как правило, заземление искробезопасных цепей используется для предотвращения или даже уменьшения вероятности генерации чрезмерной энергии во взрывоопасной зоне.

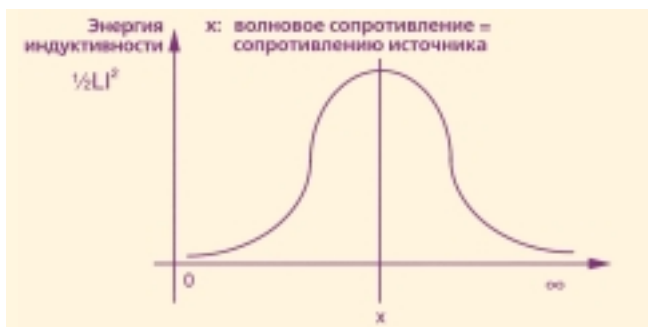


Рис. 18. Взаимосвязь между длиной кабеля и энергией, накопленной индуктивностью

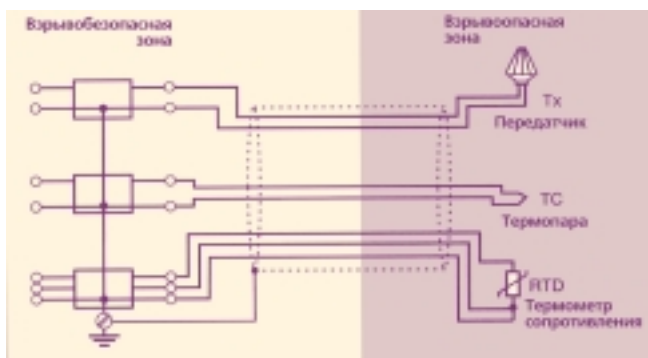


Рис. 19. Пример подключения оборудования с использованием многожильного кабеля

Изоляция от земли токоведущих частей электроцепи необходима для предотвращения появления двух заземленных точек с разными потенциалами и возможности протекания тока.

Существует требование искробезопасности, заключающееся в том, что только одна точка может быть заземлена, в то время как другие должны быть изолированными от земли (минимальное значение напряжения пробоя изоляции — 500 В переменного тока).

Заземление искробезопасных цепей должно быть выполнено проводниками, изолированными от других систем заземления и подключенными к эталонной системе заземления.

**Заземление пассивных БИС**

С точки зрения искробезопасности, эффективное функционирование БИС связано с их способностью отводить на землю опасную энергию, поступающую от взрывобезопасной аппаратуры, к которой они подсоединены.

По этой причине очень важным является заземление БИС к эквипотенциальной системе заземления (рис. 20).

Устройство для присоединения БИС к заземлению должно дублироваться и совместно с заземляющим проводом рассчитываться на 10-кратный номинальный ток предохранителей, установленных в БИС. Они должны выдерживать механические нагрузки, возможные в условиях эксплуатации.

Допустимое сопротивление между зажимом заземления наиболее удаленного барьера и изопотенциальной точки земли должно быть менее 1 Ом.

Заземляющие присоединения барьеров должны быть разделены от других систем заземления и присоединены к системе заземления в одной точке.

Требуемое условие одной точки заземления означает, что пассивный барьер не может быть применен для сопряжения датчиков или электрооборудования, размещенного во взрывоопасной зоне, содержащей заземленные или плохо заземленные электрические цепи (например термопары с заземленными спаями или неизолированные преобразователи).

**Заземление экранированных кабелей**

Применение экранированных кабелей для соединения датчиков или преобразователей, расположенных во взрывоопасной зоне, с контрольно-измерительным оборудованием во взрывобезопасной зоне является достаточно широко распространенной практикой.

Экран следует заземлять только в одной точке, предпочтительно в точке системной земли. В случае если экран присоединен к земле в двух неэквипотенциальных точках, по цепи будет протекать ток, нарушающий работоспособность. Поэтому экранированный кабель должен быть снабжен изолирующим покрытием поверх экрана для того, чтобы защитить его от случайных контактов с землей.

Для искрозащищенного электрооборудования экран служит в качестве дополнительного проводника между взрывоопасной и взрывобезопасными зонами, и в случае повреждения кабеля по экрану может протекать аварийный ток. С этой точки зрения принцип изоляции электроцепей во взрывоопасных зонах и их заземление во взрывобезопасных зонах может быть также применен к экрану.

При применении пассивных барьеров экран может быть заземлен по месту, если это соединение не нарушает гальванической изоляции. Это значит, что два экрана по разные стороны изолирующего устройства не должны пересекаться.

Для тех применений, где экранирование является частью системы разделения искробезопасных электроцепей разных типов (например многожильный кабель), присоединение экранов к эталонной земле должно быть подобно подключению к земле пассивных барьеров (рис. 21).

На рис. 21 показано, что экран S1 соединен с той точкой заземления, что и измерительные цепи. Он не должен быть подключен к металлическим частям преобразователя для

того, чтобы не допустить образования вторичной цепи заземления, что не предусмотрено видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь».

Так как назначением внешнего преобразователя является гальваническая изоляция цепи термопары от измерительных цепей, расположенных во взрывобезопасной зоне, то связь между экранами S1 и S2 является недопустимой.

Экраны S2 и S3 обеспечивают соединение между преобразователем и барьером. Они имеют перекрестное соединение в изолированной точке клеммного соединителя.

S3 присоединяется к заземляющей шине барьера отдельным проводом, подключенным к эталонной точке заземления.

Экран S4 завершает систему заземления и не является важным, с точки зрения безопасности. Он подключен к эталонной точке экранирования, которая представлена шиной земли.

При этом способе соединения необходимо, чтобы экран S2 был правильно изолирован от металлической конструкции преобразователя, в противном случае может иметь место ситуация, представленная на рис. 22.

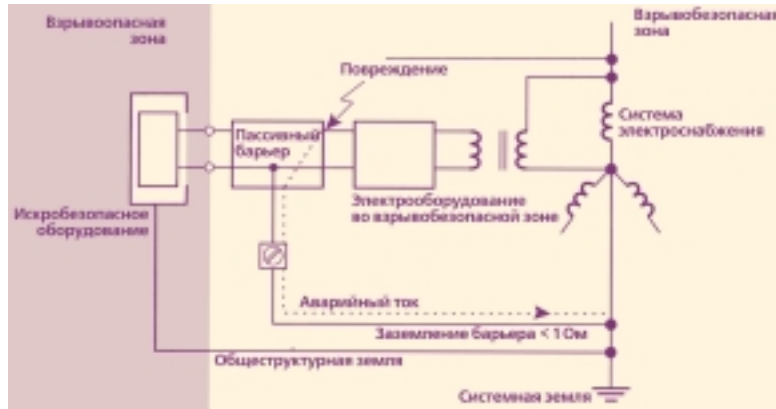


Рис. 20. Схема заземления пассивного БИС

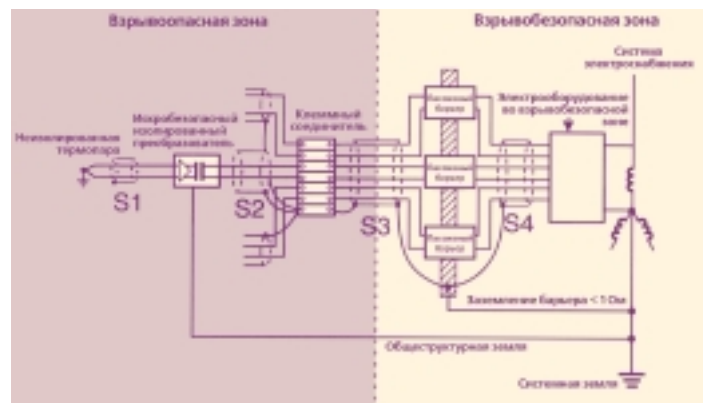


Рис. 21. Пример присоединения экрана к земле

В случае отсутствия изоляции между экраном и металлической конструкцией преобразователя во взрывоопасной зоне может образоваться чрезмерный уровень энергии. Если потенциал земли  $U_1$  отличается от потенциала  $U_2$ , то вызванный этим ток ограничивается только сопротивлением экрана и возникающая искра может воспламенить взрывоопасную среду.

Ситуация может быть предотвращена заземлением экрана во взрывоопасной зоне; при этом искра, об-

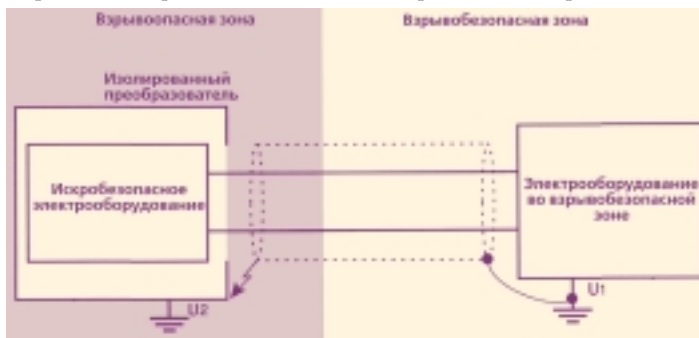


Рис. 22. Возможная опасная ситуация при заземлении экранов во взрывобезопасной зоне

разующаяся во взрывобезопасной зоне, не вызовет пожара или взрыва.

### Заключение

Выбор высоконадежных и экономичных технических средств сбора информации, работающих во взрывоопасных средах, является первоочередной задачей при проектировании систем управления технологическими процессами.

Применение во взрывоопасных зонах оборудования общепромышленного исполнения с искробезопасными цепями является одним из путей снижения капитальных затрат, повышения надежности и безопасности эксплуатации. ●

### Литература

1. Жданкин В.К. Некоторые вопросы обеспечения взрывобезопасности оборудования // СТА. — 1998. — № 2. — С. 98-106.
2. ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» В.К. Жданкин — сотрудник фирмы «Прософт»  
117313 Москва, а/я 81  
Телефон: (095) 234-0636  
Факс: (095) 234-0640  
E-mail: root@prosoft.ru

# Взрывоопасные зоны, сравнение видов взрывозащиты

*Виктор Жданкин*

Публикация статей, посвященных проблемам обеспечения безопасности сбора информации во взрывоопасных зонах и существующим видам взрывозащиты электрооборудования, вызвала множество положительных откликов, критических замечаний, а также целый ряд вопросов. Представляемая статья отвечает на некоторые из этих вопросов и расставляет акценты в части сравнения различных видов взрывозащиты электрооборудования.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

Технологические процессы с возможной опасностью возникновения взрыва или пожара в таких, например, отраслях, как нефте- или газодобывающая, нефтехимическая, химическая, фармацевтическая и т.д., требуют определения заводских опасных зон с возможным наличием огнеопасных смесей. Понятие «взрывоопасная зона» в «Правилах устройств электроустановок» трактуется следующим образом: взрывоопасная зона — это помещение или ограниченное пространство в помещении и наружной обстановке, в которых имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси. В этих зонах для обеспечения безопасной эксплуатации электрооборудования и электротехнических установок должны применяться соответствующие виды взрывозащиты.

### Критерии для классификации зон

Набор критериев для классификации взрывоопасных зон базируется на вероятности и продолжительности присутствия огнеопасных смесей, а также концентрации и типе огнеопасных веществ (газ, пар, жидкость, пыль) в совокупности с такими физическими параметрами, как температура вспышки, температура самовоспламенения и минимальная электрическая энергия поджигания.

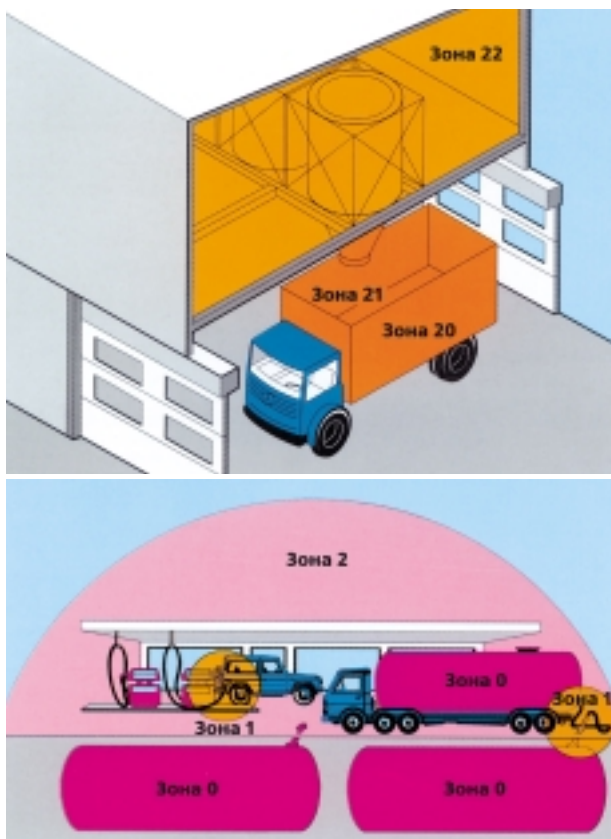
Международная Электротехническая Комиссия (МЭК, МЭК 79-10 Classification of Hazardous Areas) и Европейское сообщество (Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC, EN 60079-10 Classification of Hazardous Areas) рассматривают в своих стандартах три основных вида взрывоопасных зон размещения оборудования (в России согласно «Правилам устройства электроустановок» взрывоопасные зоны подразделяются на классы [1]).

- Зоны 0 (зоны класса В-I) — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и обладающие такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т.д.;
- Зоны 1 (зоны класса В-Ia) — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей;
- Зоны 2 (зоны класса В-Iб, зоны класса В-Iг) — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нор-

мальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Стандартом EN 1127-1 «Machine safety/fire and explosion protection» Part 1: Explosion protection для смесей воздуха с мелкодисперсионными твердыми горючими веществами установлены следующие взрывоопасные зоны:

- Зоны 20 — зоны, расположенные в помещениях, в которых длительный срок, часто или постоянно присутствует взрывоопасная газообразная атмосфера в форме облака пыли и в которых пыль может накапливаться и образовывать слой неопределимой или чрезмерной толщины. Отдельные отложения пыли не образуют Зону 20;
- Зоны 21 (зоны класса В-II) — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и обладающие такими свойствами, что они способны образовать взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов);



**Рис. 1. Зоны, подверженные опасности в результате воспламенения газов, паров или смесей**

● Зоны 22 (зоны класса В-IIa) — зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для зон класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей (рис. 1).

Естественно, что Зона 0 (зоны класса В-I) представляет собой более высокую степень опасности, чем Зона 1 (зоны класса В-Ia) и соответственно Зона 2 (зоны класса В-Iб, Iг).

Участки с опасностью ниже, чем в Зоне 2, считаются неопасными, поэтому здесь могут быть применены обыкновенные правила по установке и эксплуатации электрооборудования.

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIa рекомендуется применять электрооборудование, специально предназначенное для работы во взрывоопасных смесях горючих волокон или пыли с воздухом. Допускается применять во взрывоопасных зонах класса В-II взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для работы в средах с газопаровоздушными смесями, а в зонах класса В-IIa — электрооборудование общего назначения (без средств взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли (ГОСТ 14254-80 «Изделия электротехнические оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний»).

### **Действующие принципы основных видов взрывозащиты**

Рассмотрим кратко наиболее распространенные виды взрывозащиты: заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением, защита вида «е» (повышенная надежность) и искробезопасная электрическая цепь.

По ГОСТ 12.2.020-76 «Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка» маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна содержать знак Ex, указывающий, что электрооборудование соответствует указанному стандарту и стандартам на виды взрывозащиты; знаки видов взрывозащиты также регламентированы стандартом:

- d — взрывонепроницаемая оболочка;
- ia, ib, ic — искробезопасная электрическая цепь (ИБЦ);
- e — защита вида «е» (повышенная надежность);
- o — масляное заполнение оболочки;

- p — заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением;
- q — кварцевое заполнение оболочки;
- s — специальный вид взрывозащиты.

В дальнейшем для краткости виды взрывозащиты будут обозначаться соответствующими знаками маркировки.

Виды взрывозащиты Ex p, Ex s, Ex q, Ex o применяются преимущественно для производственного оборудования и электротехнических устройств в сочетании с другими видами взрывозащиты.

С описанием различных видов взрывозащиты, существующих зарубежных и отечественных стандартов и обсуждением некоторых аспектов взрывобезопасности можно ознакомиться в [2], [3].

#### **Вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» (Ex d)**

Вид взрывозащиты Ex d — это метод, в котором электротехническое оборудование помещается в прочную оболочку, способную выдержать внутренний взрыв без деформирования, а плоская фланцевая крышка или крышка с резьбовыми отверстиями по контуру с тщательно регулируемым воздушными зазорами обеспечивают волне, образованной во время вспышки, выход во внешнюю атмосферу.

Тщательно регулируемый воздушный зазор гасит волны выхлопных газов. Совместное действие двух процессов: распространение газов с высокой скоростью и теплообмен со стенами щелей оболочки — приводит в результате к потере энергии выхлопных газов до уровня, при котором становится невозможным воспламенение огнеопасной смеси во внешней окружающей среде.

Все электрические подключения по этому виду взрывозащиты проходят через прочные взрывонепроницаемые стальные трубы или кабельные трубопроводы и тщательно герметизированы в местах ввода в оболочку.

Этот метод применяется для соединительных коробок, осветительных электроустановок, коммутационной аппаратуры и электротехнического оборудования.

#### **Защита вида «е» (повышенная надежность)**

Вид взрывозащиты Ex e — это способ, заключающийся в том, что в электрооборудовании или его части, не имеющих нормально искрящихся частей, принят ряд мер дополнительно к используемым в электрооборудовании

общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг, которые способны воспламенить взрывоопасные смеси.

Так, например, чтобы взрывозащищенное электрооборудование с видом взрывозащиты «Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением», изготавливаемое по ГОСТ 22782.4-78, могло соответствовать уровню «Повышенная надежность против взрыва», достаточно в электрооборудовании предусмотреть блокировку, отключающую его от всех электрических цепей при падении давления в оболочке ниже допустимого.

Этот вид взрывозащиты преимущественно применяется для электротехнических соединительных коробок, осветительного электрооборудования, а также в безыскровых электрических моторах (например, в асинхронных двигателях типа «белчице колесо» или синхронных шаговых и бесколлекторных двигателях).

#### **Искробезопасная электрическая цепь (Ex i)**

Вид взрывозащиты Ex i основан на принципе ограничения предельной энергии, накапливаемой или выделяемой электрической цепью в аварийном режиме, или рассеивания мощности до уровня значительно ниже минимальной энергии или температуры воспламенения.

Допустимые уровни энергии в искробезопасной электрической цепи простираются от 20 до 180 мкДж (максимальное напряжение разомкнутой электрической цепи 30 В, значение тока короткого замыкания 100 мА, допустимая мощность 0,45 Вт).

Существуют три уровня взрывозащиты Ex i: Ex ia — осособвзрывобезопасный, Ex ib — взрывобезопасный, Ex ic — повышенная надежность против взрыва.

Ex ia предполагает сохранение условий безопасности даже в случае одновременных и независимых повреждений, поэтому этот уровень взрывозащиты обеспечивает наибольшую безопасность и применим для Зоны 0, Зоны 1 и Зоны 2.

Ex ib допускает только одно повреждение и поэтому применим только для Зоны 1 и Зоны 2.

Ограничение энергии искробезопасных электрических цепей производится, в основном, искробезопасными электрическими цепями связанного электрооборудования (блоками искрозащиты на стабилизаторах — БИС, 67

другое наименование — барьеры безопасности на шунтирующих диодах Зенера), которые при нормальном или аварийном режиме работы не отделены гальванически от ИБЦ.

В большинстве случаев связанное электрооборудование размещается в безопасной зоне и защищено в местах установки искробезопасными электрическими цепями. Это оборудование ограничивает максимальное напряжение и ток, протекающий через искробезопасные электрические цепи даже в случае аварии. Защита может быть выполнена с применением БИС или гальванически изолированных средств сопряжения — развязывающих устройств (преобразователей сигналов с универсальным входом, повторителей аналоговых сигналов, формирователей аналоговых выходных сигналов, устройств управления интеллектуальных электропневматических преобразователей, повторителей состояний переключателей и др.). В БИС применяются защищенные плавкими предохранителями стабилитроны для ограничения максимального напряжения шунтированием аварийного тока на землю. Последовательно с предохранителями включены ограничительные

резисторы, лимитирующие ток до максимально допустимого для искробезопасных цепей значения.

Этот вид защиты требует отдельной точки заземления с низким значением сопротивления (изопотенциальная земля безопасности), с которой должны сопрягаться все защитные цепи.

Почти все стандарты по установке электрооборудования требуют, чтобы суммарное значение сопротивления от наиболее удаленного БИС до центральной шины аварийной защиты не превышало 1 Ом. Это позволяет ограничивать кратковременные перенапряжения в искробезопасных электрических цепях, вызванные аварийными бросками тока в контуре сопротивления заземления.

Особенность такого изопотенциального заземления — соединение с землей должно выполняться в одной точке. Требуется надежная изоляция от земли всех прочих искробезопасных электрических цепей, чтобы препятствовать образованию опасных и неконтролируемых утечек контурных токов заземления во взрывоопасные участки.

Развязывающие устройства, в дополнение к ограничивающим напря-

жение стабилитронам, обеспечивают надежную электрическую изоляцию между искробезопасными электрическими цепями и неискробезопасными цепями посредством традиционных трансформаторов, оптопар, реле.

Обеспечение электроизоляции между двумя контурами в развязывающих устройствах не требует введения отдельной системы заземления для системы аварийной защиты и позволяет применять изолированные или заземленные искробезопасные цепи независимо.

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ВИДОВ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ**

### **Гибкость применения**

Каждый вид взрывозащиты подразумевает применение для конкретных опасных участков или установок. Методы с высоким значением коэффициентов безопасности (например Ex i) применимы для участков с повышенной опасностью (например Зона 0 или Зона 1) и являются безопасными с запасом в зонах с пониженной опасностью, поэтому они считаются более гибкими.

Простые виды защиты от аварий в дополнении применимы только для

**Таблица 1. Стандарты на конкретные виды взрывозащиты и области применения**

Маркировка	Вид взрывозащиты		Области применения
	Европейский стандарт (CENELEC)/ Международный стандарт (IEC)/Стандарт РФ	Определение	
Ex o	EN 50 .015/IEC 79-6/ ГОСТ 22782.1-77	<b>Масляное заполнение оболочки</b> Оболочка заполняется маслом или жидким негорючим диэлектриком	Зона 1, Зона 2
Ex p	EN 50 .016/IEC 79-2/ ГОСТ 22782.4-78	<b>Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением</b> Продувка осуществляется чистым воздухом или инертным газом	Зона 1, Зона 2
Ex q	EN 50 .017/IEC 79-5/ ГОСТ 22782.2-77	<b>Кварцевое заполнение оболочки</b>	Зона 1, Зона 2
Ex d	EN 50 .018/IEC 79-1-71/ ГОСТ 22782.6-81	<b>Взрывонепроницаемая оболочка</b> Оболочка, выдерживающая давление взрыва внутри неё и предотвращающая распространение взрыва из оболочки в окружающую взрывоопасную среду	Зона 1, Зона 2
Ex e	EN 50 .019/IEC 79-7/ ГОСТ 22782.7-81	<b>Защита вида «е»</b> Вид взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства), заключающийся в том, что в электрооборудовании (или его части), не имеющем нормально искрящихся частей, принят ряд мер дополнительно к используемым в электрооборудовании общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг	Зона 1, Зона 2
Ex i	EN 50 .020, EN 50.039/ IEC 79-3, IEC 79-11/ ГОСТ 22782.5-78	<b>Искробезопасная электрическая цепь</b> Электрическая цепь, выполненная так, что электрический разряд или её нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания	Зона 1, Зона 2 Зона 0 — после проведения специальных испытаний
Ex m	EN 50 .028/IEC 79-18	<b>Заполнение веществом (заполнителем) дополнительной оболочки, в которой размещено электрооборудование</b> Заполнитель не должен иметь трещин, пузырьков, отслаиваться, высыпаться, растрескиваться с течением времени и терять своих свойств во время эксплуатации. Этот вид приблизительно соответствует специальному виду взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства) Ex s ГОСТ 22782.3-77	Зона 1, Зона 2

опасных участков с пониженной степенью риска и являются в меньшей степени гибкими, особенно если имеется многоцелевой периодический процесс или предвидится расширение/модификация производства с переклассификацией зон.

Ex d допускает существенные количества электрической энергии в электрооборудовании и, следовательно, может быть широко применим, практически без ограничений мощности.

Ex i, напротив, допускает крайне низкие уровни энергии и, следовательно, применим только в контрольно-измерительной аппаратуре и оборудовании управления технологическими процессами с некоторым ограничением энергии. К счастью, полупроводниковая технология обеспечивает чрезвычайно высокую степень рабочих характеристик и вычислительных мощностей с минимальным значением потребляемой энергии.

Во всемирной практике существует минимальный уровень согласованности в отношении того, какой вид взрывозащиты является применимым для конкретной опасной зоны. Более высокая степень единообразия существует внутри Европейского сообщества и

в странах, ориентирующихся на CENELEC.

Большинство развитых в промышленном отношении стран имеют собственные государственные регламентирующие организации и стандарты, официально устанавливающие виды взрывозащиты и их применимость в конкретных опасных зонах. В Европе такими признанными ведомствами являются BASEEFA, SCS (Великобритания), BVS, DMT, PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Германия), CESI (Италия), DEMKO (Дания), INERIS, LCIE (Франция), ISSEP (Бельгия), KEMA (Нидерланды), LOM (Испания). Аналогичное ведомство на Украине – ИСЦ ВЭ (Испытательный сертификационный центр взрывозащищенного и рудничного электрооборудования).

В соответствии с Межправительственными соглашениями о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации от 13.03.1992 г., о принципах проведения и взаимном признании работ по сертификации от 25.06.1992 г. и согласно установленному порядку признания результатов работ по сертификации от 20.10.1993 г., сертификаты

ИСЦ ВЭ действительны для всех стран СНГ.

В США наиболее известными являются следующие испытательные центры: UL (Underwriters Laboratories, Inc.), FMRC (Factory Mutual Research Corporation), AGA (American Gas Assoc. Laboratories), UST/CA (United States Testing Company, Inc./ California Division) и др.; в Канаде – это CSA (Canadian Standards Association), в Австралии – QAS, LOCS.

В России на базе Национального научного центра горного производства – Институт горного дела имени А.А. Скочинского (ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского) создан Центр по сертификации взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ЦС ВЭ ИГД), который является ведущим по вопросам сертификации для Министерства топлива и энергетики РФ.

ЦС ВЭ ИГД аккредитован Госстандартом России, Госгортехнадзором России, Главгосэнергонадзором России и Российским Морским Регистром Судоходства. Центр имеет опыт сертификации как отечественного, так и импортного взрывозащищенного электрооборудования и установил рабочие контакты со многими ведущими зарубежными испытательными центрами.

Сертификацией электрооборудования также занимается Испытательная лаборатория взрывозащищенных средств измерений, контроля и элементов автоматики (ИЛ ВСИ) ВНИИФТРИ.

Российские стандарты на конкретные виды взрывозащиты и их европейские аналоги, а также допустимые зоны применения каждого вида взрывозащиты представлены в таблице 1.

Дополнительно можно заметить, что ГОСТ 22782.0-81 «Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний», устанавливающий технические требования и методы испытаний по обеспечению взрывозащиты, общие для электрооборудования со всеми видами взрывозащиты, аналогичен Европейскому стандарту EN 50.014 General Requirements.

ГОСТ 12.1.011-78 «Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний», устанавливающий классификацию взрывоопасных смесей по категориям и группам и методы определения параметров взрывоопасности, используемых при классификации смесей, полностью соответствует стандартам IEC 79-1A Construction and Test of Flame-proof Enclosures of Electrical Apparatus, IEC 79-4 Method of Test for Ignition Temperature.

ГОСТ 12.2.021-76 «Электрооборудование взрывозащищенное. Порядок согласования технической документации, проведения испытаний, выдачи заключений и свидетельств», устанавливающий порядок рассмотрения и согласования технической документации на взрывозащищенное электрооборудование, испытания электрооборудования на взрывозащищенность, оформления заключений и свидетельств, внесения изменений в согласованную документацию, соответствующую требованиям IEC 79-1.

Следует иметь в виду, что указанные российские стандарты, распространяющиеся на взрывозащищенное электрооборудование (электротехнические устройства) и электрические средства автоматизации и связи, действуют до 31 декабря 2000 г. С января 2001 года будут введены в действие стандарты, подготовленные методом прямого применения соответствующих стандартов IEC.

#### **Характеристика безопасности**

Каждый общепризнанный вид взрывозащиты обеспечивает безопасность в

соответствующей опасной зоне в тех случаях, когда правильно выполнен и обслуживается, соответствует требованиям безопасности и признан безопасным.

Как будет рассмотрено далее, некоторые виды взрывозащиты, особенно в жестких условиях эксплуатации, являются критичными к нестабильности рабочих условий и требуют, помимо функционального технического обслуживания, немало забот по поддержанию изначальных характеристик надежности.

Другие виды взрывозащиты в меньшей степени подвержены воздействию внешних факторов и поэтому требуют меньших эксплуатационных расходов по поддержанию уровня безопасности или почти не требуют технического обслуживания.

#### **Розничная цена оборудования**

Каждый вид взрывозащиты характеризуется различными видами основного оборудования и вспомогательного оборудования (если оно требуется) и, следовательно, разной стоимостью.

Ex e — по сути менее сложный вид взрывозащиты и в результате имеет невысокую стоимость, Ex i по стоимости занимает среднее положение, а Ex d вследствие использования громоздких прочных кожухов (оболочек) и механической подстройки их компонентов является дорогостоящим. Впрочем, все эти оценки достаточно условны, и рынок может привносить свои коррективы.

#### **Стоимость монтажа**

Сумма стоимости вспомогательного оборудования, затрат на монтаж и розничной цены оборудования является (помимо эксплуатационных и других расходов) более емким критерием, чем только розничная цена оборудования, способным помочь конечному пользователю принять решение о выборе защитного оборудования.

В этом отношении Ex e и Ex i характеризуются менее дорогостоящей установкой, чем вид Ex d.

Ex d становится более эффективным по стоимости при жестких условиях окружающей среды и необходимости капитальной механической защиты места монтажа оборудования и кабелей.

#### **Сравнение видов взрывозащиты Ex d и Ex i**

В настоящее время производители контрольно-измерительного оборудования выпускают весьма сложную ап-

паратуру, управляемую маломощным оборудованием по интерфейсу типа токовая петля 4 — 20 мА. Идентичные маломощные (4 мА) схемные решения, используемые при проектировании искробезопасных электрических цепей, способствуют расширению области их применения, обеспечивая эффективную искробезопасность электрооборудования с низкой себестоимостью.

Часто выбор между двумя наиболее распространенными видами взрывозащиты Ex d и Ex i сводится к выбору между стоимостью устанавливаемых БИС или развязывающих устройств с обычной электропроводкой в месте установки и затратами на прокладку электрических проводов в кабелепроводах для реализации Ex d.

Кроме стоимости оборудования и затрат на монтаж, следует принимать во внимание эксплуатационные расходы. ИБЦ предполагает более быстрое, безопасное, менее дорогостоящее техническое обслуживание под напряжением.

Ex d менее устойчив к ошибкам обслуживающего персонала, а уровень безопасности со временем может снижаться, если не обеспечено постоянное обслуживание оборудования. Незакрепленные или частично закрепленные крышки, механически поврежденные фланцы или резьба крышек, корродированная резьба кабельных вводов, нарушение герметичности в точках вводов кабелей, плохое качество заземления оболочек и т.д. — все эти неисправности оборудования и любое неправильно смонтированное или отремонтированное оборудование в месте установки являются источниками потенциальной опасности, которая усиливается обманчивым ощущением безопасности.

Ex i на основе ограничения энергии делает любую электрическую цепь практически неспособной к воспламенению огнеопасной смеси даже в короткозамкнутом или разомкнутом состоянии под напряжением. Это значительно упрощает и ускоряет техническое обслуживание, снижая опасность ошибок обслуживающего персонала.

Особенности Ex i позволяют иметь единственную безопасную особую зону внутри шкафа с размещенными БИС, где должно быть обеспечено надежное разделение ИБЦ и неискробезопасных электроцепей. Естественно, что значительно удобнее контролировать ограниченное место в пределах

шкафа, установленного, например, в диспетчерской, нежели обширную внешнюю зону размещения аппаратуры. Поэтому неудивительно, что на европейских рынках взрывобезопасных технологий Ex i используется в 90% применений контрольно-измерительного оборудования.

## БИС И РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Как уже было отмечено, электроцепи могут быть защищены БИС или развязывающими устройствами. БИС защищают оборудование при условии законченности конструкции и низкого сопротивления подключения к специально организованной системе заземления (изопотенциальное заземление). Эффективность их использования также зависит от надежности изоляции искробезопасной электрической цепи от земли и обеспечения заземления цепи только в одной точке. Выполнение этих условий со временем или в процессе эксплуатации может нарушаться и по-



Рис. 2. Запрещенный вариант обслуживания БИС или развязывающего устройства, включенного в схему

этому должно периодически контролироваться.

Контроль электрических параметров цепей заземления требует их размыкания или приводит к шунтированию (например при использовании измерительных приборов) и аннулированию защитных качеств барьера, поэтому такой контроль не может выполняться в условиях цепи, находящейся под напряжением. Такие условия и ограничения проведения технического обслуживания сходны с Ex d, но гораздо менее строгие.

В некоторых случаях следует учитывать, что правила заземления, опреде-

ляемые применением БИС, в измерительных цепях могут конфликтовать с условием наличия основной опорной точки заземления в распределенных системах управления. Так как для БИС необходима только изопотенциальная система заземления, любые противоречащие требования должны разрешаться другими средствами или за счет других критериев.

Развязывающие устройства обеспечивают превосходную систему защиты, в гораздо меньшей степени подверженную влиянию качества и текущего состояния монтажа (отсутствуют требования к присоединению заземления или изоляции от земли для обеспечения безопасности). По этой причине не требуется осуществлять периодический контроль цепей заземления. Допускается осуществление технического обслуживания под напряжением в контролируемых цепях, что значительно сокращает время обслуживания и не требует соблюдения особых мер безопасности.

Изоляция входных и выходных цепей снимает конфликт с требованиями к заземлению в распределенных системах управления и обеспечивает высокий уровень устойчивости к воздействию помех общего вида и кондуктивных помех с надёжной защитой объекта управления от аварийных импульсных напряжений.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

### Ex d

Любая оболочка, применяемая для Ex d в местах монтажа оборудования, содержит в себе детали, которые в нормальных условиях или при аварийных режимах создают искрение или нагреваются до высокой температуры, что может привести к внутренним взрывам. Конструктивная прочность оболочек препятствует распространению этих взрывов.

Во время проведения технического обслуживания оборудования внутри кожуха Ex d электроэнергия должна быть отключена до вскрытия кожуха и не может быть включена до тех пор, пока кожух вновь не будет закрыт.

Это требование безопасности обуславливает большое время и большие затраты на проведение технического обслуживания. Если оборудование размещено в оболочках среднего или большого размера, время и затраты существенно возрастают.

В крупногабаритных оболочках для крепления тяжелых плоских фланцевых крышек используется значительное количество болтов (иногда до 32 штук), чтобы обеспечить механическую прочность. Каждый раз, когда необходимо открывать и закрывать оболочку, приходится выполнять трудоемкие операции по монтажу и демонтажу тяжелой крышки. Обращаться с крышкой следует с осторожностью, чтобы избежать повреждений и сохранить сложный профиль этой детали из мягкого литого алюминия. Эта длительная процедура, а также необходимость проверки кабелепроводов и оболочек на предмет коррозии и механического коробления и пазования на фланцевых или резьбовых поверхностях определяют более высокую стоимость технического обслуживания Ex d.

#### **Ex e**

Ex e также не дает возможности производить техническое обслуживание под напряжением, но лампы и моторы проверять гораздо проще, а оболочки в значительной степени проще открывать и закрывать, следовательно, стоимость технического обслуживания является средней.

#### **Ex i**

Электрооборудование с видом взрывозащиты ИБЦ не требует особенного содержания и технического ухода. Один раз в год следует проверять барьеры, чтобы удостовериться в надежности соединений и системы заземления (значение сопротивления заземляющих устройств не должно превышать 1 Ом), а также в отсутствии влаги и грязи.

Ex i допускает проведение технического обслуживания под напряжением, что означает обслуживание оборудования, приведенного в действие, и наличие открытых оболочек. Это значительно сокращает трудоемкость и стоимость самого обслуживания, а также надзора и диагностики, однако требует строгого соблюдения ряда правил.

Ни в коем случае нельзя проверять барьеры омметрами или какими-либо другими измерительными приборами при включенных в схему барьерах (рис. 2). При этом происходит шунтирование барьера, и схема перестает быть электробезопасной.

Для проверки плавкого предохранителя необходимо выключить БИС из схемы и измерить его сквозное сопротивление. Если омметр фиксирует бесконечно большое сопротивление, плавкая вставка перегорела. Предохранитель, как правило, размыкается из-за аварии в цепи, поэтому перед установкой нового барьера необходимо проверить всю цепь. После определения причины перенапряжения и её устранения БИС заменяется в определенной последовательности. Процедура предписывает отключить электропроводку от БИС в следующем порядке: прежде всего отключаются проводники от зажимов из взрывобезопасной зоны, затем — от зажимов из взрывоопасной зоны, а последними отключаются заземляющие проводники. Оголенные проводники защищаются изолирующей лентой, заменяется барьер, а потом восстанавливается электропроводка в обратной последовательности. Всегда первым монтируется

заземление, а отключается оно в последнюю очередь.

Соблюдение этих правил позволяет избежать многих несчастных случаев, которые, к сожалению, происходят во время проведения технического обслуживания или надзора.

Главными преимуществами искробезопасной электрической цепи являются экономия средств при установке оборудования, более надежная эксплуатация и более удобное техническое обслуживание. В сфере оснащения предприятий контрольно-измерительным оборудованием совокупность данных преимуществ приводит к доминированию средств именно этого вида взрывозащиты. ●

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; Под. ред. А.С. Ключева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 464 с.
2. Жданкин В.К. Некоторые вопросы обеспечения взрывобезопасности оборудования // Современные технологии автоматизации. - 1998. - № 2. - С. 98 - 106.
3. Жданкин В.К. Вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» // Современные технологии автоматизации. - 1999. - № 2. - С. 72 - 83.

**Жданкин В.К. – сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
117313, Москва, а/я 81  
Телефон: (095) 234-0636  
Факс: (095) 234-0640  
E-mail: root@prosoft.ru**