

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

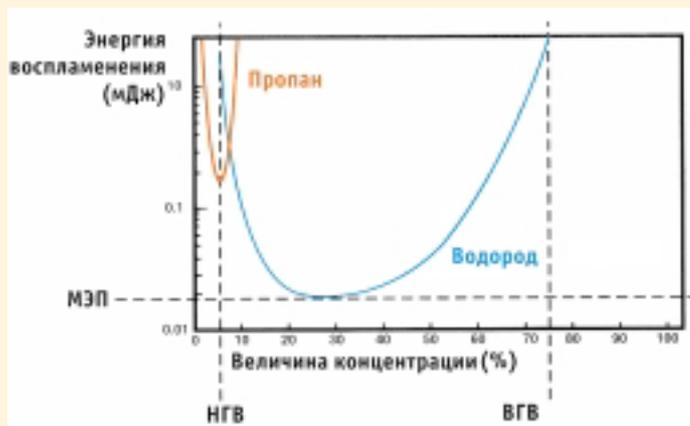


Рис. 1. Характеристики воспламенения для водорода и пропана

(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	Оксид этилена Этилен	Изопропанилацетилен			
IIС	Водород			Сероуглерод		

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 легко воспламеняющихся веществ, таких как газы или пары;

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

Class III — опасные из-за наличия легко воспламеняющихся 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 приоткрывается к участку Division 1.

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

Class I (газы или пары)

Опасные зоны Class I подразделяются на следующие четыре группы, зависящие от вида присутствующих легко воспламеняющихся 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, оксид этилена, оксид 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.

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
Зерновая пыль		Class II, Group G	поджигаемые

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 повреждения, 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. Коррозийная 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.

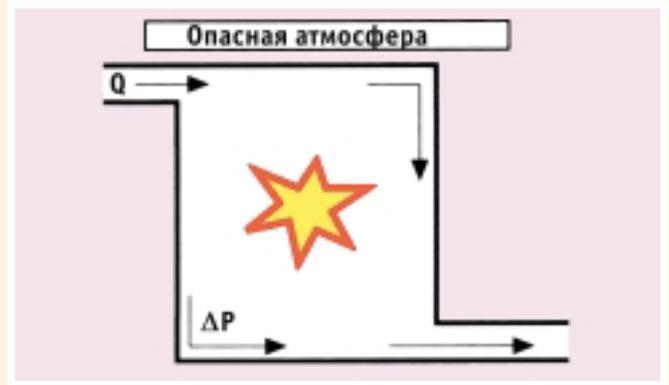


Рис. 4. Схема оболочки, находящейся под повышенным давлением

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).

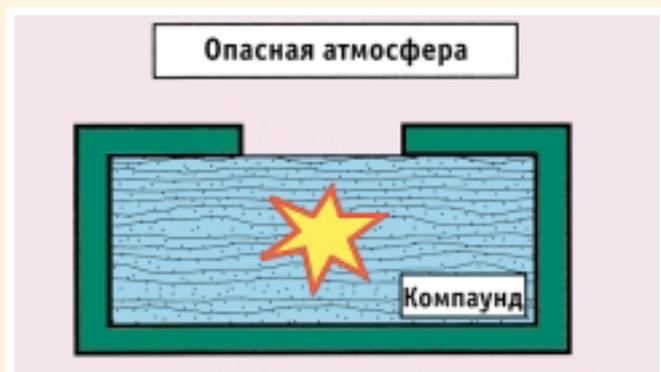


Рис. 5. Метод защиты герметизацией

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 неподвижно-го 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. ●