МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60079-10-1— 2013

ВЗРЫВООПАСНЫЕ СРЕДЫ

Часть 10-1

Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды

(prIEC 60079-10-1, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 Подготовлен Автономной некоммерческой национальной организацией «Ex-стандарт» (АННО «Ex-стандарт») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) (ТК 403)

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 18 октября 2013 г. № 60-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Молдова	MD	Молдова-Стандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Агентство «Узгосстандарт»
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1722-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60079-10-1—2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г.

5 Настоящий стандарт идентичен проекту второго издания международного стандарта pr IEC 60079-10-1 Explosive atmospheres — Part 10-1: Classification of areas — Explosive gas atmospheres (Взрывоопасные среды — Часть 10-1: Классификация зон — Взрывоопасные газовые среды)

Перевод с английского языка (en).

Степень соответствия — идентичная (IDT).

Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2014

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения ... 1
2 Нормативные ссылки ... 2
3 Термины и определения ... 2
4 Общие положения ... 4
4.1 Принципы безопасности ... 4
4.2 Цели классификации зон ... 5
4.3 Компетентность персонала ... 6
5 Метод классификации зон ... 6
5.1 Общие положения ... 6
5.2 Классификация с помощью расчета источников утечки ... 6
5.3 Использование наглядных примеров и правил ... 6
5.4 Упрощенные методы ... 7
5.5 Сочетание оценок на основе расчета точечных источников утечки и примеров ... 7
5.6 Сочетание методов оценки источников утечки и упрощенных методов ... 7
6 Специальные методы оценки ... 8
6.1 Общая информация ... 8
6.2 Источники утечки ... 8
6.3 Классы зон ... 9
6.4 Размеры взрывоопасной зоны ... 9
7 Документация ... 12
7.1 Общие положения ... 12
7.2 Чертежи, перечни технических характеристик и таблицы ... 12
Приложение А (справочное) Рекомендуемые форматы для оформления документации ... 14
Приложение В (справочное) Примеры источников и интенсивности утечки ... 17
Приложение С (справочное) Вентиляция и рассеивание ... 24
Приложение D (справочное) Примеры классификации взрывоопасных зон ... 40
Приложение Е (справочное) Схема классификации опасных зон вкладка
Приложение F (справочное) Горючий туман (аэрозоль) ... 49
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам ... 51
Библиография ... 52

Введение

Настоящий стандарт подготовлен на основе применения полного аутентичного текста проекта второго издания международного стандарта IEC 60079-10-1 «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды», включенного в международную систему сертификации IECEx и европейскую систему сертификации на основе директивы 94/9 ЕС; его требования полностью отвечают потребностям стран СНГ. Приложения G и H находятся на стадии разработки и не включены в текст настоящего стандарта.

Установленные в стандарте требования обеспечивают вместе со стандартами по видам взрывозащиты безопасность применения электрооборудования на опасных производственных объектах.

Настоящий стандарт может быть использован для нормативного обеспечения обязательной сертификации и испытаний.

Настоящий стандарт по сравнению с предыдущим изданием включает в себя следующие технические изменения:

- изменение структуры разделов 5 и 6 для установления возможных методов классификации взрывоопасных зон и объяснения специальных факторов оценки;
- изменение структуры приложений, в том числе:
- корректировка расчетов скорости газовыделения (приложение B);
- исключение конкретных примеров классификации взрывоопасных зон;
- полностью измененный текст приложения по оценке вентиляции с новыми расчетами (приложение C);
- ссылка на приемлемые промышленные правила, в которых приведены специальные примеры классификации взрывоопасных зон (приложение D).

Предисловие

Настоящий стандарт устанавливает основные критерии оценки рисков воспламенения и содержит руководство по расчетным параметрам и параметрам управления, которые могут использоваться для уменьшения таких рисков. В зонах, где горючие газы и пары могут присутствовать в опасных количествах и концентрациях, должны быть приняты защитные меры для уменьшения риска взрывов.

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

ВЗРЫВООПАСНЫЕ СРЕДЫ

Часть 10-1

Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды

Explosive atmospheres. Part 10-1. Classification of areas. Explosive gas atmospheres

Дата введения —2015—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает классификацию взрывоопасных зон, в которых могут образоваться взрывоопасные смеси горючих газов или паров с воздухом (примечания 1, 2 и 3), предназначенную для получения исходных данных, необходимых при использовании электрооборудования и устройстве электроустановок в таких зонах.

Стандарт распространяется на зоны, в которых существует возможность воспламенения смеси горючих газов или паров с воздухом при нормальных атмосферных условиях (примечание 4), но не распространяется на:

a) шахты, опасные по рудничному газу;

b) производство и обработку взрывчатых веществ;

c) зоны, где существует возможность воспламенения из-за присутствия в воздухе горючей пыли или волокон (IEC 241-10/60079-10-2);

d) внезапные отказы или редкие неисправности, которые выходят за рамки нарушений, рассматриваемых в настоящем стандарте (см. 3.30 и 3.31);

e) помещения, используемые в медицинских целях;

f) жилые помещения.

Настоящий стандарт не учитывает последствия аварий.

Определения терминов приведены вместе с основными принципами и методиками классификации взрывоопасных зон.

Рекомендации по определению протяженности взрывоопасных зон для конкретных отраслей промышленности или применений должны устанавливаться национальными или отраслевыми нормативными документами.

Примечания

1 Горючий туман (аэрозоль) может образовываться или присутствовать одновременно с горючими парами. Жидкости, которые в соответствии с настоящим стандартом не рассматриваются как опасные (жидкости с высокой температурой вспышки), высвобождаясь под давлением, могут образовывать горючий туман. В таких случаях строгое применение классификации взрывоопасных зон для газов и паров не подходит для выбора оборудования.

Информация о горючих газах приведена в приложении F.

2 Применение стандарта IEC 60069-14 при выборе оборудования и установок для зон, в которых существует опасность воздействия горючего тумана, не требуется.

3 Настоящий стандарт рассматривает зону как трехмерное пространство.

4 Атмосферные условия допускают возможность изменения давления и температуры выше и ниже эталонного уровня 101,3 кПа (1013 мбар) и 20 °С (293 К) в случаях, когда эти изменения оказывают незначительное влияние на характеристики взрывоопасности горючих газов и паров.

5 На любой технологической установке помимо источников воспламенения, связанных с электрооборудованием, могут существовать различные источники воспламенения другой природы. В таких случаях должны быть также предусмотрены меры обеспечения безопасности, которые могут быть основаны на методах, предлагаемых в настоящем стандарте.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

Приведенные ниже стандарты являются обязательными для применения настоящего стандарта. Для стандартов с датой опубликования применяют только указанные издания. В тех случаях, когда дата опубликования не указана, применяется последнее издание приведенного стандарта (включая любые поправки).

IEC 60050-426 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 426: Equipment for explosive atmospheres (Международный электротехнический словарь (МЭС). Глава 426. Оборудование для взрывоопасных сред)

IEC 60079-0 Explosive atmospheres — Part 0: Equipment — General requirements (Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования)

IEC 60079-20-1 Explosive atmospheres — Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification — Test methods and data (Взрывоопасные среды. Часть 20-1. Характеристики веществ для классификации газа и пара. Методы испытаний и данные)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины и определения по IEC 60079-0 , а также следующие термины с соответствующими определениями:

Примечание — Дополнительные термины и определения, относящиеся к взрывоопасным средам, приведены в IEC 60050-426.

3.1 **взрывоопасная среда** (explosive atmosphere): Среда, состоящая из смеси с воздухом, при атмосферных условиях, горючих веществ в виде газа, пара, пыли, волокон или летучих частиц, в которой после воспламенения происходит самоподдерживающееся распространение пламени.

[IEC 60079-0]

3.2 **взрывоопасная газовая среда** (explosive gas atmosphere): Среда, состоящая из смеси с воздухом, при атмосферных условиях, горючих веществ в виде газа, пара или аэрозоля, в которой после воспламенения происходит самоподдерживающееся распространение пламени.

[IEC 60079-0]

Примечания

1 Смесь, концентрация которой превышает верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), не является взрывоопасной газовой смесью, но может стать таковой. В ряде случаев рекомендуется рассматривать ее как взрывоопасную, в частности, при классификации зон.

2 Некоторые газы взрывоопасны при концентрации 100 % (например, ацетилен, C_2H_2; винилацетилен, C_4H_4; пары пропилнитрата, $CH_3(CH_2)_2NO_3$; пары изопропилнитрата, $(CH_3)_2CH\ ONO_2$; пары этиленэфира, $(CH_2)_2\ O$; гидразин, пары N_2H_4).

3.3 **взрывоопасная зона** (hazardous area) **(для взрывоопасной газовой среды)**: Часть замкнутого или открытого пространства, в котором присутствует или может образоваться взрывоопасная газовая смесь в объеме, требующем специальных мер защиты при конструировании, изготовлении и эксплуатации оборудования.

3.4 **взрывобезопасная зона** (non-hazardous area) **(для взрывоопасной газовой среды)**: Часть замкнутого или открытого пространства, в котором отсутствует взрывоопасная среда в объеме, требующем специальных мер защиты при конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудования.

3.5 **классы взрывоопасных зон** (zones): Взрывоопасные зоны подразделяются на классы в зависимости от частоты и длительности присутствия в них взрывоопасной газовой среды, как указано ниже.

3.6 **зона класса 0** (zone 0): Зона, в которой взрывоопасная газовая среда присутствует постоянно или в течение длительных периодов времени или часто.

Примечание — Оба термина — «в течение длительного периода времени» и «часто» используются, чтобы показать высокую вероятность присутствия потенциально взрывоопасной среды в зоне, поэтому нет необходимости давать количественное определение этих терминов.

3.7 **зона класса 1** (zone 1): Зона, в которой существует вероятность периодического или случайного присутствия взрывоопасной газовой среды в нормальных условиях эксплуатации.

3.8 **зона класса 2** (zone 2): Зона, в которой вероятность образования взрывоопасной газовой среды в нормальных условиях эксплуатации маловероятна, а если она возникает, то существует непродолжительное время.

[IEC 60050-426]

Примечание — Частоту возникновения и длительность присутствия взрывоопасной газовой среды допускается определять по правилам (нормам) для соответствующих отраслей промышленности или применений.

3.9 **источник утечки** (source of release): Элемент технологического оборудования, из которого горючий газ, пар, туман или жидкость могут высвободиться в атмосферу в объеме, достаточном для образования взрывоопасной газовой среды

[IEC 60050-426]

3.10 **степень утечки** (grades of release): Существуют три основные степени утечки, перечисленные ниже в порядке убывания частоты и вероятности присутствия взрывоопасной газовой среды:

a) постоянная утечка;

b) первой степени;

c) второй степени.

Источник утечки может характеризоваться любой степенью утечки или их сочетанием.

3.11 **постоянная (непрерывная) утечка** (continuous grade of release): Утечка, которая существует постоянно, происходит часто или существует длительное время.

3.12 **утечка первой степени** (primary grade of release): Утечка, появление которой носит периодический или случайный характер при нормальном режиме работы технологического оборудования.

3.13 **утечка второй степени** (secondary grade of release): Утечка, которая отсутствует при нормальном режиме работы технологического оборудования, а если она возникает, то редко и кратковременно.

3.14 **интенсивность (скорость) утечки** (release rate): Количество горючего вещества или пара, высвобождающееся в единицу времени из источника утечки.

3.15 **нормальный режим работы** (normal operation): Режим работы оборудования, при котором его характеристики находятся в пределах значений, указанных изготовителем в технической документации.

Примечания

1 Незначительная утечка горючего вещества должна рассматриваться как нормальный режим. Например, утечку из уплотнений, находящихся в контакте с горючим веществом внутри оборудования, рассматривают как незначительную.

2 Аварии (например, повреждение уплотнений насоса, прокладок фланцев или случайный выброс горючего вещества), требующие срочной остановки или ремонта оборудования, не рассматривают как нормальный режим.

3 Нормальный режим работы включает в себя пусковые условия и условия выключения.

3.16 **вентиляция** (ventilation): Перемещение воздуха и его замещение свежим воздухом под действием ветра или с помощью искусственных средств (например, приточных или вытяжных вентиляторов).

3.17 **нижний концентрационный предел распространения пламени, НКПР** (lower explosive limit, LEL): Концентрация горючего газа или пара в воздухе, ниже которой взрывоопасная газовая среда не образуется.

[IEC 60050-426]

3.18 **верхний концентрационный предел распространения пламени, ВКПР** (upper explosive limit, UEL): Концентрация горючего газа или пара в воздухе, выше которой взрывоопасная газовая среда не образуется.

[IEC 60050-426]

3.19 **относительная плотность газа или пара** (relative density of a gas or a vapour): Отношение плотности газа или пара к плотности воздуха при одинаковых значениях давления и температуры (плотность воздуха равна 1).

3.20 **горючий материал (вещество)** [flammable material (flammable substance)]: Материал, способный самовозгораться или образовывать горючий газ, пар или аэрозоль.

3.21 **горючая жидкость** (flammable liquid): Жидкость, способная образовывать горючие пары в прогнозируемых условиях использования.

Примечания

1 Примером прогнозируемых условий использования может служить ситуация, в которой горючая жидкость применяется при температурах, близких к точке воспламенения или превышающих ее.

2 Данное определение используется для классификации опасных зон и может отличаться от определений горючей жидкости, применяемых в других целях, например, в правилах классификации горючих жидкостей при транспортировке.

3.22 **горючий газ или пар** (flammable gas or vapour): Газ или пар, который в смеси с воздухом в определенной пропорции образует взрывоопасную газовую среду.

3.23 **горючий аэрозоль** (flammable mist): Мелкие капли горючей жидкости, рассеянные в воздухе и образующие взрывоопасную смесь.

3.24 **температура вспышки** (flashpoint): Наименьшая температура жидкости, при которой в определенных стандартизованных условиях над ее поверхностью образуется смесь паров с воздухом, способная воспламеняться.

3.25 **точка кипения** (boiling point): Температура жидкости, кипящей при давлении окружающей атмосферы 101,3 кПа (1013 мбар).

Примечание — Для смесей жидкостей за начальную точку кипения принимают наименьшее значение точки кипения одной из жидкостей в представленной смеси, определенную при стандартной лабораторной дистилляции без фракционирования.

3.26 **давление насыщенного пара** (vapour pressure): Давление, при котором твердое вещество или жидкость находится в состоянии равновесия с собственными парами. Это значение зависит от вещества и температуры.

3.27 **температура самовоспламенения взрывоопасной газовой среды** (ignition temperature of an explosive gas atmosphere): Наименьшая температура нагретой поверхности, которая в заданных условиях (в соответствии с IEC 60079-4 [1]) воспламеняет горючие вещества в виде газа или пара в смеси с воздухом.

[IEC 60079-0]

3.28 **размер (протяженность) зоны** (extent of zone): Расстояние в любом направлении от источника утечки до точки, где газовоздушная смесь разбавляется воздухом до концентрации меньше нижнего концентрационного предела распространения пламени.

3.29 **сжиженный горючий газ** (liquified flammable gas): Горючее вещество, которое хранят или транспортируют как жидкость и которое при температуре окружающей среды и атмосферном давлении представляет собой горючий газ.

3.30 **полный отказ** (catastrophic failure): Ситуация, не учитываемая должным образом и приводящая к значительной утечке горючего материала.

Примечания

1 В настоящем стандарте полный отказ означает, например, крупные аварии, такие как разрушение химического реактора или крупномасштабный отказ оборудования или трубопровода, такой как полное разрушение фланца или уплотнения.

2 В классификации зон учитываются только относительно ограниченные утечки или количества веществ применительно к нормальным условиям эксплуатации или прогнозируемым отказам.

3.31 **Редкая неисправность** (rare malfunction): Тип неисправности, возникающий только в редких случаях.

Примечание — В настоящем стандарте к редким неисправностям относится отказ обособленных и автономных автоматических или ручных устройств управления технологическим процессом, который может запустить цепочку событий, способных привести к значительной утечке горючих веществ.

4 Общие положения

4.1 Принципы безопасности

Технологическое оборудование, связанное с переработкой или хранением горючих материалов, следует проектировать, эксплуатировать и обслуживать таким образом, чтобы утечки горючих веществ, и, следовательно, размеры взрывоопасной зоны в нормальном режиме работы и при авариях были минимальными по частоте, длительности и количеству высвобождаемого горючего вещества.

На ранних этапах разработки проекта технологического оборудования необходимо провести обследование тех частей технологического оборудования и систем, которые могут стать источниками утечки горючего вещества, и рассмотреть возможность изменения их конструкции, чтобы снизить до минимума вероятность и частоту таких утечек, а также количество и интенсивность выделения горючего вещества.

Это необходимо учитывать при определении класса зоны.

При обслуживании технологического оборудования в условиях, отличных от нормального режима работы, например, во время пуска в эксплуатацию или техобслуживания, размеры взрывоопасной зоны могут отличаться от установленных в соответствии с проведенной классификацией. В таких случаях безопасность должна быть обеспечена использованием специальных средств защиты и оборудования.

В ситуациях, когда может образоваться взрывоопасная газовая среда, необходимо принять следующие меры обеспечения безопасности:

a) устранить возможность возникновения взрывоопасной газовой среды вокруг источника воспламенения; или

b) устранить источник воспламенения.

В случаях когда невозможно обеспечить указанные меры безопасности, средства защиты, технологическое оборудование, системы и способ проведения технологического процесса должны быть такими, чтобы вероятность одновременного наличия a) взрывоопасной газовой среды и b) источника воспламенения была ниже допустимого уровня.

Необходимый уровень безопасности может быть обеспечен применением как одной из перечисленных мер, если это признано эффективным, так и их сочетанием.

4.2 Цели классификации зон

Классификация зон — это метод анализа окружающей среды, в которой может присутствовать взрывоопасная газовая среда, проводимый для выбора и установки электрооборудования, эксплуатация которого в присутствии данной смеси должна быть безопасной. Классификацию проводят с учетом характеристик воспламенения газа или пара, таких как энергия воспламенения (категория взрывоопасной смеси, которая определяет группу оборудования) и температура воспламенения (температурный класс).

На практике очень трудно гарантировать эксплуатацию промышленных объектов, связанных с использованием горючих материалов, таким образом, чтобы в воздухе отсутствовали горючие газы и в электрооборудовании не возникали источники воспламенения. Поэтому при наличии взрывоопасной газовой среды следует использовать электрооборудование, конструкция которого снижает до минимума вероятность возникновения источника воспламенения. И напротив, если вероятность возникновения взрывоопасной газовой среды мала, то требования к уровню взрывозащиты конструкции электрооборудования могут быть менее жесткими.

После выполнения классификации зон проводят оценку риска, чтобы оценить потребность в применении оборудования с более высоким или более низким по сравнению с обычно необходимым уровнем защиты в соответствии с последствиями воспламенения взрывоопасной среды. Требования к уровню защиты оборудования записывают соответствующим образом в документах и на чертежах классификации зон для правильного выбора оборудования.

Очень редко простым обследованием установки или ее конструкции можно установить, какие части установки относятся к одному из трех классов взрывоопасных зон (классу 0, 1 или 2). При классификации взрывоопасных зон необходимо проводить детальный анализ возможных условий возникновения взрывоопасной газовой среды.

Предварительно на первом этапе классификации следует оценить вероятность возникновения взрывоопасной газовой среды, исходя из определения зон классов 0, 1 и 2. Только после определения совокупности значений — возможной частоты и длительности утечки (следовательно, и ее степени), скорости истечения и концентрации горючего вещества, скорости истечения, надежности вентиляции и других факторов, влияющих на классификацию и/или размер зоны, можно установить возможность возникновения взрывоопасной газовой среды.

Такой подход требует подробного анализа каждого элемента технологического оборудования, содержащего горючий материал и, следовательно, способного стать источником утечки горючих веществ.

Следует стремиться к тому, чтобы число и размеры зон классов 0 или 1 были минимальными. Это может быть обеспечено выбором конструкции технологического оборудования и условиями его эксплуатации. Необходимо обеспечить, чтобы агрегаты и установки в основном относились к зоне класса 2 и не были взрывоопасными. Если утечка горючего вещества неизбежна, необходимо использовать такое технологическое оборудование, которое является источником утечек второй степени, а если и это невозможно, т.е. когда неизбежны утечки первой степени или они постоянные (непрерывные), то их число и интенсивность должны быть минимальными. При классификации зон перечисленные принципы имеют главное значение. Для снижения уровня взрывоопасности зоны конструкция, условия эксплуатации и размещение технологического оборудования должны быть такими, чтобы даже при авариях утечка горючего вещества в атмосферу была минимальной.

После установления класса зоны оборудования и оформления соответствующих документов не допускается замена оборудования или изменение хода ведения технологического процесса. Это возможно только с согласия уполномоченного лица (организации), отвечающего за классификацию зон. Несанкци-

онированные действия в этой области могут привести к изменению уровня взрывоопасности зоны. Необходимо обеспечить, чтобы все оборудование, определяющее класс зоны, прошедшее техобслуживание, было тщательно проверено во время и после монтажа для гарантии сохранения им целостности первоначальной конструкции, влияющей на безопасность, перед началом дальнейшей эксплуатации.

4.3 Компетентность персонала

Классификация зон должна проводиться специалистами, знающими свойства горючих материалов, технологический процесс и оборудование, совместно с инженерами по безопасности, электрическому и механическому оборудованию и другим квалифицированным техническим персоналом.

5 Метод классификации зон

5.1 Общие положения

В следующих подразделах содержатся рекомендации по методу классификации зон, в которых может присутствовать взрывоопасная газовая среда. Пример построения алгоритма для классификации взрывоопасных зон приведен в приложении Е (см. вкладку).

Классификация взрывоопасных зон должна быть проведена до пуска установки, когда уже имеются в наличии и утверждены исходный технологический процесс, принципиальные схемы электротехнических устройств и общий план территории. Результаты первоначальной классификации должны пересматриваться в течение периода эксплуатации установки.

Всегда необходимо учитывать тип, число и местонахождение различных потенциальных точек выделения газа, чтобы точно определять класс зоны и ее границы при осуществлении общей оценки. Контроль функциональной безопасности может снизить возможность возникновения источника выделения взрывоопасной газовой смеси и/или выделяемый объем. Поэтому контроль функциональной безопасности можно учитывать при классификации взрывоопасных зон.

5.2 Классификация с помощью расчета источников утечки

Классификация может проводиться с помощью расчета источников утечки с учетом данных статистической и численной оценки для данного фактора.

Формулы для определения скорости утечки приведены в приложении В. Это общепринятые формулы, которые могут использоваться для расчета скорости утечки в заданных условиях.

Методика расчета для оценки вентиляции приведена в приложении С. Эти расчеты не являются универсально применимыми и могут оказаться недостоверными в некоторых ситуациях.

Другие виды расчетов, например, вычислительная гидродинамика, могут использоваться для оценки в некоторых ситуациях.

Во всех случаях необходимо подтвердить, что метод вычисления и используемые инструменты соответствуют ситуации, или применять их с необходимыми мерами предосторожности. Лица, проводящие оценку, также должны понимать ограничения или требования к используемым инструментам для достижения необходимых результатов.

5.3 Использование наглядных примеров и правил

Допускается применение отраслевых правил и национальных стандартов, содержащих руководство или примеры для данного применения и соответствующих общим принципам настоящего стандарта.

В приложении D определены некоторые существенные правила, применяемые в отрасли, в которых содержится дополнительная информация, а также примеры. В целом, примеры основаны на предположении, что проводится надлежащее техническое обслуживание установки и оборудования.

Эти примеры могут быть неприменимы в ситуациях, когда:

a) утечка очень велика или очень мала (в таких случаях могут потребоваться вычисления рассеивания);

b) конструкция данной установки не соответствует национальным или отраслевым стандартам; или

c) применяют вентиляцию, инертные газы, пароизоляцию или другие методы для уменьшения степени или уровня вероятности опасности или риска для определенной опасной зоны.

К факторам, способным повлиять на интенсивность утечки и, следовательно, размер зон, поясненным на примерах, относят следующие:

a) Источник утечки: открытая поверхность жидкости

В большинстве случаев температура жидкости будет ниже значения температуры кипения, и количество выделяющегося пара будет, в основном, зависеть от следующих факторов:

- температура жидкости;
- значения давления паров жидкости при температуре вблизи ее поверхности;
- размеры поверхности испарения;
- вентиляция и движение воздуха;

b) Источник утечки: фактически мгновенное испарение жидкости (например, из струи или при распылении).

Поскольку выпускаемая жидкость испаряется практически мгновенно, интенсивность выделения пара равна расходу жидкости, который зависит от следующих факторов:

- давление жидкости,
- геометрия источника утечки.

Если жидкость не испаряется мгновенно, то необходимо рассматривать более сложную ситуацию, поскольку капли, струи жидкости и скопления жидкости могут создать отдельные источники утечки;

c) Источник утечки: утечка газовой смеси.

На интенсивность утечки газа влияют следующие факторы:

- значение давления внутри оборудования, содержащего газ;
- молекулярная масса;
- геометрия источника утечки;
- концентрация горючего газа в высвобождаемой смеси.

Примеры источников и интенсивности утечки приведены в приложении В.

5.4 Упрощенные методы

Если из-за отсутствия подробных данных или опыта эксплуатации невозможно или нежелательно проводить оценку расстояний от индивидуальных источников утечки, допускается использовать упрощенный метод.

Оценка с помощью упрощенного метода должна охватывать всю установку, при этом должна применяться достаточно консервативная широкая классификация, допускающая наличие потенциальных источников утечки без уточнения деталей. При этом достаточно большие секции установки относят к зонам с общей высокой (зоны класса 0 или 1) или низкой (зона класса 2) степенью опасности. Оптимальный метод оценки — метод с использованием набора критериев, основанных на опыте в отрасли и подходящих для конкретной установки.

В упрощенном методе следует применять более широкие границы зон, что приводит к следующим результатам:

a) зоны класса 1 большого размера;

b) зоны класса 2 большого размера, включающие в себя зоны класса 1 большого размера.

Зоны большего размера характерны при использовании упрощенных методов, что связано с комплексным подходом и необходимостью применять более консервативный метод классификации зон, когда есть сомнения в отношении присутствия опасности. С помощью этого подхода может быть определен избыточный относительный риск при оценке безопасности, что может привести к увеличению стоимости установки за счет дополнительного числа необходимого взрывозащищенного оборудования.

Для менее консервативного и более точного определения границ зон в зависимости от конкретного случая можно использовать ссылку на наглядные примеры или более подробную оценку точечных источников утечки.

5.5 Сочетание оценок на основе расчета точечных источников утечки и примеров

Допускается использовать сочетание оценок, основанных на расчетах точечных источников утечки (5.2) и примерах (5.3), в зависимости от конкретного случая.

5.6 Сочетание методов оценки источников утечки и упрощенных методов

Использование различных методов может быть уместно для классификации зон установки на разных этапах ее проектирования или на разных участках установки.

Например, на начальной стадии проектирования допускается использовать упрощенный метод, чтобы наметить расстояния между оборудованием, планировку и границы установки. Упрощенный метод мо-

жет быть единственным приемлемым методом из-за недостатка подробных данных об источниках утечки. По мере продвижения проектирования установки и появления подробных данных о потенциальных источниках утечки необходимо актуализировать классификацию, используя более подробные методы оценки.

В ряде случаев упрощенный метод может применяться к группе подобного оборудования на участках установки (например, секциям трубопроводов с фланцами, таким как стеллажи для труб), при этом более подробная оценка будет применяться для более значительных потенциальных источников утечки (например, таких как предохранительные клапаны, вентиляционные отверстия, газовые компрессоры, насосы и подобное оборудование).

Во многих случаях для установления класса зоны некоторых элементов больших установок применяют примеры классификации, содержащиеся в соответствующих национальных или отраслевых правилах.

Примечания

1 При использовании примеров из конкретных правил или стандартов необходимо исключить взаимозамену этих документов, если в них приведены одинаковые примеры, например, если какой-либо стандарт выбран в качестве базового для данной рабочей площадки или данного применения, не следует без достаточного обоснования приводить примеры из другого стандарта, чтобы уменьшить размер зон.

2 При использовании примеров из отраслевых стандартов/правил или упрощенных методов не разрешается делать ссылку на стандарт IEC 60069-10-1 в соответствии с требованиями раздела 5.

6 Специальные методы оценки

6.1 Общая информация

В следующих разделах содержится вводная информация по вопросам, которые необходимо рассматривать при классификации потенциально взрывоопасных зон.

6.2 Источники утечки

Для установления класса взрывоопасной зоны следует определить источники и степени утечки.

Так как взрывоопасная газовая среда может возникнуть только при смешивании горючего газа или пара с воздухом, необходимо установить наличие любого из горючих материалов в рассматриваемой зоне. В первую очередь должно быть установлено, находится ли горючий газ или пар (также, горючие жидкости и твердые вещества, которые могут образовать газ или пар) внутри технологического оборудования, которое может быть полностью закрытым или не закрытым. Должно быть выявлено технологическое оборудование, содержащее внутри взрывоопасную газовую среду, и определены источники утечки горючих веществ, в результате которых взрывоопасная среда может образоваться снаружи.

Каждый элемент технологического оборудования (например, резервуар, насос, трубопровод, химический реактор и др.) следует рассматривать как возможный источник утечки горючего вещества. Если данный элемент оборудования не содержит горючее вещество, он не станет источником образования взрывоопасной зоны вокруг себя. То же относится к элементам, содержащим горючие вещества, утечка которых в атмосферу исключена (например, трубопровод с высоким качеством сварки не рассматривают как источник утечки).

Если тот или иной элемент оборудования является источником утечки горючего материала в атмосферу, прежде всего необходимо определить степень или степени утечки согласно приведенным определениям на основании частоты и длительности утечки. Вскрытие отдельных частей технологического оборудования, заключенных в корпус (например, во время замены фильтра или периодического заполнения), следует также рассматривать как утечку. По предложенной методике каждую утечку горючего вещества классифицируют как постоянную (непрерывную), первой или второй степени.

Установив степень или степени утечки, необходимо определить ее интенсивность и другие факторы, влияющие на класс и размеры зоны.

Если общее количество горючего вещества, утечка которого возможна, незначительно, например, при лабораторном применении, несмотря на возможность существования потенциальной опасности, данную методику классификации зон не применяют. Способ классификации взрывоопасных зон для таких условий должен базироваться на оценке конкретной ситуации.

При классификации зон для технологического оборудования, в котором горючее вещество сжигается, например, топок для обогрева, печей, бойлеров, газовых турбин и т.д., необходимо учитывать цикл продувки, условия пуска и остановки.

При необходимости конструкция некоторых замкнутых систем может предотвратить и ограничить до пренебрежимо малого риск утечки горючих материалов (см. IEC 61285 [2]). При классификации опасных зон для этого оборудования или установок может потребоваться специальная оценка с целью проверки полного соответствия установки применимым стандартам по проектированию и эксплуатации. При проверке соответствия необходимо учитывать конструкцию, монтаж, эксплуатацию, техническое обслуживание и процессы контроля. Результаты оценки должны быть должным образом оформлены с учетом, если потребуется, национальных или отраслевых правил.

Туман (аэрозоль), образующийся при утечке жидкости, может быть горючим, даже если температура жидкости ниже точки вспышки. Поэтому необходимо предотвращать образование облаков тумана (см. приложение F).

Примечание — Хотя аэрозоли являются источником опасности, критерии оценки, применяемые в настоящем стандарте для газов и паров, не могут применяться для аэрозолей.

6.3 Классы зон

Вероятность присутствия взрывоопасной газовой среды в зоне, а следовательно, и ее класс зависят в основном от степени утечки и уровня вентиляции. Выделяют следующие классы взрывоопасных зон: зона класса 0, зона класса 1, зона класса 2. Пространства не классифицированные как взрывоопасные, относятся к невзрывоопасным зонам.

Примечания

1 Постоянная (непрерывная) утечка образует, как правило, зону класса 0, утечка первой степени — зону класса 1 и второй степени — зону класса 2 (см. приложение С).

2 Если зоны, создаваемые смежными источниками утечки, совмещаются и при этом относятся к разным классам, область совмещения относят к классу с бóльшим уровнем взрывоопасности. Если совмещающиеся зоны относятся к одному классу, область совмещения относят к этому классу.

6.4 Размеры взрывоопасной зоны

Размеры взрывоопасной зоны зависят от предполагаемого или рассчитанного расстояния, на котором существует взрывоопасная газовая среда до того, как она будет разбавлена в воздухе до концентрации ниже нижнего концентрационного предела распространения пламени. Область распространения газа или пара до его разбавления до концентрации ниже нижнего концентрационного предела распространения пламени должна оцениваться при участии эксперта.

Всегда необходимо учитывать возможность того, что газ, который тяжелее воздуха, может присутствовать на участках ниже уровня земли (например, в колодцах и котлованах), и что газ, который легче воздуха, может присутствовать в помещениях на высоте (например, на чердаках).

Если источник утечки находится за пределами зоны или в смежной зоне, проникновение значительного количества горючего газа или пара в зону можно предупредить соответствующими средствами, например:

a) механическими препятствиями;

b) поддержанием достаточного повышенного давления в данной зоне по сравнению со смежными взрывоопасными зонами для предотвращения проникновения взрывоопасной газовой среды;

c) продувкой зоны достаточным потоком свежего воздуха, чтобы воздух выходил из всех отверстий, в которые может войти горючий газ или пар.

Размеры взрывоопасной зоны в основном зависят от приведенных ниже химических и физических характеристик, одна часть которых относится к горючим материалам, а другая — к технологическим процессам. При оценке влияния каждого из приведенных ниже факторов на размеры взрывоопасной зоны исходят из того, что характеристики остальных остаются неизменными.

6.4.1 Интенсивность утечки газа или пара

От интенсивности утечки зависят размеры взрывоопасной зоны. Интенсивность утечки определяется следующими факторами:

a) геометрией источника утечки.

Под геометрией понимают физические характеристики источника утечки, например открытую поверхность жидкости, неплотное фланцевое соединение и др. (приложения А и В);

b) скоростью истечения горючего вещества.

Для конкретного источника утечки интенсивность утечки возрастает с увеличением скорости истечения горючего вещества. Если горючее вещество находится внутри технологического оборудования, то

скорость истечения зависит от давления рабочего процесса и геометрии источника утечки. Размер образующегося при истечении облака горючего газа или пара определяется скоростью истечения и скоростью рассеивания. Газ и пар, поступающие из источника утечки с высокой скоростью, образуют конусообразную струю, которая, увлекая за собой воздух, обладает способностью «саморазбавления». При этом распространение образующейся газовой среды практически не зависит от воздушного потока. Если же утечка происходит с низкой скоростью или скорость утечки уменьшается из-за какого-либо препятствия, то струя рассеивается и ее «разбавление» и распространение газовой смеси будут зависеть от воздушного потока;

c) концентрацией горючего вещества.

Интенсивность утечки возрастает с увеличением концентрации горючего пара или газа в высвобождаемой смеси;

d) испаряемостью горючей жидкости.

Испаряемость зависит в основном от значений давления насыщенного пара и теплоты парообразования горючей жидкости. Если значение давления насыщенного пара неизвестно, то следует руководствоваться значениями температуры кипения и вспышки.

Взрывоопасная газовая среда не может существовать, если температура вспышки превышает максимальную температуру горючей жидкости. Чем ниже температура вспышки, тем больше размеры взрывоопасной зоны. Если горючее вещество поступает в воздух таким образом, что образуется туман (например, путем распыления), то образование взрывоопасной среды возможно при температуре, которая ниже температуры вспышки.

Примечания

1 Температура вспышки горючих жидкостей, особенно если это смеси, не является точной физической величиной.

2 Существуют два способа измерения температуры вспышки: в закрытом и открытом тигле. Для данной жидкости температура вспышки, измеренная в закрытом тигле, будет ниже, чем температура вспышки, измеренная в открытом тигле. Для закрытого оборудования и для получения более стабильных результатов следует использовать температуру вспышки, измеренную в закрытом тигле. При использовании горючей жидкости в открытом оборудовании допускается применять температуру вспышки, измеренную в открытом тигле.

3 Некоторые жидкости (например, некоторые галогензамещенные углеводороды) не характеризуются таким параметром, как температура вспышки, хотя они и могут образовывать взрывоопасную газовую среду. В этих случаях следует сравнивать установившееся значение температуры жидкости, соответствующее концентрации насыщенного пара при нижнем концентрационном пределе распространения пламени, с максимальной температурой жидкости;

e) температурой жидкости.

Давление насыщенного пара возрастает с ростом температуры, что приводит к увеличению интенсивности утечки.

Примечание — Температура жидкости после утечки может возрасти, например, за счет нагретой поверхности оборудования, в контакте с которым она находится, или высокой окружающей температуры.

6.4.2 Нижний концентрационный предел распространения пламени, НКПР

Для данного объема утечки горючего вещества — чем ниже НКПР, тем больше размеры взрывоопасной зоны.

Примечание — Опыт показывает, что утечка аммиака с НКПР 15% от объема быстро рассеивается на открытом воздухе, поэтому размеры взрывоопасной зоны в этом случае могут считаться незначительными.

6.4.3 Вентиляция

Газ или пар, выделяющийся в атмосферу, может быть разбавлен за счет дисперсии или диффузии в воздухе до такой степени, что его концентрация может стать ниже НКПР. Вентиляция, т.е. перемещение воздуха вокруг источника утечки, способствует дисперсии горючего газа. Наличие вентиляции и ее уровень оказывают влияние на возможность образования взрывоопасной газовой среды и тем самым влияют на класс зоны.

При увеличении уровня вентиляции размеры взрывоопасной зоны уменьшаются. Объекты, препятствующие вентиляции, могут увеличить размеры зоны. С другой стороны, такие препятствия, как перемычки, стенки или потолки, могут ограничивать размеры взрывоопасной зоны.

Примечания

1 Будка компрессора с большим вентиляционным отверстием в крыше и с достаточно открытыми боковинами для свободного прохождения воздуха через все части сооружения считается хорошо вентилируемой и должна рассматриваться как открытая зона (то есть, со средним уровнем и хорошей готовностью вентиляции).

2 Усиление движения воздуха также может повысить интенсивность утечки пара из-за увеличения испарения с открытых поверхностей жидкости.

6.4.3.1 Основные типы вентиляции

Вентиляция может осуществляться путем перемещения воздуха за счет ветра и/или перепада температуры или за счет искусственных средств, таких как вентиляторы. Различают два основных вида вентиляции:

a) естественную;

b) искусственную (общую или местную).

6.4.3.2 Производительность вентиляции

Наиболее важным фактором является производительность вентиляции, т.е. кратность воздухообмена, соответствующая типу, расположению источника утечки и интенсивности утечки горючего материала. Чем выше уровень вентиляции с учетом возможной интенсивности утечки, тем меньше размеры зон (взрывоопасных зон). При достаточно высокой производительности вентиляции для данной интенсивности утечки размер взрывоопасной зоны может быть уменьшен до пренебрежимо малого (взрывобезопасная зона).

Примеры и практические рекомендации по выбору уровня вентиляции приведены в приложении С.

6.4.3.3 Готовность вентиляции

Готовность вентиляции оказывает влияние на присутствие или возможность образования взрывоопасной газовой среды и, следовательно, на класс зоны. По мере снижения готовности или надежности вентиляции повышается вероятность отсутствия рассеивания горючих сред. Классификация зон становится более строгой, т.е. зона класса 2 может быть изменена на зону класса 1 или даже 0. Руководство по определению готовности вентиляции приведено в приложении С.

Примечание — Сочетание таких характеристик, как уровень вентиляции и ее готовность, позволяет разработать количественный метод оценки класса зоны (приложение С).

6.4.4 Относительная плотность газа или пара при утечке

Если газ или пар значительно легче воздуха, то он будет подниматься вверх. Если же он значительно тяжелее воздуха, то он будет скапливаться на уровне земли. Протяженность зоны в горизонтальном направлении на уровне земли будет возрастать с увеличением значения относительной плотности газа или пара, а протяженность в вертикальном направлении над источником будет возрастать с уменьшением значения относительной плотности.

Примечания

1 Газы или пары со значением относительной плотности менее 0,8 должны рассматриваться как более легкие, чем воздух, если же относительная плотность более 1,2, то предполагается, что они тяжелее воздуха. Если относительная плотность газа или пара находится в диапазоне между этими значениями, то следует рассматривать оба эти условия, а газ может перемещаться вверх или вниз вместе с воздушным потоком.

2 Медленная утечка газов или паров легче воздуха, которые поднимаются вверх, быстро рассеивается; присутствие кровли, однако, обязательно расширит зону распространения газа под ней. Если утечка происходит с большой скоростью свободной струей, действие струи, несмотря на то, что она захватывает воздух, разбавляющий газ или пар, может увеличить размеры зоны, в которой концентрация газа/газовой смеси остается на уровне выше их НКПР. При утечке газов легче воздуха под высоким давлением газ может охладиться и, таким образом, его относительная плотность увеличится. Выделившийся газ может сначала вести себя как более тяжелый, чем воздух, до восстановления нормальной плотности.

3 Медленная утечка газов или паров тяжелее воздуха будет происходить в нисходящем направлении, и газы могут распространяться на большие расстояния по земле, прежде чем произойдет их безопасное рассеивание за счет атмосферной диффузии. Поэтому особое внимание следует уделять топографии любой рассматриваемой площадки, а также окружающих зон, чтобы определить, будут ли газы или пары собираться во впадинах или стекать по наклонным плоскостям на более низкие уровни. Если утечка происходит с большой скоростью свободной струей, струя, захватывая воздух, может снизить концентрацию газовоздушной смеси до уровня ниже ее НКПР на значительно более коротком расстоянии, чем в случае медленной утечки.

4 Необходимо соблюдать осторожность при классификации зон, содержащих криогенные горючие газы (например, сжиженный природный газ). Выделяющиеся пары могут быть тяжелее воздуха при низких температурах и становятся легче воздуха при температуре, приближающейся к температуре окружающей среды.

6.4.5 Дополнительные параметры, которые необходимо учитывать

a) Климатические условия.

Скорость рассеивания газа или пара в атмосфере увеличивается с увеличением скорости ветра, но для начала турбулентной диффузии необходима минимальная скорость 2 — 3 м/с, ниже этого значения происходит перемещение газа или пара слоем, и расстояние рассеяния до безопасного уровня значительно увеличивается. На участках технологической установки с большими резервуарами или

конструкциями достаточная турбулентность может существовать даже при скорости менее 2 м/с, что способствует рассеиванию и диффузии газа или пара.

Примечания

1 В приложении С (см. С.4) скорость ветра 0,5 м/с рассматривается как достаточная для определения нормы разбавления утечки горючего газа вентиляцией вне помещения. Допускается использовать это более низкое значение скорости для данной цели, чтобы сохранить консервативный подход, хотя общепризнано, что из-за перемещения слоем результаты расчетов могут оказаться некорректными.

2 На практике тенденция к перемещению слоем не учитывается при классификации зон, т. к. условия для возникновения этой тенденции создаются редко и существуют кратковременно. Однако, если возможны длительные периоды времени с низкой скоростью ветра в конкретных условиях, тогда при определении размеров зоны необходимо учитывать, что для обеспечения рассеяния требуется дополнительное расстояние.

b) Топография.

Плотность некоторых жидкостей более низкая, чем плотность воды, и они плохо смешиваются с водой: такие жидкости могут растекаться по поверхности воды (на земле, в дренажной системе предприятия или в траншее для трубопровода) и затем может произойти их воспламенение в месте, удаленном от места утечки, что может создать опасность на больших участках технологических установок.

Планировка предприятия должна по возможности способствовать быстрому рассеиванию взрывоопасной газовой среды. Участки с ограниченной вентиляцией (например, колодцы или траншеи), которые в другом случае могли бы быть отнесены к зоне класса 2, должны рассматриваться, как относящиеся к зоне класса 1; с другой стороны, оценка широких неглубоких понижений, используемых для насосных систем или труб, не требует такого строгого подхода.

7 Документация

7.1 Общие положения

Различные этапы проведения классификации зон должны быть отражены в документах. В них содержаться отчеты и ссылки на всю используемую информацию. Примерами используемых методов и информации могут быть:

a) рекомендации, содержащиеся в соответствующих правилах (нормах) и стандартах;

b) характеристики дисперсии газа и пара и соответствующие расчеты;

c) результаты сравнительного анализа характеристик вентиляторов и параметров утечки горючих веществ для оценки эффективности вентиляции.

Должен быть составлен перечень характеристик, имеющих отношение к классификации зон, всех горючих веществ, используемых в технологическом процессе, который должен обязательно включать в себя значения молекулярной массы, температуры вспышки, температуры кипения, температуры самовоспламенения, давления и плотности пара, концентрационных пределов распространения пламени, группу взрывоопасных смесей и температурный класс (IEC 60079-20-1). Пример такого перечня приведен в таблице А1.

Результаты работы по классификации зон и все последующие изменения должны быть занесены в протокол. Пример такой записи приведен в таблице А2.

Документ по классификации зон должен быть актуализируемым документом, в котором должен быть указан метод, использованный для классификации зон. При внесении изменений в установку в этот документ вносят поправки. Если используется иной метод классификации зон, кроме метода расчета источников утечки, то ссылаться на настоящий стандарт не допускается. При использовании метода расчета источников утечки в сочетании с другими методами в соответствии с разделом 5 классификация, выполненная с применением других методов, должна быть четко обозначена как исключение из настоящего стандарта.

7.2 Чертежи, перечни технических характеристик и таблицы

Документы по классификации зоны могут быть составлены в печатном виде или в виде электронного документа и должны содержать чертежи и проекции или пространственные модели, на которых показаны класс и размеры зоны и указаны температура самовоспламенения, температурный класс и категория газовой смеси, определяющая группу и подгруппу оборудования.

Если на размеры зоны оказывает влияние топография поверхности, это обстоятельство также должно быть отражено в документации.

Дополнительно документы должны содержать следующую информацию:

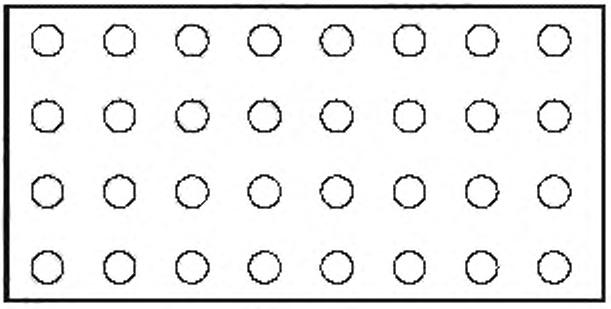
a) размещение и описание источников утечки. Для крупных и сложных установок или технологических участков рекомендуется пронумеровать источники утечки, что облегчит работу с перечнями технологических данных по классификации и с чертежами;

b) расположение проемов в строениях (например, двери, окна, входные и выходные отверстия системы вентиляции).

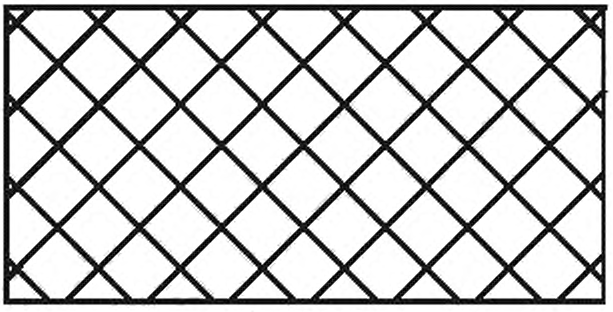
При классификации зон предпочтение следует отдавать обозначениям, указанным на рисунке А.1. Объяснение условных обозначений должно быть дано на каждом чертеже. Может потребоваться использование дополнительных символов, если оборудование, относящееся к различным группам/подгруппам и/или температурным классам, используется в зоне одного класса (например, в зоне класса 2 IIC T1 или зоне класса 2 IIA T3).

Приложение А
(справочное)

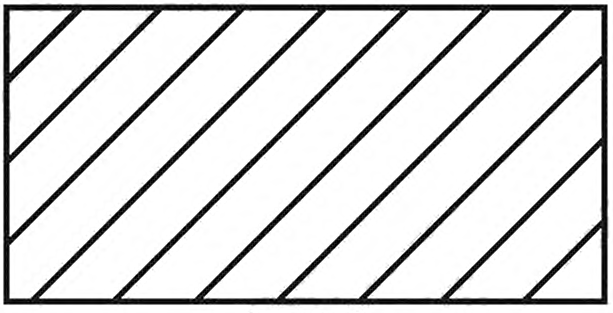
Рекомендуемые форматы для оформления документации



Зона класса 0



Зона класса 1



Зона класса 2

Рисунок А.1 — Предпочтительные обозначения при классификации взрывоопасных зон

Таблица А.1 — Исходные данные и показатели по классификации взрывоопасных зон — Часть I: Перечень и характеристики горючих веществ

Установка.								Чертеж.							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Горючий материал								Испаряемость[a]			НКПР		Ex-свойства		
№	Наименование	Химический состав	Молекулярная масса (кг/моль)	Плотность газа по отношению к плотности воздуха	Показатель политропы адиабатического расширения, γ	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения,°С	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Давление пара при 20 °С, кПа	% об	кг/м³	Категория взрывоопасной смеси (группа оборудования)	Температурный класс	Другая информация и замечания

[a] Обычно значение давления пара приводится, но при его отсутствии можно воспользоваться значением температуры кипения [(см.6.4.1 перечисление d)].

Таблица А.2 — Исходные данные и показатели по классификации взрывоопасных зон — Часть II: Перечень источников утечек горючих веществ

Установка: Зона:														Чертеж/ Схема
1	2	3	4	5	6		7	8			9	10	11	12	13
№	Источник утечки			Горючий материал				Вентиляция			Взрывоопасная зона				
	Описание	Расположение	Степень утечки[a]	Номер горючего вещества в перечне[b]	Температура, °С	Давление, кПа	Состояние[c]	Тип[d]	Уровень[e]	Готовность[e]	Зона класса	Размеры зоны, м		Ссылка[f]	Другая информация и/или замечания
												по вертикали	по горизонтали		

[a] Н — непрерывная (постоянная); В — вторая степень; П — первая степень.
[b] См. часть I.
[c] Г — газ; Ж — жидкость; СГ — сжиженный газ; Т — твердое вещество.
[d] Е — естественная; И — искусственная.
[e] См. приложение С IEC 60079-10-1.
[f] Привести ссылку на правила, если они используются, или ссылку на расчеты.

Приложение В
(справочное)

Примеры источников и интенсивности утечки

В.1 Технологическая установка

Примеры, приводимые ниже, не обязательно предназначены для прямого использования и могут быть изменены в зависимости от особенностей технологического оборудования и условий работы. Некоторые виды оборудования могут иметь несколько степеней утечки.

В.1.1 Источники постоянной утечки:

a) поверхность горючей жидкости в закрытом резервуаре с постоянно открытым в атмосферу вентиляционным каналом;

b) поверхность горючей жидкости в резервуаре, который открыт непрерывно или в течение длительных периодов времени.

В.1.2 Источники утечки первой степени:

a) уплотнения насосов, компрессоров или клапанов с утечкой горючего вещества в нормальном режиме работы;

b) устройства отделения воды в резервуарах с горючей жидкостью, из которых возможна утечка горючего вещества в атмосферу в процессе выпуска воды в нормальном режиме работы;

c) устройства отбора проб, через которые возможна утечка горючего вещества в нормальном режиме работы;

d) клапаны сброса, вентиляционные каналы и другие отверстия, через которые возможна утечка горючего вещества в нормальном режиме работы.

В.1.3 Источники утечки второй степени:

a) уплотнения насосов, компрессоров и клапанов, через которые утечка горючего вещества в нормальном режиме работы не возможна;

b) фланцы, соединения и трубные фитинги, через которые утечка горючего вещества в нормальном режиме работы не возможна;

c) устройства отбора проб, через которые утечка горючего вещества в нормальном режиме работы не возможна;

d) клапаны сброса, вентиляционные каналы и другие отверстия, через которые утечка горючего вещества в нормальном режиме работы не возможна.

В.2 Проемы

Примеры, приводимые ниже, не предназначены для обязательного применения, так как источники утечки могут изменяться в зависимости от конкретной ситуации.

В.2.1 Проемы как возможные источники утечки

Проемы между зонами следует рассматривать как возможные источники утечки.

Степень утечки зависит от:

- класса прилегающей зоны;
- частоты и длительности нахождения проемов в открытом состоянии;
- эффективности средств, используемых для уплотнений или соединений;
- разности значений давлений между зонами;
- площади проема.

В.2.2 Классификация проемов

Проемы подразделяют на типы A, B, C, D в соответствии со следующими признаками.

Проемы типа A, отличающиеся по характеристикам от проемов типов B, C или D.

Примеры:

- открытые отверстия для доступа или подвода сетей, например, вентиляционные короба или трубы, проходящие через стены, потолки и полы;
- часто открываемые проемы;
- стационарные вентиляционные отверстия в помещениях, строениях и проемы, аналогичные проемам типов B, C и D, которые открываются часто или остаются открытыми длительное время.

Проемы типа B — нормально закрытые (например, автоматически закрывающиеся) и редко открываемые проемы, хорошо уплотненные в закрытом состоянии.

Проемы типа С — нормально закрытые (например, автоматически закрывающиеся) и редко открываемые проемы, хорошо уплотненные с помощью соответствующих приспособлений (например, прокладок) по всему периметру, или сочетание последовательно расположенных двух проемов типа В с независимыми приспособлениями для автоматического закрытия.

Проемы типа D — нормально закрытые, соответствующие проему типа С, открываемые только с помощью специальных инструментов или в аварийных ситуациях. Это хорошо уплотненные проемы, например, сетевые проходы (вентиляционные короба, трубы) или сочетание последовательно расположенных одного проема типа С, прилегающего к опасной зоне, и одного проема типа В.

Таблица В.1 — Влияние типа проема на степень утечки

Класс зоны, из которой возможна утечка горючего газа или пара через проем	Тип проема	Степень утечки из проемов, рассматриваемых в качестве источников утечки
0	A B C D	Постоянная (Постоянная)/Первая Вторая Вторая /Утечка отсутствует
1	A B C D	Первая (Первая)/Вторая (Вторая)/Утечка отсутствует Утечка отсутствует
2	A B C D	Вторая (Вторая)/Утечка отсутствует Утечка отсутствует Утечка отсутствует
Примечание — Указанные в скобках степени утечки должны устанавливаться с учетом частоты открытия проемов.		

В.3 Интенсивность утечки

Следующие примеры показывают примерные значения интенсивности утечки горючих жидкостей и газов. Более точная оценка интенсивности утечки возможна с учетом характеристик любых проемов и вязкости жидкости или газа. Эти факторы обычно учитываются в коэффициенте расхода ($C_d \leq 1$).

Поскольку в приведенных примерах расчетов эти факторы не учитываются ($C_d = 1$), при их применении получаются завышенные значения.

Примечание — Если в расчетах используется коэффициент расхода C_d, его значение выбирают согласно руководству для данного применения.

Формулы и методики оценки, представленные в данном приложении, не предназначены для использования на всех установках и применимы только в определенных условиях, указанных в каждом разделе.

Применение формул позволяет получить ориентировочные результаты, что связано с ограничениями, возникающими при попытке описать сложные явления с помощью упрощенных математических моделей. Допускается также применять другие методы расчета.

Примечание — При использовании методов расчета необходимо давать ссылку на авторитетный источник. Стандарт TNO Yellow book [3] содержит подробные описания методов расчета и может быть использован для ссылки.

В.3.1 Интенсивность утечки жидкости

Интенсивность утечки жидкости оценивается по формуле:

$$\frac{dG}{dt} = C_d S \sqrt{2\rho\Delta p}, \qquad (B.1)$$

где $\frac{dG}{dt}$ — интенсивность утечки жидкости (масса в единицу времени, кг/с);

C_d — коэффициент расхода;

S — площадь поперечного сечения проема, через который происходит утечка жидкости, м^2;

ρ — плотность жидкости (масса на единицу объема, кг/м^3);

Δp — разность давлений в проеме, через который происходит утечка (Па).

Далее необходимо определить интенсивность испарения высвободившейся жидкости. Утечка жидкости может происходить в разных формах. Природа утечки и количество образующегося пара или газа также зависят от многих факторов. Примеры утечки включают в себя:

a) двухфазную утечку (т.е. комбинированную утечку жидкости и газа). Жидкости, такие как сжиженный нефтяной газ, могут находиться в газообразной и в жидкой фазе непосредственно перед отверстием, через которое происходит утечка, или после выхода из него вследствие разных термодинамических или механических взаимодействий. Это может привести к образованию капель и скоплений жидкости, в результате чего последует кипение жидкости, которое будет способствовать формированию паровоздушного облака;

b) однофазную утечку невоспламеняющейся жидкости. Для жидкостей с высокими точками кипения (выше температуры среды) значительную часть утечки обычно составляет жидкий компонент. Эта утечка может происходить в форме мелких капель, образующихся под действием струи. Выделение пара будет зависеть от образования струи и испарения из точки утечки, от мелких капель или любого последующего скопления жидкости.

Из-за разнообразия условий и переменных в настоящем стандарте не приводится методика оценки условий образования пара. При использовании стандарта следует тщательно выбирать подходящую модель, учитывая все ограничения этой модели и/или применяя надлежащим образом консервативный подход с любыми результатами.

B.3.1.1 Утечка из скопления жидкости

Для оценки испарения из скопления жидкости, температура которой значительно ниже точки кипения, может применяться соответствующая формула.

B.3.2 Интенсивность утечки газа

Приведенные ниже формулы позволяют получить приемлемые оценки интенсивности утечки газов. Если плотность газа приближается к плотности сжиженного газа, то утечку следует рассматривать как двухфазную (B.3.1).

Интенсивность утечки газа из резервуара можно оценить по адиабатическому расширению идеального газа, если плотность газа под давлением значительно меньше плотности сжиженного газа.

Скорость высвобождаемого газа регулируется заслонкой (скорость звука), если давление внутри резервуара с газом более p_c (критическое давление):

$$p_c = p_0 \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\gamma/(\gamma-1)},$$

где p_0 — давление снаружи резервуара с газом;

γ — показатель политропы адиабатического расширения или отношение удельных теплоемкостей.

Для идеального газа допускается использовать уравнение

$$\gamma = \frac{Mc_p}{Mc_p - R},$$

где c_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении (Дж кг$^{-1}$ К$^{-1}$);

M — молекулярная масса газа (кг/кмоль);

R — универсальная газовая постоянная (8,3 · 10^3 Дж кмоль$^{-1}$ К$^{-1}$).

B.3.2.1 Интенсивность утечки газа при предельной скорости его истечения

Предельная скорость выделения газа (см. B.3.2) равна скорости звука для данного газа. Это максимальная теоретическая скорость истечения.

Интенсивность утечки газа из контейнера при предельной скорости выделения можно определить с помощью формулы

$$\frac{dG}{dt} = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{RT}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)}}, \qquad (B.2)$$

где $\frac{dG}{dt}$ — интенсивность утечки газа (масса в единицу времени, кг/с);

C_d — коэффициент расхода;

S — площадь поперечного сечения проема, через который происходит утечка газа (площадь поверхности, м^2);

p — давление внутри резервуара (Па);

γ — показатель политропы адиабатического расширения или отношение удельных теплоемкостей;

M — молекулярная масса газа (кг/кмоль);

T — абсолютная температура внутри резервуара (К);

R — универсальная газовая постоянная (8,3 · 10^3 Дж кмоль$^{-1}$ К$^{-1}$).

B.3.2.2 Интенсивность утечки газа при скорости его истечения ниже предельной

Допредельная скорость выделения газа — это скорость его истечения ниже скорости звука для данного газа. Скорость выделения газа из контейнера без ее погашения можно определить с помощью формулы

$$\frac{dG}{dt} = C_d S p \sqrt{\frac{M}{RT} \cdot \frac{2\gamma}{\gamma - 1}\left[1 - \left(\frac{p_0}{p}\right)^{(\gamma - 1)/\gamma}\right]} \left(\frac{p_0}{p}\right)^{1/\gamma}, \qquad (B.3)$$

где $\frac{dG}{dt}$ — интенсивность утечки газа (масса в единицу времени, кг/с);

C_d — коэффициент расхода;

S — площадь поперечного сечения проема, через который происходит утечка газа (площадь поверхности, м^2);

p — давление внутри резервуара (Па);

p_0 — давление снаружи резервуара с газом (Па);

γ — показатель политропы адиабатического расширения или отношение удельных теплоемкостей;

M — молекулярная масса газа (кг/кмоль);

T — абсолютная температура внутри резервуара (К);

R — универсальная газовая постоянная ($8{,}3 \cdot 10^3$ Дж кмоль$^{-1}$ К$^{-1}$).

B.4 Размер отверстия и радиус источника

Наиболее важным фактором, который необходимо оценить в системе, является размер отверстия. Размер отверстия определяет размер горючего облака и в итоге — гипотетический объем V_z.

V_z — это важный параметр, связанный со степенью рассеивания утечки, подробно описанный в приложении С. Для системы газа под давлением параметр V_z равен радиусу отверстия, возведенному в куб. Следовательно, незначительная недооценка размера отверстия может привести к значительному занижению расчетного значения V_z, которого следует избегать. Завышение размера отверстия приведет к завышению значений гипотетического объема V_z, что приемлемо из соображений безопасности (см. приложение С), однако может привести к выделению слишком больших зон. Поэтому оценка размера отверстия должна быть хорошо аргументирована и документально оформлена, включая исходные предположения, на основании которых было принято решение.

Для систем с высоким давлением отверстия малого размера (булавочные) считаются нереальными. Коррозия в трубопроводе обычно приводит к разрыву в точке коррозии, когда внутреннее давление превышает предел текучести материала в точке ослабления.

Руководство по размерам отверстий приведено в таблице B.2. В таблице указаны размеры отверстий для типовых клапанов, при этом признается, что вероятность существования отверстий меньшего размера, чем типовой, больше, чем вероятность существования отверстий большего размера, чем типовой. В некоторых случаях форма и размер отверстий четко определены, например, для вентиляционных отверстий и дыхательных клапанов, через которые газ выходит в относительно прогнозируемых условиях.

Таблица B.2 — Поперечное сечение отверстия и/или радиус источника

Оборудование (a)	Оценка утечки (b)	Площадь поперечного сечения отверстия S (мм^2) (c)	Радиус источника r_0 (мм) (d)
Фланцы с прокладкой из сжатого волокна или подобными прокладками	Типичное значение для систем под давлением до 10 бар. При более высоких значениях давления необходимо принимать соответствующие меры для предотвращения увеличения размера отверстия при утечке	2,5	0,892
	Серьезная неисправность из-за полного разрушения сегмента прокладки между двумя болтовыми отверстиями. Для использования в системах под давлением выше 10 бар	сегмент между двумя болтами × толщина прокладки	Определяют в соответствии с S
Фланцы со спирально-навитой прокладкой или подобными прокладками	Типичное значение, если приняты меры для предотвращения увеличения размера отверстия при утечке	0,25	0,089
	Серьезная неисправность из-за сильного разрушения сегмента прокладки	сегмент × 0,05 мм	Определяют в соответствии с S
Кольцевые прокладки	Типичное значение	0,1	0,178
	Серьезная неисправность из-за сильного разрушения соединения	0,5	0,398

Окончание таблицы В.2

Оборудование (a)	Оценка утечки (b)	Площадь поперечного сечения отверстия S (мм^2) (c)	Радиус источника r_0 (мм) (d)
Клапаны	Типичное значение для любых клапанов с номинальным диаметром до 150 мм	0,25	0,089
	Типичное значение для клапанов, предназначенных для тяжелых режимов работы, и клапанов с номинальным диаметром более 150 мм	2,5	0,892
Предохранительные клапаны	Типичное значение для предохранительных клапанов, приводимых в действие давлением, которые могут сработать при сбое в технологическом процессе	0,1 × площадь отверстия	Определяют в соответствии с S
Центробежные насосы и компрессоры	Значения зазоров и диаметра (l и d) определяют в соответствии с документацией изготовителя оборудования. Коэффициент ослабления k применяют при использовании средств для улучшения уплотнения	$\pi \times l \times d \times k_r$	Не применяется
Поршневые компрессоры	Типичное значение, если приняты меры для предотвращения увеличения размера отверстия при утечке	2,5	0,892
Дренажные отверстия и отверстия для отбора проб	Типичное значение для дренажных отверстий и отверстий для пробоотбора в открытом цикле. Для других элементов (фланцев, клапанов и т.д.) проводят отдельную оценку	0,1 × диаметр трубы	Определяют в соответствии с S
Соединения труб небольшого диаметра	Типичное значение, если приняты меры для предотвращения увеличения размера отверстия при утечке	0,25	0,089

Примечания

1 Все оборудование — Использование значений ниже указанных в таблице (например, определенных при обнаружении и регулировании утечки с применением определенных процедур) должно быть обосновано и подкреплено документацией.

2 Прокладка из сжатого волокна — Прокладки из эластомерного материала со вставками или без них следует рассматривать как прокладки из сжатого волокна.

3 Спирально-навитая прокладка — Гофрированные или плоские металлические прокладки с кожухом или без него следует рассматривать как спирально-навитые прокладки.

4 Предохранительные клапаны — Сбои в технологическом процессе следует отличать от изменений параметров процесса, определяющих работу клапанов. В этих случаях необходимо рассматривать другую степень утечки (например, первую) и возможность проведения более точного анализа для определения массовой интенсивности утечки. Полное открытие клапана из-за серьезных сбоев в технологическом процессе или под воздействием внешних факторов необходимо анализировать в каждом конкретном случае с учетом типа процесса и применяемых мер контроля.

5 Центробежные насосы — При использовании дроссельной втулки коэффициент уменьшения размера отверстия k может составлять до 1/5.

6 Центробежные компрессоры — При использовании плавающих кольцевых уплотнений коэффициент уменьшения размера отверстия k может составлять до 1/6.

7 Поршневые компрессоры — В соответствии с имеющимся опытом размер отверстия при утечках из различных источников утечки обычно находится в диапазоне (1—5) мм^2.

8 Точка пробоотбора — Необходимо рассматривать другие виды утечек, другую степень утечки (например первую) и проведение более точного анализа, чтобы определить массовую интенсивность утечки.

9 Соединения труб небольшого диаметра. В соответствии с имеющимся опытом размер отверстия при утечках из различных источников утечки обычно находится в диапазоне (0,1 ± 1) мм^2. Правильно спроектированные и выполненные резьбовые соединения не должны пропускать утечку в течение срока эксплуатации при регулярном техническом обслуживании.

B.4.1 Радиус источника или псевдоисточника

Утечка из источника с абсолютным давлением p, соответствующим формуле

$$\frac{p}{p_a} \le B\,, \qquad (B.4)$$

где $B = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)}$ приведет к появлению газового потока с дозвуковой скоростью,

p — давление, при котором находится газовая среда, Па;
p_a — атмосферное давление, Па;
γ — отношение удельных теплоемкостей горючего газа.

Значение γ, равное 1,4, дает B = 1,89, которое обычно является достаточным приближенным значением.

Для утечек с **дозвуковой скоростью** ($p/p_a \le B$) радиус источника r_s равен радиусу отверстия r_0, из которого происходит утечка газа. Если форма отверстия не круглая, то значение r_0 такое, что по формуле πr_0^2 получают площадь отверстия.

При утечках со скоростью звука ($p/p_a > B$) ситуация более сложная. В этом случае утечка при погашении скорости должна сбросить давление на участке за пределами отверстия, из которого происходит утечка и за которым возникает изобарическая струя. В зоне снижения давления радиус струи увеличивается от значения радиуса отверстия r_0 до значения псевдорадиуса r_s, которое можно приблизительно вычислить по формуле:

$$r_s = r_0\sqrt{1+K\left(\frac{p}{p_a}-B\right)}\,, \qquad (B.5)$$

где K — постоянная, для которой K = 0,5 является хорошим приближенным значением.

Данная формула показывает, как увеличивается радиус псевдоисточника по мере увеличения давления газа в резервуаре. Это важно, так как r_s показывает масштаб длины, являющейся основой для расчета гипотетического объема V_z (приложение С).

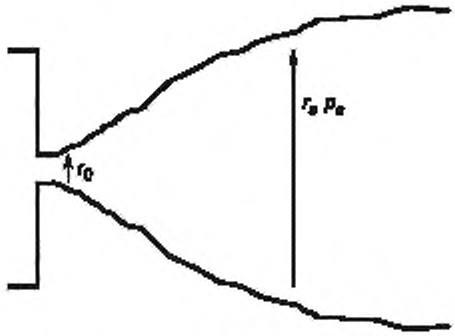


Рисунок B.1 — Участок снижения давления для струи со скоростью звука

B.5 Примеры оценки интенсивности утечки газа

Пример № 1

Резервуар высотой 3 м, наполненный ацетоном. Дыхательный клапан резервуара установлен на значение избыточного давления 0,05 бар. Предполагается, что при неисправности фланец в нижней части резервуара будет пропускать ацетон через отверстие площадью поперечного сечения 1 мм^2.

ρ = 790 кг/м^3 — плотность жидкого ацетона;
$S = 10^{-6}$ м^2 — площадь поперечного сечения отверстия;
Δh = 3 м — разность высоты поверхности жидкого ацетона и отверстия;
g = 9,81 м/с^2 — ускорение свободного падения;
$\Delta p_v = 5 \cdot 10^3$ Па — установленное избыточное давление дыхательного клапана (предполагаемое максимальное избыточное давление в верхней части резервуара).

Максимальная разность давлений в отверстии, через которое происходит утечка:

$$\Delta p = \Delta p_v + \rho g \Delta h = 5 \cdot 10^3 + 790 \cdot 9{,}81 \cdot 3 = 2{,}8 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Интенсивность утечки

$$\left(\frac{dG}{dt}\right)_{max} = S\cdot\sqrt{2\rho\Delta p} = 10^{-6}\cdot\sqrt{2\cdot 790\cdot 2{,}8\cdot 10^{4}} = 6{,}7\cdot 10^{-3}\text{ кг/с.}$$

Пример № 2

Интенсивность утечки газа при погашении скорости его выделения определяется по формуле В.3.2 и В.3.2.1.

Трубопровод с газообразным водородом при температуре + 20 ^{0}С и абсолютным давлением 11 бар. Предполагается, что при неисправности будет происходить утечка газообразного водорода через отверстие площадью поперечного сечения 2,5 мм^2 во фланце.

$p = 11\cdot 10^5$ Па — давление в трубопроводе;

T = 293К — абсолютная температура;

M= 2 кг/кмоль — молекулярная масса водорода;

$S = 2{,}5\cdot 10^{-6}$ м^2 — площадь поперечного сечения отверстия;

γ — показатель политропы адиабатического расширения для водорода.

$$p_c = p_0\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} = 10^5\cdot\left(\frac{1{,}41+1}{2}\right)^{1{,}41/(1{,}41-1)} = 1{,}9\cdot 10^5\text{ Па.}$$

Скорость выделяющегося газа допредельная, так как $p > p_c$.

$$\frac{dG}{dt} = Sp\sqrt{\gamma\frac{M}{RT}}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} = 2{,}5\cdot 10^{-6}\cdot 11\cdot 10^5\sqrt{1{,}41\cdot\frac{2}{8{,}3\,10^3\,293}}\cdot\left(\frac{2}{1{,}41+1}\right)^{(1{,}41+1)/2(1{,}41-1)} = 1{,}7\cdot 10^{-3}\text{ кг/с.}$$

Пример № 3

Интенсивность утечки газа без погашения скорости его выделения по формуле В.3.2 и В.3.2.2

Газгольдер для метана при температуре минус 20 °С. Предохранительный клапан газгольдера установлен на избыточное давление 0,005 бар. При неисправности возможна утечка из газгольдера через отверстие площадью поперечного сечения 10 см^2.

$p = 1{,}005\cdot 10^5$ Па — давление в газгольдере;

$p_0 = 10^5$ Па — атмосферное давление;

T = 253К — абсолютная температура;

M= 16 кг/кмоль — молекулярная масса метана;

$S = 10^{-3}$ м^2 — площадь поперечного сечения отверстия;

γ = 1,32 — показатель политропы адиабатического расширения метана

$$p_c = p_0\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} = 10^5\cdot\left(\frac{1{,}32+1}{2}\right)^{1{,}32/(1{,}32-1)} = 1{,}84\cdot 10^5\text{ Па}$$

Скорость выделения газа допредельная, так как $p < p_c$.

$$\frac{p_0}{p} = 0{,}995$$

$$\frac{dG}{dt} = Sp\sqrt{\frac{M}{RT}\cdot\frac{2\gamma}{\gamma-1}\left[1-\left(\frac{p_0}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]}\left(\frac{p_0}{p}\right)^{1/\gamma} = 10^{-3}\cdot 1{,}005\cdot 10^5\cdot\sqrt{\frac{16}{8{,}3\,10^3\cdot 253}\cdot\frac{2\cdot 1{,}32}{1{,}32-1}\cdot\left[1-0{,}995^{(1{,}32-1)/1{,}32}\right]}\times$$

$$\times 0{,}995^{1/1{,}32} = 2{,}8\cdot 10^{-2}\text{ кг/с.}$$

Приложение С
(справочное)

Вентиляция и рассеивание

С.1 Введение

Целью данного приложения является предоставление руководства по определению типа зоны с помощью оценки уровня вентиляции и рассеивания облаков горючего газа или пара.

Утечка может принимать различные формы в зависимости от многих условий, к которым можно отнести следующие:

- материал утечки: газы, пары или жидкости;
- утечка внутри помещения или снаружи;
- струя со звуковой или дозвуковой скоростью, утечка летучих газов или утечка в результате испарения;
- наличие или отсутствие препятствий;
- плотность газа или пара.

Формулы и методы оценки, представленные в настоящем приложении, применимы только в условиях, указанных в каждом разделе, и, следовательно, не могут применяться ко всем установкам. Применение формул также дает ориентировочные результаты, что связано с ограничениями, возникающими при попытке описать сложные взаимодействия с помощью упрощенных математических моделей. Допускается применение других методов расчета.

Примечание — При использовании методов расчета необходимо давать ссылку на авторитетный источник. В стандарте TNO Yellow book [3] содержатся подробные описания методов расчетов, и он может быть использован для ссылки.

Альтернативные методы анализа с помощью компьютерного моделирования, например, системы математического моделирования задач газовой динамики и теплообмена, могут использоваться для более детальной оценки. Компьютерное моделирование также является наиболее подходящим методом при оценке взаимодействия различных факторов.

Метод расчета или компьютерного моделирования выбирают с учетом конкретных условий. Необходимо знать ограничения для методов расчета или компьютерной программы и корректировать ввод исходных данных или результаты соответственно для получения правильных заключений.

Руководство, приведенное в настоящем приложении, может быть применено при проектировании систем искусственной вентиляции и устройстве систем естественной вентиляции, поскольку они имеют первостепенную важность для обеспечения рассеивания утечки горючих газов и паров в замкнутых пространствах.

Важно делать различие между понятиями «вентиляция» (система, с помощью которой воздух проникает в помещение или замкнутое пространство и покидает его) и «рассеивание» (механизм, с помощью которого облака рассеиваются). Это разные понятия и они оба имеют большое значение.

Для утечек внутри помещений степень опасности зависит от уровня вентиляции, типа возможного источника газа и свойств высвободившегося газа и особенно от соотношения плотность газа /выталкивающая сила газа. В некоторых ситуациях опасность может значительно зависеть от вентиляции; в других — не зависеть вовсе.

Для утечек снаружи понятие вентиляции не применяется в строгом смысле слова, и степень опасности будет зависеть от типа источника утечки, свойств газа и расхода окружающего воздуха. На открытом воздухе присутствия воздушного потока обычно достаточно для обеспечения рассеивания любой взрывоопасной газовой среды, которая может сформироваться на данном участке.

Примечание 1 — Для наружных условий без препятствий оценка вентиляции, как правило, базируется на предполагаемой минимальной скорости ветра 0,5 м/с, который присутствует практически постоянно. В большинстве мест скорость ветра часто превышает 2 м/с, однако в некоторых случаях она может быть ниже 0,5 м/с (например, в непосредственной близости от поверхности земли).

Предлагаемые методы позволяют установить класс зоны с помощью:

- определения минимальной мощности системы вентиляции, которая необходима для предотвращения значительного скопления взрывоопасной газовой среды;
- расчета гипотетического объема V_z, который определяет уровень вентиляции;
- оценки времени рассеивания;
- определения класса зоны по показателям уровня вентиляции, готовности вентиляции и степени утечки по таблице С.1;
- проверки соответствия класса зоны и времени рассеивания.

Примечание 2 — Эти расчеты не предназначены для прямого определения размера опасных зон.

С.2 Естественная вентиляция строений

Этот тип вентиляции осуществляется движением воздуха под воздействием ветра и/или перепада температуры (вентиляция, созданная тягой). Естественная вентиляция может быть эффективной внутри помещений (например, в строениях с проемами в стенах и/или крыше) для разбавления утечки.

Примеры объектов с естественной вентиляцией:

- открытые строения, которые, принимая во внимание относительную плотность присутствующих газов и/или паров, имеют проемы в стенах и/или крыше, размещены и подобраны по размеру таким образом, что вентиляция внутри строения может быть приравнена к вентиляции на открытом воздухе;
- строения, не являющиеся открытыми, но с естественной вентиляцией (обычно меньшей, чем в открытом строении) за счет специальных вентиляционных отверстий.

При устройстве естественной вентиляции в строениях необходимо учесть выталкивающую силу газа или пара и использовать ее таким образом, чтобы она способствовала рассеиванию и разбавлению среды.

Во всех случаях оценку следует проводить для наиболее неблагоприятных условий, например, наиболее неблагоприятных направления и скорости ветра, при закрытых проемах в строениях или наиболее неблагоприятной температуре окружающей среды (при наиболее неблагоприятных условиях для источника утечки газа или пара).

Естественная вентиляция внутри здания может возникать по разным причинам, например, из-за вызванного ветром распределения давления вокруг здания или разности температур, вызвавшей появление подъемного потока внутри строения.

Примечание — Скорость воздухообмена в зданиях может быть измерена с помощью газовых изотопов. Измерения с помощью газовых изотопов необходимо выполнять с применением мер предосторожности, так как выталкивающая сила газового изотопа может отличаться от этого показателя для горючего газа или пара, для которого осуществляется расчет.

Скорость потока при естественной вентиляции может изменяться под воздействием массы и кинетической энергии утечек и из-за изменений в составе воздуха в замкнутом пространстве. Возможное влияние этих факторов на скорость вентиляционных потоков не учитывается в следующих разделах. В приведенных формулах содержатся допущения, подходящие для широкого диапазона условий окружающей среды. Эти формулы позволяют получить приблизительные значения, поэтому должны использоваться только в той сфере, для которой они предназначены, т.е. для оценки естественной вентиляции.

С.2.1 Ветровая вентиляция

Степень движения воздуха внутри строения зависит от размера и расположения проемов относительно направления ветра, а также от формы строения. Вентиляционные потоки могут быть вызваны проникновением воздуха через негерметичные двери и окна или трещины и зазоры в частях строения, даже при отсутствии в стенах и/или на крыше «строительных» отверстий или если эти отверстия закрыты. Приведенные ниже формулы основаны на предположении, что поток воздуха проникает в строение через вентиляционные проемы, а не за счет инфильтрации. Этот принцип также можно применять при классификации взрывоопасных зон.

Вентиляция подразумевает как поступление, так и выход воздуха, и некоторые отверстия будут функционировать в основном как входные, а некоторые — как выходные. Отверстия с наветренной стороны (с той стороны, откуда дует ветер) обычно бывают входными, а отверстия с подветренной стороны (в направлении ветра) и в кровле — выходными. Это означает, что ветровую вентиляцию можно оценить только хорошо зная розу ветров для конкретного места.

Движущая сила ветровой вентиляции — это перепад давлений между подветренной и наветренной сторонами строения.

Перепад давления в здании можно рассчитать по формуле:

$$\Delta p = 0{,}5\Delta C_p\, \rho v^2,$$

где Δp — коэффициент давления здания, Па;
v — скорость ветра на заданной эталонной высоте, м/с.

Тогда воздушный поток, возникающий под воздействием ветра, может быть описан формулой

$$q = C_d A_e \sqrt{\frac{\Delta C_p}{2}}\, v, \qquad (C.1)$$

где q — объемная скорость потока (м^3/с);
A_e — соответствующая полезная площадь отверстий с наветренной и подветренной сторон на той же высоте, м^2, рассчитанная по формуле

$$A_e = \sqrt{\frac{2A_1^2 A_2^2}{A_1^2 + A_2^2}}, \qquad (C.1a)$$

где A_1 — площадь отверстия с наветренной стороны, м^2;
A_2 — площадь отверстия с подветренной стороны, м^2.

Примечания

1 Самым надежным способом измерения коэффициента давления здания является использование системы математического моделирования задач газовой динамики и теплообмена (CFD) или испытания в аэродинамической трубе.

2 Сила и направление ветра подвержены изменениям и обычно не поддаются оценке. В большинстве случаев необходимо учитывать скорость ветра ≤ 0,5 м/с. Ветер следует рассматривать совместно с другими видами вентиляции, чтобы установить, дополняет ли он их или препятствует. Ветер может усиливать вентиляцию, если входные и выходные отверстия, предназначенные для ветровой вентиляции, будут расположены так же, как и для других источников вентиляции, но если эти отверстия будут с противоположной стороны, то влияние ветра будет отрицательным,. Например, ветер в любом направлении будет оказывать положительное действие на вентиляцию, если в крыше есть вентиляционное отверстие, но будет оказывать отрицательное действие, если выходные вентиляционные отверстия расположены с наветренной стороны.

С.2.2 Вентиляция под действием выталкивающей силы

Вентиляция под действием выталкивающей силы — «эффект тяги» — возникает под влиянием перемещения воздуха вследствие разницы температур внутри помещения и снаружи. Движущей силой является разница в плотности воздуха, возникающая из-за перепада температур. Градиент вертикального давления зависит от плотности воздуха и, следовательно, будет отличаться внутри и снаружи, что может привести к перепаду давления.

Если средняя температура внутри строения выше, чем снаружи, плотность воздуха внутри строения будет меньше. Если в замкнутом пространстве проемы расположены на разной высоте, воздух будет проникать через проемы, расположенные ниже, и выходить через проемы, расположенные выше. Расход воздуха будет увеличиваться с увеличением разности температур. Следовательно, вентиляция от эффекта тяги будет более эффективной при более низких значениях температуры наружного воздуха. При более высоких значениях температуры наружного воздуха этот тип вентиляции станет менее эффективным, а если температура наружного воздуха превысит температуру внутри помещения, направление воздушного потока изменится на противоположное.

Температура внутри помещения может быть выше из-за естественных причин, отопления, предусмотренного в помещении, или технологического тепла. Также внутри помещения могут возникать конвективные потоки, которые будут влиять на среднюю температуру помещения.

Если исходить из того, что внутри строения присутствует смешанный воздух, то температуру как снаружи, так и внутри можно принять как постоянную. Перепад давления во входном отверстии может быть описан формулой

$$\Delta p = \frac{p}{R}\left(\frac{1}{T_{out}} - \frac{1}{T_{in}}\right) gH, \qquad (C.2)$$

где Δp — перепад давления в отверстии, Па;
p — давление, Па;
R — газовая постоянная для воздуха,Дж/кг/К;
g — ускорение свободного падения, м/с;
H — расстояние по вертикали между центрами нижнего и верхнего отверстий, м;
T_{in} — температура внутри помещения, К;
T_{out} — температура снаружи, К.

Для постоянных значений температуры внутри помещения и снаружи свойства воздушного потока, вызванного перепадом температуры, могут быть рассчитаны с помощью уравнения, в котором используется закон идеального газа

$$q = C_d A_e \sqrt{\frac{(T_{in} - T_{out})}{T_{in}} gH}, \qquad (C.3)$$

где q — объемный расход, м^3/с;
C_d — коэффициент расхода, который характерен для отверстий и обусловливает турбулентность и вязкость, обычно в диапазоне от 0,5 до 0,75, безразмерный;
A_e — эквивалент полезной площади нижнего отверстия, м^2;

$$A_e = \sqrt{\frac{2A_1^2 A_2^2}{A_1^2 + A_2^2}}, \qquad (C.1a)$$

где A_1 — площадь нижнего отверстия, м^2;
A_2 — площадь верхнего отверстия, м^2.

Для перепада температуры при допущении, что температура в нижнем отверстии внутри строения будет такой же, как температура снаружи, T_{out}, а температура в верхнем отверстии внутри строения равна T_{in}, то объемный расход можно рассчитать по следующей формуле:

$$q = C_d A_e \sqrt{\frac{(T_{in} - T_{out})}{(T_{in} + T_{out})} gH}\ . \qquad (C.4)$$

Примечания

1 Чем больше расстояние по вертикали между центрами нижнего и верхнего отверстий, тем более эффективной будет естественная вентиляция. Наиболее подходящее расположение для входных отверстий — нижняя часть противоположной стены, для выходных отверстий — кровля. Если такое расположение невозможно, то следует устроить входные и выходные отверстия на противоположных стенах, чтобы обеспечить движение воздуха на всей площади.

2 Во многих случаях требуемое количество тепла для поддержания микроклимата в помещениях при низких температурах окружающей среды не обеспечивается при наличии естественной вентиляции, поэтому необходимо либо уменьшать количество вентиляционных отверстий, либо закрывать эти отверстия. Необходимо проявлять осторожность, чтобы не уменьшить число вентиляционных отверстий до такой степени, когда это приведет к нарушению естественной вентиляции, и следовательно, отрицательно скажется на рассеивании взрывоопасной среды. Как правило, все нормально закрываемые проемы, такие как двери, окна, регулируемые оконные решетки/задвижки и т. д., не считают вентиляционными отверстиями.

С.2.3 Сочетание естественной ветровой вентиляции и вентиляции под действием тяги

Как ветровая вентиляция, так и вентиляция под действием тяги могут существовать отдельно, но есть вероятность их одновременного появления. Перепады давления, возникающие из-за тепловой тяги, обычно являются основной движущей силой в безветренный холодный день, тогда как перепады давления, создаваемые ветром, будут основной движущей силой в жаркий ветреный день. Эти силы могут препятствовать друг другу или дополнять друг друга в зависимости от расположения входных и выходных отверстий (для вентиляции за счет тяги) относительно направления ветра (рисунок С.1).

Примечание — При использовании вероятностной оценки необходимо учитывать климат, розу ветров для отдельного расположения и возможные значения температуры внутри помещения.

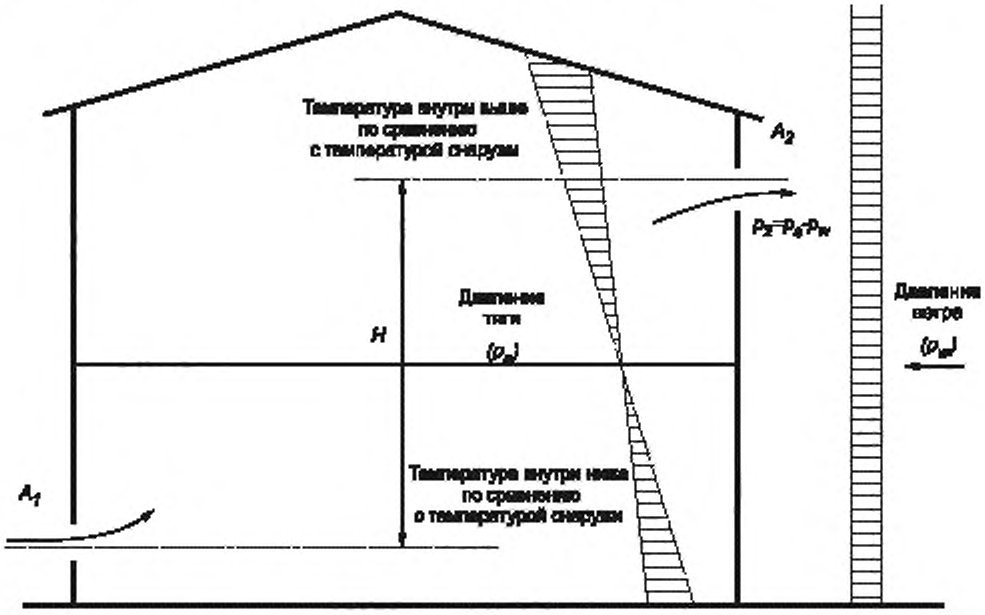


Рисунок С.1 — Пример противодействующих движущих сил вентиляционных потоков

Вентиляционные потоки, вызванные разностью давлений, ветром или разностью температур, также можно рассчитать. Для вентиляционных отверстий большего размера свойства потока можно рассчитать с помощью следующей формулы, в которой используется разность давлений, возникающая под действием ветра, и изменение плотности воздуха, связанное со средней температурой:

$$q = C_d A_e \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \qquad (C.5)$$

где q — объемный расход, $м^3/с$;

C_d — коэффициент расхода, характеризует турбулентность и вязкость и применяется для больших входных или выходных отверстий, выбирается обычно в диапазоне от 0,5 до 0,75, безразмерный;

A_e — эквивалент полезной площади нижнего отверстия, $м^2$;

Δp — перепад давления из-за ветра или влияния температуры,Па;

ρ — плотность воздуха, $кг/м^3$.

С.3 Искусственная вентиляция

С.3.1 Общие принципы

При искусственной вентиляции воздушный поток создается специальными устройствами, например, приточными или вытяжными вентиляторами. Искусственная вентиляция в основном используется в закрытых помещениях, но ее можно также применять на открытом воздухе для компенсации ограничений в естественной вентиляции из-за каких-либо препятствий.

Искусственная вентиляция зоны может быть общей или местной; такая вентиляция различается степенью перемещения и замещения воздуха.

Искусственная вентиляция обеспечивает:

- уменьшение класса и/или размеров взрывоопасной зоны;
- снижение времени присутствия взрывоопасной газовой среды;
- предотвращение образования взрывоопасной газовой среды.

С.3.2 Задачи проектирования

Искусственная вентиляция дает возможность создавать эффективные и надежные системы вентиляции внутри помещений. При устройстве систем искусственной вентиляции для обеспечения взрывозащиты следует выполнять следующие требования:

- должен быть обеспечен контроль эффективности вентиляции;
- должен быть установлен класс зоны, в которую проводится выброс потоков из вентиляторов, и зоны, непосредственно граничащей с ней;
- вентиляционный воздух для вентиляции взрывоопасной зоны должен поступать из взрывобезопасной зоны с учетом влияния всасывания на окружающую зону;
- параметры и конструкция системы вентиляции должны выбираться с учетом расположения источников утечки, их степени и интенсивности.

Дополнительно следует учитывать следующие обстоятельства, влияющие на качество искусственной вентиляции:

- плотность горючих газов и паров обычно отличается от плотности воздуха, поэтому они аккумулируются у потолка или пола закрытого помещения, где перемещение воздуха затруднено;
- расстояние от системы искусственной вентиляции до источника утечки; установка системы искусственной вентиляции вблизи источника утечки будет более эффективной и может быть необходима для соответствующего контроля движения пара;
- плотность газа изменяется в зависимости от температуры;
- препятствия могут уменьшать или совсем останавливать движение потока воздуха, т.е. вентиляция в некоторых участках зоны может отсутствовать.

С.3.3 Примеры искусственной вентиляции

Общая искусственная вентиляция: строение, оборудованное вентиляторами, установленными в проемах стен и/или крыш для улучшения вентиляции помещения.

Вентиляторы играют двойную роль. Они могут увеличивать вентиляционный поток в здании, способствуя удалению газа из здания, а также вентиляторы, установленные внутри здания, могут увеличить турбулентность и способствовать рассеиванию облака, размеры которого меньше объема помещения, в котором это облако находится, даже при отсутствии эвакуации газа из помещения. В некоторых случаях вентиляторы могут ускорить рассеивание благодаря увеличению турбулентности на площадках на открытом воздухе.

Местная искусственная вентиляция:

- система отсоса воздуха и пара, применяемая на месте расположения технологического оборудования, из которого постоянно или периодически происходит утечка горючего пара;
- приточная или вытяжная система вентиляции небольшой локальной зоны, где возможно возникновение взрывоопасной среды.

С.4 Уровень вентиляции (степень разбавления)

Эффективность действия вентиляции для регулирования рассеивания взрывоопасной среды зависит от степени разбавления (уровня вентиляции), готовности вентиляции, а также от конструкции системы. Например, вентиляция может быть недостаточной для предотвращения образования взрывоопасной среды, но достаточной для ее быстрого рассеивания.

Степень разбавления определяют в зависимости от возможности разбавления данной утечки до безопасного уровня в определенных условиях вентиляции или атмосферных условиях. Следовательно, при значительной утечке степень разбавления в данных условиях вентиляции или атмосферных условиях будет более низкой, и для утечки данного объема меньшая кратность воздухообмена соответствует более низкой степени разбавления.

Примечание — Если учитывают другие системы вентиляции, например, охлаждающие вентиляторы, вентиляторы топок, необходимо убедиться в их наличии.

Степень разбавления зависит не только от вентиляции, но и от вида высвобождающегося газа. Утечку одних газов можно ослабить за счет усиления вентиляционных потоков, для других газов это возможно в меньшей степени.

Выделяют три уровня вентиляции (степени разбавления).

С.4.1 Вентиляция высокого уровня (ВВ) (высокая степень разбавления)

Обеспечивает быстрое снижение концентрации газа вблизи источника утечки (таблица С.1).

С.4.2 Вентиляция среднего уровня (ВС) (средняя степень разбавления)

Позволяет регулировать концентрацию горючего газа в воздухе, при этом границы зон во время существования утечки остаются неизменными и взрывоопасная газовая среда в границах зоны после прекращения утечки быстро рассеивается.

Размеры и класс зоны остаются в установленных пределах.

С.4.3 Вентиляция низкого уровня (ВН) (низкая степень разбавления)

Не позволяет изменять концентрацию во время утечки и/или быстро устранить взрывоопасную среду после прекращения утечки.

С.5 Оценка уровня вентиляции и его влияния на класс зоны

С. 5.1 Общие принципы

Размеры облака горючего газа или пара и время его существования после прекращения утечки иногда можно изменять с помощью вентиляции. Ниже приведен метод оценки уровня вентиляции (степени разбавления), необходимого для воздействия на размеры взрывоопасной зоны, и время существования взрывоопасной газовой среды.

Необходимо отметить, что приводимые методы не являются точными. Они дают завышенные результаты (т.е. переоценивают уровень опасности), однако не настолько, чтобы меры безопасности стали недоступными по цене, так как в действительности потребуются лишь незначительные улучшения.

Прежде всего, для оценки уровня вентиляции (степени разбавления) требуется определить возможный размер источника утечки и максимальную интенсивность утечки горючего газа или пара для источника утечки горючего вещества. Это должно проводиться на основании экспериментальных данных, расчетов, оправданных предположений или данных, предоставленных изготовителем.

Примечание — Метод, примененный для определения максимальной интенсивности утечки, должен быть указан в документах.

С.5.2 Расчет гипотетического объема V_z для утечки газа из труб или резервуаров

С.5.2.1 Общие положения

Расчеты, представленные в настоящем разделе, являются комплексной моделью для расчета вентиляции и рассеивания утечек газа.

Примечание — Представленная здесь комплексная модель разработана на основе методов, применявшихся в течение многих лет в химической промышленности. Эта модель применяется наравне с методами математического моделирования задач газовой динамики и теплообмена (CFD) и экспериментальных наблюдений и позволяет получить сопоставимые результаты для сопоставимых ситуаций утечки газа.

Величина V_z рассматривается как объем, за пределами которого средняя концентрация взрывоопасного газа или пара составляет менее 0,25 или 0,5 от НКПР. Значение, равное 0,25 НКПР, соответствует непрерывной утечке или утечке первой степени. Значение, равное 0,5 НКПР, соответствует утечке второй степени.

Это определение включает в себя критерий уровня опасности, а не точное определение горючего облака. Необходимо учитывать, что:

(a) для самых худших случаев оценки гипотетического объема концентрация газа или пара будет значительно ниже НКПР, и

(b) облака горючего газа могут воспламеняться в точках, где средняя концентрация значительно ниже НКПР, т.е. плотность облака может хаотично меняться.

Однако сравнение величины V_z для различных ситуаций позволяет получить информацию об относительной опасности, а сравнение величины V_z с установленным критерием может служить основой для оценки безопасности. Значение, используемое как эталонное для V_z, будет зависеть от условий утечки и ситуации. Это значение должно отражать способность вентиляции влиять на рассеивание газа или пара. При расчете эталонного значения необходимо учесть следующее:

a) Для утечек, при которых газ или пар могут занять большую часть помещения, эталонное значение гипотетического объема V_z равно объему помещения (V_0) или объему возможного облака пара или газа.

b) Для утечек газа при давлении до 10 бар эталонное значение для гипотетического объема V_z обычно равно 0,1 м^3.

c) Для утечек газа при давлении более 10 бар эталонное значение для гипотетического объема V_z должно быть более 0,1 м^3.

Примечания

1 Если утечка газа происходит внутри помещения, то гипотетический объем V_z следует рассчитывать в соответствии с перечислением a) для источника, расположенного в дальней зоне, и b) или c) для близко расположенных источников утечки.

Модели для оценки гипотетического объема V_z могут дать дополнительную информацию, например, о форме или размере взрывоопасного облака, однако самый важный фактор — это величина гипотетического объема V_z.

2 Если первоначальная оценка гипотетического объема V_z дает значение, которое несколько ниже критического для классификации зон, необходимо проверить и обосновать выбор всех вводных параметров. Небольшие изменения нескольких вводных параметров могут привести к иному заключению, и следует выбрать то заключение, которое завышает опасность.

3 При утечке газовой струи (движущейся со скоростью, значительно превышающей скорость атмосферного воздуха) турбулентность, создаваемая струей, будет больше, чем турбулентность атмосферного воздуха, и перемещение окружающего воздуха (ветер или вентиляция) практически не будет влиять на механизм первичного разбавления. Однако увеличение скорости ветра усилит турбулентность, поэтому прогноз разбавления будет, вероятно, завышенным, если атмосферный поток не принимается во внимание.

С.5.2.2 Фоновая концентрация газа и утечки в вентилируемом помещении

Для утечек внутри помещения необходимо определить фоновую концентрацию газа X_b в помещении, отражающую действие вентиляции.

Учет фоновой концентрации позволяет получить критерий для оценки вентиляции в помещении, из которого газ или пар удаляется, по сравнению с рассеиванием газа или пара. Это различие влияет на оценку гипотетического объема V_z.

Для расчета фоновой концентрации (об. %) можно использовать формулу

$$X_b = \frac{fq_s}{q_s + q_0} = \frac{fq_s}{q_1}. \qquad (C.6)$$

Отношение между кратностью воздухообмена и вентиляционным потоком представлено формулой

$$q_1 = CV_0, \qquad (C.7)$$

где t — время, (с);

q_0 — объемный поток воздуха, проникающего в помещение через проемы, м^3/с;

q_s — объемный поток горючего газа из источника, м^3/с;

$q_1 = q_0 + q_s$ — объемный поток газовоздушной смеси, выходящий из помещения через проемы, м^3/с;

C — кратность воздухообмена в помещении, с$^{-1}$;

X_b — средняя фоновая концентрация, об.%;

$f > 1$ — среднее значение фоновой концентрации газа X_b в помещении, поделенное на значение концентрации в выпускном отверстии вентиляционной системы.

Для оценки V_z необходимо использовать асимптотическое значение фоновой концентрации X_b как консервативное.

Среднее значение фоновой концентрации X_b, которое можно получить в итоге, зависит от относительной величины источника и вентиляционных потоков, но период времени, за который это значение будет достигнуто, обратно пропорционален кратности воздухообмена.

f — это коэффициент рассеивания взрывоопасной среды, который характеризует степень смешивания воздуха в замкнутом пространстве вне зоны утечки. Его значения могут быть следующими:

$f = 1$, когда фоновая концентрация остается постоянной, выпускное отверстие удалено от утечки, поэтому значение концентрации в выпускном отверстии отражает среднюю фоновую концентрацию;

$f > 1$, когда фоновая концентрация в помещении меняется из-за недостаточного смешивания воздуха, выпускное отверстие удалено от утечки, поэтому значение концентрации в выпускном отверстии ниже средней фоновой концентрации.

Если f =1 или f >1, то этот коэффициент можно рассматривать как коэффициент безопасности, связанный с неэффективностью смешивания (так как постепенно увеличивающиеся значения отражают постепенно снижающуюся эффективность смешивания воздуха в помещении). Влияние коэффициента f на прогноз опасности и консервативные решения рассмотрены ниже.

Примечания

1 Важно отметить, что сама по себе вентиляция, характеризующая проникновение воздуха в помещение, не дает представления о возможном объеме взрывоопасной среды, который зависит от особенностей распределения газа или пара и воздуха внутри помещения, т. е. от рассеивания. Однако, как было предложено, можно оценить влияние вентиляции на гипотетический объем V_z при утечке в помещении с учетом того, что рассеивание происходит в условиях фоновой концентрации X_b, отличной от нуля.

2 Фоновую плотность ρ_b можно заменить на плотность окружающего воздуха ρ_a (для которой соответствующим приближенным значением будет 1,2 кг/м^3), так как присутствие газа/пара в концентрации менее X_{crit} не всегда значительно изменяет плотность воздуха.

С.5.2.3 Расчет гипотетического объема V_z для газовой струи

Гипотетический объем V_z для газовой струи можно определить с помощью простой модели газовой струи, как показано ниже.

Для утечек в наружных условиях:

$$V_z = \frac{9\pi r_s^3}{16\alpha}\left(\frac{\rho_a}{\rho_s}\right)^{3/2}\left(\frac{1}{X_{crit}}\right)^3, \qquad (C.8)$$

Для утечек внутри помещения:

если $X_b < X_{crit}$,

$$V_z = \min\left[\frac{9\pi r_s^3}{16\alpha}\left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right)^{3/2}\left(\frac{1\cdot X_b}{X_{crit}\cdot X_b}\right)^3\right], V_0; \qquad (C.9)$$

если $X_b \geq X_{crit}$,

$$V_z = V_0, \qquad (C.10)$$

где min[a, b] означает «меньше, чем a или b», и используются следующие обозначения:

r_s — эффективный радиус источника или псевдоисточника (см. ниже), (м);

α — коэффициент вовлечения в струю (обычно 0,05);

ρ_a — плотность окружающего воздуха, кг/м^3.

$\rho_s = \frac{Mp_a}{RT_a}$ — плотность взрывоопасного газа без примесей, кг/м^3.

Плотность, (кг/м^3), фоновой газовоздушной смеси, присутствующей в помещении, можно рассчитать по формуле:

$$\rho_b = \rho_a + (1 - M_a / M)\, C_b, \qquad (C.11)$$

где $C_b = \frac{dG}{dt}\frac{f}{q_1}$ — фоновая концентрация газа, кг/м^3;

X_{crit} — соответствующая критическая концентрация, об.% (0,25 НКПР или 0,5 НКПР);

X_b — фоновая концентрация в помещении, создаваемая вентиляционными потоками, об. %., (см. ниже);

V_0 — объем помещения, м^3.

Для оценки с запасом необходимо учитывать, что гипотетический объем V_z может изменяться в зависимости от разных параметров. Не следует произвольно корректировать какие-либо параметры для получения «практически безопасного» результата (особенно, если результаты близки к значениям, характерным для безопасной зоны) ради удобства.

Для утечек внутри помещения пропорциональность

$$V_z \sim \frac{1}{(X_{crit}\cdot X_b)^3} \qquad (C.12)$$

(при допущении, что $X_b < X_{crit}$) означает, что зависимость от фоновой концентрации, которая определяется особенностями вентиляции, потенциально неустойчивая.

При достаточной вентиляции и $X_b < X_{crit}$ гипотетический объем V_z практически не зависит от фоновой концентрации. В этом случае гипотетический объем V_z будет таким же, как на открытом воздухе, и усиление вентиляции не принесет результата.

Однако, если значение X_b приближается к значению X_{crit}, то гипотетический объем V_z будет в большей степени зависеть от точного значения фоновой концентрации, поэтому значение X_b нельзя занижать. (При $X_b \geq X_{crit}$ гипотетический объем V_z означает объем всего помещения).

Факторами, от которых зависит X_b, являются интенсивность вентиляции (относительно интенсивности выделения газа из источника) и эффективность смешения

$$X_b = f\frac{q_s}{CV_0}. \qquad (C.13)$$

При условии, что размер отверстий не был занижен при оценке, а поток из источника q_s оценен с запасом, гипотетический объем V_z может быть оценен с запасом при соблюдении следующих условий:

- не занижать коэффициент f;
- не завышать кратность воздухообмена C;
- не завышать объем помещения V_0.

V_0 — это объем помещения или рассматриваемый объем, в котором обычно содержится воздух, следовательно, из общего объема помещения необходимо вычесть объем любых непроницаемых предметов, находящихся в помещении. Маловероятно, что объем этих предметов окажет большое влияние на значение фоновой концентрации X_b, но, возможно, его потребуется учесть из-за чувствительности к показателю X_b.

Для утечек в середине относительно свободного помещения с входными и выходными вентиляционными отверстиями, расположенными на противоположных стенах, коэффициент $f = 2$ будет соответствующим консервативным значением. Если утечка происходит в замкнутых пространствах с плохо распределенной вентиляцией или в застойной или закрытой зоне помещения, рекомендуется использовать более высокое значение f — до 5.

С.5.2.4 Небольшие препятствия и твердые поверхности

Препятствие небольшого размера, находящееся на пути газовой струи, может снизить скорость струи. При этом струя смещается или расширяется, чтобы обойти с одной или двух сторон препятствие, и происходит ее разбавление в турбулентном следе препятствия. Основной механизм замедления скорости струи — смешивание окружающего воздуха со струей и ее разбавление.

Если струя встретит препятствие в виде стены, она сместится. Если струя будет направлена в стену вертикально (т.е. под углом в 90°), то это может привести к возникновению радиальной пристеночной струи, которая будет продолжать захватывать воздух.

Результаты расчетов, полученные с помощью математического моделирования задач газовой динамики и теплообмена (CFD), и результаты экспериментов показывают, что такие препятствия не оказывают значительного влияния на гипотетический объем V_z, и использование в расчетах коэффициента, равного 2, позволит получить достаточно консервативные результаты.

С.5.3 Определение времени рассеивания (существования) утечки *t*

Оценка времени рассеивания (существования) утечки является вторым критерием для оценки степени разбавления, когда значение гипотетического объема V_z велико по отношению к объему помещения. При большом значении времени рассеивания утечки можно предположить, что вентиляционная система не достаточна для удаления газа или пара из помещения.

Если в определенный момент утечка прекратится, средняя концентрация газа в помещении будет снижаться в геометрической прогрессии в масштабе времени $1/C$. Время, необходимое для уменьшения средней концентрации газа в помещении от начальной объемной доли X_b до критического значения X_{crit}, рассчитывается по формуле (при условии, что $X_b > X_{crit}$)

$$t_{persist} = \frac{1}{C}\ln\left(\frac{X_b}{X_{crit}}\right). \qquad (C.14)$$

Следует отметить, что эта оценка применяется, когда объем взрывоопасной среды равен объему помещения. Если он равен только части объема помещения, то нет необходимости удалять из помещения газ или пар для разбавления концентрации облака до значения X_{crit}.

Однако период времени, необходимый для рассеивания, будет превышать период утечки. Размерный анализ дает следующую формулу:

$$t_{persist} \approx \frac{\text{длина облака}}{\text{скорость обтекающего потока}}.$$

Длина облака составляет примерно $V_z^{1/3}$. Скорость обтекающего потока можно принять равной CL_0, где L_0 (для завышенного значения) — это наименьший линейный размер помещения.

Следовательно,

$$t_{persist} \approx \frac{1}{C}\left(\frac{V_z^{1/3}}{L_0}\right) \qquad (C.15)$$

Необходимо отметить, что для облаков, размеры которых меньше размеров помещения, полученное значение времени будет меньше значения, необходимого для полного воздухообмена в помещении, так как эти облака будут рассеиваться.

При определении времени рассеивания в наружных условиях длина облака зависит только от его особенностей, а понятие вентиляции не применяется. Скорость обтекающего потока будет скоростью ветра, или, что, возможно, будет лучшим вариантом, динамической скоростью u*. Если для простоты расчетов использовать скорость ветра, получим формулу

$$t_{persist} \approx \frac{1}{C}\left(\frac{V_z^{1/3}}{u_{wind}}\right) \qquad (C.16)$$

С.5.4. Оценка степени разбавления /уровня вентиляции

С.5.4.1 Общие положения

Постоянная утечка обычно соответствует зоне класса 0, утечка первой степени — зоне класса 1, а утечка второй степени — зоне класса 2. Однако такое соответствие не является строгим и может меняться в зависимости от способности утечки смешиваться с достаточным количеством воздуха для разбавления ее до безопасного уровня.

В некоторых случаях уровень и готовность вентиляции могут быть настолько высокими, что взрывоопасные зоны отсутствуют. И наоборот, уровень вентиляции может быть настолько низким, что зону необходимо отнести к более низкому классу (т.е. взрывоопасная зона относится к классу 1 при источнике утечки второй степени). Это происходит, например, в случаях, когда уровень вентиляции настолько низкий, что взрывоопасная газовая среда продолжает существовать и рассеивается очень медленно после устранения источника утечки газа или пара. Таким образом, присутствие взрывоопасной газовой среды продолжается дольше, чем предполагалось для данной степени утечки.

Расчетное значение гипотетического объема V_z используют для определения уровня вентиляции (разбавления): высокий (ВВ), средний (ВС) или низкий (ВН) для каждой степени утечки.

С.5.4.2 Вентиляция высокого уровня (ВВ)

Уровень вентиляции может рассматриваться как высокий (ВВ) только тогда, когда оценка риска показывает, что степень потенциального ущерба в результате внезапного повышения температуры и/или давления при воспламенении взрывоопасной газовой среды в объеме, равном Vz, ничтожно малы. При оценке риска следует также учитывать вторичные эффекты (например, последующие утечки горючих веществ).

Указанные выше условия обычно выполняются внутри помещения, когда V_z меньше 0,1 м^3 или 1% V_0, в зависимости от того, какое значение меньше. В этой ситуации объем опасной зоны может считаться равным V_z. В наружных условиях при отсутствии значительных ограничений воздушного потока высокий уровень вентиляции применяется при V_z < 0,1 м^3.

Примечание — Информация о небольших значениях объема V_z содержится в отчете RR630/2008, подготовленном HSL (Великобритания) [4].

Большинство закрытых зон содержит много источников утечки. В то же время нежелательно существование большого числа небольших взрывоопасных зон в помещениях, классифицированных как взрывобезопасные.

Примечания

1 Если расчет V_z выполняется на основе искусственной вентиляции, необходимо учитывать, как устроена вентиляция, поскольку часто преобладающая часть вентиляционного воздушного потока направлена от источника утечки и разбавление происходит на удалении от потенциальных источников воспламенения, например, как в случае применения местных систем вытяжной вентиляции или когда вентиляционный поток поступает в относительно небольшую по размерам оболочку (корпус газоанализатора или опытной установки).

2 При значениях давления более 10 бар необходимо принять допущение, что V_z > 0,1 м^3 , т.е. не применять понятие «вентиляция высокого уровня». Это ограничение может применяться к значениям давления до 20 бар на основании оценки риска, при которой учитываются последствия воспламенения.

С.5.4.3 Вентиляция среднего уровня (ВС)

При среднем уровне вентиляции (ВС) V_z меньше или равен V_0. Уровень ВС должен воздействовать на рассеивание утечки горючего газа или пара. Время рассеивания взрывоопасной газовой среды после устранения утечки должно быть достаточным для выполнения условия зоны класса 1 или 2 в зависимости от того, является ли степень утечки первой или второй. Допускаемое время рассеивания зависит от ожидаемой частоты утечки и длительности каждой утечки.

Значение объема V_z часто бывает меньше объема закрытой зоны. В этом случае допускается классифицировать как взрывоопасную только часть закрытой зоны. В ряде случаев, в зависимости от размеров закрытой зоны, объем V_z может быть таким же, как объем закрытой зоны. Тогда всю закрытую зону классифицируют как взрывоопасную.

В наружных установках, когда отсутствуют значительные препятствия для воздушного потока, уровень вентиляции должен рассматриваться как средний (ВС), если не выполняются условия для высокого уровня вентиляции (ВВ).

С.5.4.4 Вентиляция низкого уровня (ВН)

Уровень вентиляции (разбавления) следует рассматривать как низкий (ВН), если значение V_z равно или превышает значение V_0. Уровень ВН на открытых пространствах практически не встречается. Случаи наличия препятствий воздушному потоку, например, в ямах, должны рассматриваться так же, как замкнутые пространства.

С.6 Готовность вентиляции

Готовность вентиляции оказывает влияние на присутствие или образование взрывоопасной газовой среды. Поэтому готовность вентиляции (также как и ее уровень) должна учитываться при определении класса зоны.

По готовности вентиляция разделяется на три уровня (см. таблицу С.1):

- хорошая — вентиляция присутствует постоянно;
- средняя — вентиляция присутствует при нормальных условиях эксплуатации. Допускаются ее перерывы при условии, что они редкие и кратковременные;
- плохая — вентиляция не соответствует требованиям первого и второго уровней готовности, при этом длительные ее перерывы не предполагаются.

Если готовность вентиляции не отвечает требованиям третьего уровня, то такая вентиляция не может рассматриваться как реальная вентияляция.

При оценке готовности различных типов вентиляции необходимо использовать различные подходы/критерии, например, готовность естественной вентиляции никогда не следует считать хорошей, так как она во многом зависит от условий окружающей среды, т.е. температуры наружного воздуха и ветра (С.1). Готовность естественной вентиляции фактически зависит от точности оценки условий внутри помещения/наружных условий, т.е. от того, были ли учтены наиболее неблагоприятные условия. Если наиболее неблагоприятные условия были проанализированы, то готовность вентиляции может быть средней, но ни при каких обстоятельствах она не будет хорошей. Следует исходить из того, что чем выше разница между значениями температуры внутри помещения и снаружи, используемая в расчетах, тем ниже будет готовность вентиляции, т.е. степень разбавления взрывоопасной среды.

С другой стороны, готовность искусственной вентиляция во взрывоопасных зонах обычно хорошая, так как в этом типе вентиляции используются технические средства для обеспечения высокой степени надежности.

Готовность вентиляции должна быть оценена максимально полно и точно с учетом всех соответствующих факторов. При утечке газовой струи в наружных условиях разбавление произойдет независимо от наличия ветра, поэтому рассеивание должно рассматриваться как соответствующее хорошей готовности вентиляции внутри помещения.

С.6.1 Готовность при естественной вентиляции

При оценке готовности естественной вентиляции рекомендуется рассматривать наихудшие условия. Сценарий с наихудшими условиями позволит обеспечить более высокую готовность вентиляции. Обычно при любой естественной вентиляции более низкий уровень вентиляции приводит к более высокой готовности и наоборот. Это компенсирует слишком оптимистичные допущения, принятые при оценке уровня вентиляции.

В некоторых ситуациях необходимо проявлять особую осторожность. Для естественной вентиляции в замкнутых пространствах необходимо определить, присутствует ли вентиляция вообще в некоторых неблагоприятных условиях окружающей среды, и тщательно исследовать такие ситуации, т.е. спрогнозировать и рассмотреть в более широком контексте их частоту и вероятность возникновения. Примером таких ситуаций могут быть жаркие летние дни при наличии ветра по двум причинам: температура внутри помещения может незначительно превышать наружную температуру, следовательно, вентиляция за счет тяги будет незначительной и ветер в определенном направлении сможет ее заблокировать. Что касается вентиляции за счет тяги, то можно сказать, что эта умеренная вентиляция может присутствовать практически постоянно, следовательно, ее готовность может считаться средней или даже хорошей. С другой стороны, из-за ветра, который может полностью заблокировать эту вентиляцию, ее готовность будет плохой. Таким образом, в данном случае наблюдается сочетание низкого уровня вентиляции и плохой готовности вентиляции, что, возможно, приведет к классификации зоны как более опасной.

С.6.2 Готовность при искусственной вентиляции

Готовность искусственной вентиляции регулируется техническими средствами и, следовательно, может быть очень высокой, однако при отсутствии таких средств ни при каких обстоятельствах готовность не может быть отнесена к очень высокой.

При оценке готовности искусственной вентиляции необходимо принимать во внимание надежность оборудования и готовность, например, аварийных вентиляторов. Хорошая готовность обеспечивается автоматическим включением запасных вентиляторов при авариях. Однако если при выходе из строя вентилятора предусмотрены средства предотвращения утечки горючего вещества (например, посредством автоматической остановки технологического процесса), то классификацию вентиляции, установленную для работающих вентиляторов, менять не требуется, т.е. готовность можно считать хорошей.

С.7. Практическое руководство

С.7.1 Практическое руководство по расчету гипотетического объема V_z

Чтобы рассчитать гипотетический объем V_z, необходимо выполнить следующие действия.

С.7.1.1 Вводные параметры и типичные значения

Условия окружающей среды и постоянные:

$p_a = 1{,}0 \cdot 10^5$ Па — давление окружающей среды;

T_a = 293 К — температура окружающей среды;
M_a = 29 кг/моль — эффективная молекулярная масса воздуха;
K = 0,5 — расширение при снижении давления;
α = 0,05 — коэффициент вовлечения;
R = 8314 Дж/кмоль$^{-1}$К$^{-1}$ — универсальная газовая постоянная.
Условия/постоянные значения для взрывоопасного газа:
$p = 1{,}1 \cdot 10^6$ Па — давление при хранении;
T = 293 К — температура хранения;
M = 16 кг/моль — молекулярная масса;
НКПР = 0,05 об. % — молярный объем НКПР;
γ = 1,3 — отношение удельных теплоемкостей;
$S = 2{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2 — площадь отверстия;
C_d = 0,8 — коэффициент расхода;
X_{crit} =1/2 НКПР или ¼ НКПР — соответствующая предельно допустимая концентрация.
Параметры замкнутого пространства:
$C = 3{,}33 \cdot 10^{-3}$с$^{-1}$ — кратность воздухообмена;
V_0 = 45 м^3 — объем замкнутого пространства;
f = 2 — показатель неэффективности смешивания фоновой газовоздушной смеси для γ =1,3

С.7.1.2 Расчетные параметры

$$B = \left(\frac{2}{\lambda+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)} = 1{,}83,$$

где $r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$ — радиус соответствующего отверстия;

$q_1 = CV_0$ — воздушный поток из замкнутого пространства;

$\rho_s = \frac{Mp_a}{RT_a}$ — плотность взрывоопасного вещества.

С.7.1.3 Расчет интенсивности массовой утечки

Если $p > p_a B$, то скорость утечки погашается и интенсивность массовой утечки равна

$$\frac{dG}{dt} = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{RT}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}}.$$

Радиус псевдоисточника рассчитывается по формуле

$$r_s = r\sqrt{1 + K\left(\frac{p}{p_a} - B\right)},$$

или утечка происходит на дозвуковой скорости, и интенсивность массовой утечки рассчитывается по формуле

$$\frac{dG}{dt} = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{RT}\frac{2\gamma}{\gamma-1}\left[1 - \left(\frac{p_a}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right]} \cdot \left(\frac{p_a}{p}\right)^{1/\gamma}.$$

Радиус псевдоисточника равен $r_s = r$.

С.7.1.4 Расчет гипотетического объема V_z

$q_s = \frac{dG}{dt}\frac{1}{\rho_s}$ — объемный расход газа.

Для утечек в вентилируемых замкнутых пространствах

$C_b = \frac{dG}{dt}\frac{f}{q_1}$ — фоновая концентрация газа (кг·м$^{-3}$);

$\rho_b = \rho_a + (1 - M_a / M)\, C_b$ — плотность фоновой газовоздушной смеси;

$X_b = \frac{fq_s}{q_1}$ — молярная концентрация фоновой газовоздушной смеси.

Для утечек в наружных условиях $\rho_b = \rho_a$ и $X_b = 0$.

Если фоновая концентрация меньше критической $X_b < X_{crit}$, то

$$V_z = \min\left[\frac{9\pi r_a^3}{16\alpha}\left(\frac{\rho_b}{\rho_s}\right)^{3/2}\left(\frac{1-X_b}{X_{crit}-X_b}\right)V_0\right],$$

в противном случае $V_z = V_0$.

Таблица С.1 — Влияние уровня вентиляции на класс взрывоопасной зоны

Степень утечки	Уровень вентиляции						
	ВВ			ВС			ВН
	при готовности						
	хорошей	средней	плохой	хорошей	средней	плохой	хорошей, средней или плохой
Постоянная (непрерывная)	(Зона класса 0 ПМ) [a] Взрывобезопасная	(Зона класса 0 ПМ) [a] Зона класса 2	(Зона класса 0 ПМ) [a] Зона класса 1	Зона класса 0	Зона класса 0 + Зона класса 2	Зона класса 0 + Зона класса 1	Зона класса 0
Первая степень	(Зона класса 1 ПМ) [a] Взрывобезопасная	(Зона класса 1 ПМ) [a] Зона класса 2	(Зона класса 1 ПМ) [a] Зона класса 2	Зона класса 1	Зона класса 1 + Зона класса 2	Зона класса 1 + Зона класса 2	Зона класса 1 или 0[c]
Вторая степень[b]	(Зона класса 2 ПМ) [a] Взрывобезопасная	(Зона класса 2 ПМ) [a] Взрывобезопасная	Зона класса 2	Зона класса 2	Зона класса 2	Зона класса 2	Зона класса 1 (возможно зона класса 0[c]

Примечания

1 Знак «+» означает, что зона низкого класса (например, класса 0) окружена зоной более высокого класса.

2 Готовность вентиляции в замкнутых помещениях с естественной вентиляцией никогда не должна рассматриваться как хорошая.

3 Продолжительное время рассеивания означает, что уровень вентиляции/разбавления нельзя считать высоким.

4 Следует избегать ситуаций, когда закрытые участки, в которых находятся только источники утечки второй степени, должны быть отнесены к зоне класса 0. Это касается небольших непродуваемых и не находящихся под давлением закрытых участков, например, панелей управления или оболочек для защиты прибора от атмосферных воздействий, теплоизолированных нагреваемых оболочек или закрытых пространств между трубами и оберткой из теплоизоляции.

В таких оболочках должны быть предусмотрены отверстия, обеспечивающие движение воздуха внутри оболочек. В тех случаях, когда это невозможно, нерационально или нежелательно, необходимо принять меры для выведения основных потенциальных источников утечки за пределы оболочки, например, соединения труб должны находиться с внешней стороны изоляции оболочек, также как и любое другое оборудование, которое можно рассматривать как потенциальный источник утечки.

5 Источники непрерывной утечки и утечки первой степени не должны находиться в зонах с низким уровнем вентиляции. Для этого следует переместить источник утечки, улучшить вентиляцию или снизить степень утечки.

6 Суммирование источников регулярной (т.е. прогнозируемой) утечки должно основываться на детальной оценке технологических процессов. Например, источники утечки N, из которых утечка происходит одновременно, следует рассматривать как один источник утечки с числом N разных точек утечки.

[a] Символы 0 ПМ, 1 ПМ или 2 ПМ означают, что из-за наличия источника утечки зоны классов 0, 1 и 2 существуют, но они имеют пренебрежимо малые размеры.

[b] Зона класса 2, создаваемая источником утечки второй степени, может превышать зону для источника утечки первой степени или источника непрерывной утечки. В этом случае необходимо принять большее расстояние.

[c] Зону класса 0 принимают в случае, если вентиляция настолько слабая и утечка такова, что взрывоопасная смесь присутствует практически постоянно (т.е. ситуация приближается к условиям отсутствия вентиляции).

С.7.2 Примеры расчетов

Примеры расчетов, приведенные ниже, не предназначены для универсального применения. Хотя на практике основные условия окружающей среды и свойства горючего газа и размеры отверстий могут быть такими, как в

примерах, остальные условия для конкретной площадки могут отличаться, например перемещение атмосферного воздуха, влажность, конфигурация площадки, расположение источника утечки над уровнем земли, расположение конструкций вокруг источника утечки, температура конструкций/трубопроводов, которые могут стать препятствием для газовой струи и т. д. Следовательно, при применении этих расчетов необходимо учитывать все обстоятельства и все условия, связанные с конкретной утечкой. В данных примерах представлены несколько типичных случаев утечки газа при низком давлении, анализ которых проводился с помощью модели CFD и опытов как часть совместного промышленного проекта по классификации зон (Area Classification Joint Industry Project). В результате были получены значения того же порядка, что и значения, рассчитанные с помощью модели CFD, но с запасом в сторону безопасности, что является доказательством того, что этот метод расчета позволяет получить завышенные результаты и безопасен для применения.

Пример 1

Утечка природного газа (метана) внутри помещения при давлении 10 бар по манометру через отверстие размером 0,25 мм^2 в хорошо проветриваемое замкнутое пространство объемом 45 м^3, степень утечки — вторая.

Применяются значения условий окружающей среды и постоянные значения в соответствии с «Практическим руководством»:

$p_a = 1{,}0 \cdot 10^5$ Па;

$T_a = 293$ К ;

$M_a = 29$ кг/моль;

$K = 0{,}5$;

$\alpha = 0{,}05$;

$R = 8314$ Дж/кмоль$^{-1}$К$^{-1}$.

Условия/постоянные значения для взрывоопасного газа:

$p = 1{,}1 \cdot 10^6$ Па (10 бар по манометру);

$T = 293$ К;

$M = 16$ кг/моль;

НКПР = 0,044 об.% (НКПР метана составляет 5%, НКПР природного газа — примерно 4,4%, использование меньшего значения более консервативно, что приводит к значительной разнице в результатах);

$\gamma = 1{,}3$;

$B = 1{,}83$;

$S = 0{,}25$ мм^2 $= 2{,}5 \cdot 10^{-7}$ м^2 ;

$C_d = 1$ (консервативный подход);

X_{crit} = 1/2 НКПР = 0,022 об.% соответствующей критической концентрации для утечки второй степени.

Параметры замкнутого пространства

$C = 3{,}33 \cdot 10^{-3}$с$^{-1}$;

$V_0 = 45$ м^3 ;

$f = 2$ — значение по умолчанию при неэффективном смешивании воздуха и газа.

Использование формул из «Практического руководства» позволяет получить следующие результаты:

$r = 0{,}28$ мм;

$q_1 = 0{,}15$ м^3/с;

$\rho_s = 0{,}657$ кг/м^3;

$\frac{dG}{dt} \approx 0{,}47$g/s (утечка при погашенной скорости, скорость на выходе равна скорости звука 415 м/с);

$r_s = 0{,}666$ мм;

$q_s = 0{,}72 \cdot 10^{-3}$ м^3/с;

$\rho_b = 1{,}185$ кг/м^3;

$X_b = 0{,}01$ об.% = 21,7 % НКПР;

$V_z = 0{,}0128$ м^3.

Необходимо отметить, что этот случай изучен HSE с помощью модели CFD и опытов. При применении модели CFD прогнозируемое значение гипотетического объема V_z составило 0,0039 м^3, следовательно, приведенный выше метод дает явно завышенные результаты.

Взяв за основу приведенный выше пример, можно оценить действие изменения некоторых параметров:

При $f = 1$ гипотетический объем V_z будет равен 0,00491 м^3, что соответствует результатам, полученным при использовании модели CFD (хотя использовать $f = 1$ не рекомендуется).

При $f = 4$ гипотетический объем V_z будет равен 0, 97 м^3 .

При $f = 5$ гипотетический объем V_z будет равен V_0 (объему замкнутого пространства).

Если принять НКПР равный 0,05 об.%, гипотетический объем V_z будет равен 0, 0067 м^3 (при $f = 2$). Это почти половина значения для НКПР = 0,044 об. %., поэтому важно не использовать слишком большие значения НКПР.

Пример 2

Используя те же условия, что в примере 1, рассмотрим ситуацию, в которой вентиляция создается 6 - кратным воздухообменом в час:

$C = 1{,}67 \cdot 10^{-3}$ с$^{-1}$ = 6 циклов воздухообмена в час.

Используя формулы из «Практического руководства», можно получить следующие результаты:

p_b = 1,180 кг/м^3;

X_b = 0,02 об.% = 43,4 % НКПР;

V_z = 0,97 м^3.

Необходимо отметить, что такой же результат был получен в первом случае при f = 4. Это связано с тем, что увеличение значения f эквивалентно снижению интенсивности вентиляции на такой же коэффициент.

Для этого случая также применяли модель CFD, и прогнозируемое значение гипотетического объема V_z составило 0,0082 м^3, следовательно, приведенный выше метод также дает явно завышенные результаты.

Необходимо отметить, что при приближении значения фоновой концентрации X_b к значению критической концентрации X_{crit} увеличение коэффициента f значительно влияет на прогнозируемый объем:

При f = 1 гипотетический объем V_z будет равен 0,0128 м^3 (значение для 12-кратного воздухообмена, что соответствует результатам, полученным при применении модели CFD).

При f = 3 (или выше) гипотетический объем V_z будет равен V_0 (объему замкнутого пространства).

То есть, даже незначительное увеличение f оказывает большое влияние на объем облака газа, если значение X_b приближается к значению X_{crit} (1/2 НКПР). Это означает, что консервативная оценка должна использоваться, когда это необходимо (т.е. когда интенсивность утечки велика по сравнению с интенсивностью вентиляции), но если фоновая концентрация мала и, следовательно, опасность ниже, модель Quadvent не завышает опасность.

Пример 3

Утечка природного газа (метана) внутри помещения при давлении 1 бар по манометру через отверстие размером 2,5 мм^2 в хорошо проветриваемое замкнутое пространство объемом 45 м^3, степень утечки — вторая.

В этом случае рассматриваются две ситуации, первая из которых связана с появлением препятствий на пути струи, а во второй присутствие препятствия не позволяет вентиляционным потокам разбавлять горючий газ.

Сначала рассмотрим ситуацию, когда препятствия отсутствуют. Условия окружающей среды и постоянные те же, что в приведенных выше примерах.

Условия/постоянные значения для горючего газа те же, что применялись в примерах выше, за исключением следующих:

$p = 2 \cdot 10^5$ Па (10 бар по манометру);

S = 2,5 мм^2 = 2,5 · 10^{-6} м^2 .

Параметры замкнутого пространства:

$C = 3{,}33 \cdot 10^{-3} c^{-1}$ = 12-кратный воздухообмен в час;

V_0 = 45 м^3 ;

f = 2 — значение по умолчанию при неэффективном смешивании воздуха и газа. Использование формул из «Практического руководства» позволяет получить следующие результаты:

r = 0,892 мм;

q_1 = 0,15 м^3/с;

p_s= 0,657 кг/м^3;

$\frac{dY}{dt} = 0{,}86g/s$ (утечка при погашенной скорости, скорость на выходе равна скорости звука 415 м/с);

r_s=0,929 мм;

q_s=0,0013 м^3/с;

p_b=1,181 кг/м^3;

X_b=0,017 об. % = 39,4 % НКПР;

V_z= 0,647 м^3.

При использовании модели CFD прогнозируемое значение гипотетического объема V_z составило 0,015 м^3, следовательно, приведенный выше метод позволяет также получить явно завышенные результаты.

Взяв за основу приведенный выше случай, можно оценить действие изменения коэффициента f:

- при f = 1 гипотетический объем V_z будет равен 0,0283 м^3, что соответствует результатам, полученным при использовании модели CFD;

- при f = 3 гипотетический объем V_z будет равен V_0 (объему замкнутого пространства).

В дополнительном исследовательском проекте HSE источник утечки перемещали, а в помещении было установлено препятствие большого размера, чтобы снизить эффективность вентиляционного потока (при этом интенсивность утечки и интенсивность вентиляции оставались неизменными). В наихудших условиях газовое облако увеличилось до гипотетического объема V_z=0,89 м^3, что в 60 раз больше, чем его объем в свободном помещении. Следовательно, в данном случае подходящим выбором будет значение f = 2 для свободного помещения и f = 3 для помещения с препятствиями. Для замкнутых пространств большего объема необходимо использовать более высокий коэффициент f.

Пример 4

Утечка пропана вне помещения при давлении в 5 бар по манометру через отверстие размером 2,5 мм^2, степень утечки — вторая.

Применяются значения условий окружающей среды и постоянные значения в соответствии с «Практическим руководством»:

$p_a = 1{,}0 \cdot 10^5$ Па;
$T_a = 293$ К;
$M_a = 29$ кг/моль;
$K = 0{,}5$;
$\alpha = 0{,}05$;
$R = 8314$ Дж/кмоль$^{-1}$К$^{-1}$.
Условия/постоянные значения для взрывоопасного газа:
$p = 6 \cdot 10^5$ Па (5 бар по манометру);
$T = 293$ К;
$M = 44$ кг/моль;
НКПР = 0,022 об. %;
$\gamma = 1{,}3$;
$B = 1{,}73$;
$S = 2{,}5$ мм^2 = $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2 ;
$C_d = 1$ (консервативный выбор);
X_{crit} = 1/2 НКПР = 0,011 об. % — соответствующая критическая концентрация для утечки второй степени.
Поскольку рассматривается утечка в наружных условиях, $X_b = 0$ и $p_b = p_a = 1{,}19$ кг/м^3.
Использование формул из «Практического руководства» позволяет получить следующие результаты:
$r = 0{,}89$ мм;
$p_s = 1{,}81$ кг/м^3;
$\frac{dG}{dt} = 4{,}25$g/s(утечка при погашенной скорости, скорость на выходе равна скорости звука 242 м/с);
$r_s = 1{,}567$ мм;
$q_s = 2{,}36 \cdot 10^{-3}$ м^3/с;
$V_z = 0{,}0546$ м^3.

Для этого случая нет данных применения модели CFD/экспериментов, поэтому использовалась комплексная модель свободной струи GaJet, что позволило получить значение гипотетического объема V_z, равное 0,0356 м^3, следовательно, этот метод также дает явно завышенный результат.

Приложение D
(справочное)

Примеры классификации взрывоопасных зон

D.1 Общие положения

Для классификации зон требуется знание характеристик высвобождаемых горючих газов и жидкостей, а также рабочих характеристик технологического оборудования и его частей в определенных условиях эксплуатации. По этой причине в настоящем стандарте не приводится описание всего возможного разнообразия технологического оборудования и характеристик технологического процесса.

D.2 Отраслевые правила

Примеры классификации могут быть приняты в соответствии с национальными или отраслевыми правилами, в которых четко показано их применение в конкретных ситуациях. Необходимо учитывать все критерии или ограничения, установленные в национальных или отраслевых правилах.

Если предполагается использовать примеры, приведенные в национальных или отраслевых правилах, для классификации зон на практике необходимо учитывать особенности каждого отдельного случая, например, характеристики технологического процесса и местоположения. Примеры национальных или отраслевых сводов правил приведены в таблице D.1, но этот список может быть дополнен.

Таблица D.1 — Примеры сводов правил и стандартов

Страна или регион происхождения (в алфавитном порядке)	Обозначение свода правил или стандарта	Название	Орган, разработавший стандарт/правила	Примечания по применению
Австралия и Новая Зеландия	AS/NZS(IEC) 60079-10-1	Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды	Standards Australia/ Standards New Zealand	Введены в стандарт AS/NZS(IEC) 60079-10-1 в качестве национального приложения
Германия	BRG 104	Правила взрывозащиты ExRL — Правила предотвращения опасности, связанной со взрывоопасной средой с подборкой примеров		
Германия	TRBS 2152	Технические правила по обеспечению безопасности установок		
Италия	GUIDA CEI 31—35	Электрическое оборудование для взрывоопасных газовых сред	CEI (Comitato electrotechnico italiano)	
	GUIDE CEI 31—35	Руководство по классификации взрывоопасных зон		
Швеция	SEK Handbook 426	Классификация взрывоопасных зон	Svensk Elstandard	
Нидерланды	NRP 7910-1	Практическое руководство NRP 7910-1 Нидерландов, классификация взрывоопасных зон по опасности взрыва — Часть 1. Опасность взрыва газа, на основе NEN-EN-IEC 60079-10-1	Netherlands Standardisation Institute, NEN	

Окончание таблицы D.1

Страна или регион происхождения (в алфавитном порядке)	Обозначение свода правил или стандарта	Название	Орган, разработавший стандарт/правила	Примечания по применению
Великобритания	BS 5908	Свод правил по противопожарной безопасности в химической промышленности и связанных с ней отраслях	British Standards Intitute	
	IP15	Модель свода правил для нефтяной промышленности. Часть 15. Правила классификации зон для нефтяных установок с использованием горючих жидкостей	Energy Institute	
	IGEM/SR/25	Классификация опасных зон для установок, работающих на природном газе	Institution of gas engineers and managers	
США	API PR505	Рекомендованная практика по классификации мест расположения электроустановок на нефтеперерабатывающих предприятиях, отнесенных к классу 1, зонам класса 0 , 1 и 2.	American Petroleum Institute (API)	
США	NFPA 59A	Стандарт по производству, хранению и перевозке сжиженного природного газа	National Fire protection Association	

Примечание — Настоящий стандарт не подтверждает и не рекомендует применение каких-либо из приведенных выше национальных или отраслевых стандартов/сводов правил и не предписывает их как предпочтительные. При применении примеров из этих стандартов для классификации зон необходимо их проверить с помощью метода расчета «источника утечки», в противном случае не допускается делать ссылку на IEC 60079-10-1 только на том основании, что данный стандарт/свод правил упомянут в настоящем стандарте.

D.3 Пример классификации зон

Цель приведенного ниже примера — проиллюстрировать принципы классификации зон и метод их обозначения. В примере рассмотрена компрессорная установка, работающая на природном газе. Этот пример не предназначен для прямого применения при классификации зон на практике. Параметры зон могут изменяться в зависимости от конкретных условий установки и /или применения соответствующего свода правил.

Компрессорные установки, в которых используется природный газ, установлены в хорошо проветриваемом укрытии. Воздух поступает через вентиляционные решетки, расположенные внизу и открытую переднюю сторону укрытия, и выходит через проем в крыше (рисунок D.1).

Внешняя часть установки состоит из комбинированных воздухоохладителей с охлаждающей водой и теплообменников технологического газа, трубопроводов, клапанов (аварийного отключения, запорных и регулировочных), газоочистителей и т.д. Компрессорные установки — это агрегаты, в которых используются газомоторные поршневые компрессоры, предназначенные для сбора газа.

Горючие вещества:

1) технологический газ (природный газ с содержанием метана 80 %);

2) конденсат технологического газа, собранный пылеуловителями и автоматически перемещаемый к сборному резервуару (в основном более тяжелые углеводороды в количествах, зависящих от состояния равновесия на каждой ступени сжатия);

3) топливный газ газового двигателя (сухой природный газ, соответствующий требованиям транспортирования по трубопроводу, содержание метана — минимально 96 об. %);

4) различные химические вещества, применяемые в технологическом процессе, например, антикоррозийные вещества, добавки, понижающие температуру замерзания;

Источники утечки:

1) Выпускное отверстие для пускового газа (предсказуемый источник утечки первой степени, происходящей при каждом запуске двигателя);

2) Выпускное отверстие продувки компрессора (предсказуемый источник утечки первой степени, происходящей при каждом снижении давления в застопоренном компрессоре);

3) Выпускное отверстие запорного клапана газового двигателя (относительно предсказуемый источник утечки первой степени, происходящей при каждой остановке двигателя, когда захваченный топливный газ выделяется в окружающую среду);

4) Выпускное отверстие предохранительного клапана (непредсказуемый источник утечки, обычно второй степени; утечка происходит, если значение давления на входе превышает заданное значение; обычно аварийный выключатель устанавливают в защитной системе компрессорных установок таким образом, чтобы он срабатывал раньше предохранительного клапана, и, следовательно, не рассматривался как источник первичной утечки (см. В.1.2 и В.1.3);

5) Набивки сальника поршневого штока (обычно источник утечки первой степени, но в случае сомнений относительно контроля, регулирования и качества технического обслуживания, это отверстие может рассматриваться как источник постоянной утечки (см. В.1.2 и В.1.3);

6) Газовый двигатель, компрессор и воздухоохладитель (источники утечки второй степени);

7) Газоочистители и дренажные отверстия для технологического газа (обычно источники утечки второй степени при утечке в жидкой фазе);

8) Клапаны, установленные внутри и снаружи укрытия (источники утечки второй степени);

9) Трубные соединения (обычно источники утечки второй степени);

В настоящем примере интенсивность утечки оценивают на основе следующих показателей:

1) Для пускового газа — расход газа, указанный в документации изготовителя для пневматических пускателей;

2) Для выпускного отверстия продувки — сжатый газ, захваченный цилиндрами компрессора, пылеуловителями, депульсаторами и технологическими трубопроводами;

3) Для выпускного отверстия запорного клапана газового двигателя — газ, захваченный трубопроводом для подачи горючего и в цилиндры;

4) Для выпускного предохранительного клапана — расход газа, указанный в документах изготовителя для соответствующего заданного значения давления;

5) Для других источников утечки — расход газа, рассчитанный в соответствии с В.3.2.1 или В.3.2.2 или другим способом;

В настоящем примере размеры зоны будут следующими:

a = 3 м от проема в крыше;

b = 8 м от выходного отверстия для пускового газа;

c = 5 м от выходного отверстия продувки компрессора;

d = 3 м от выходного отверстия запорного клапана двигателя;

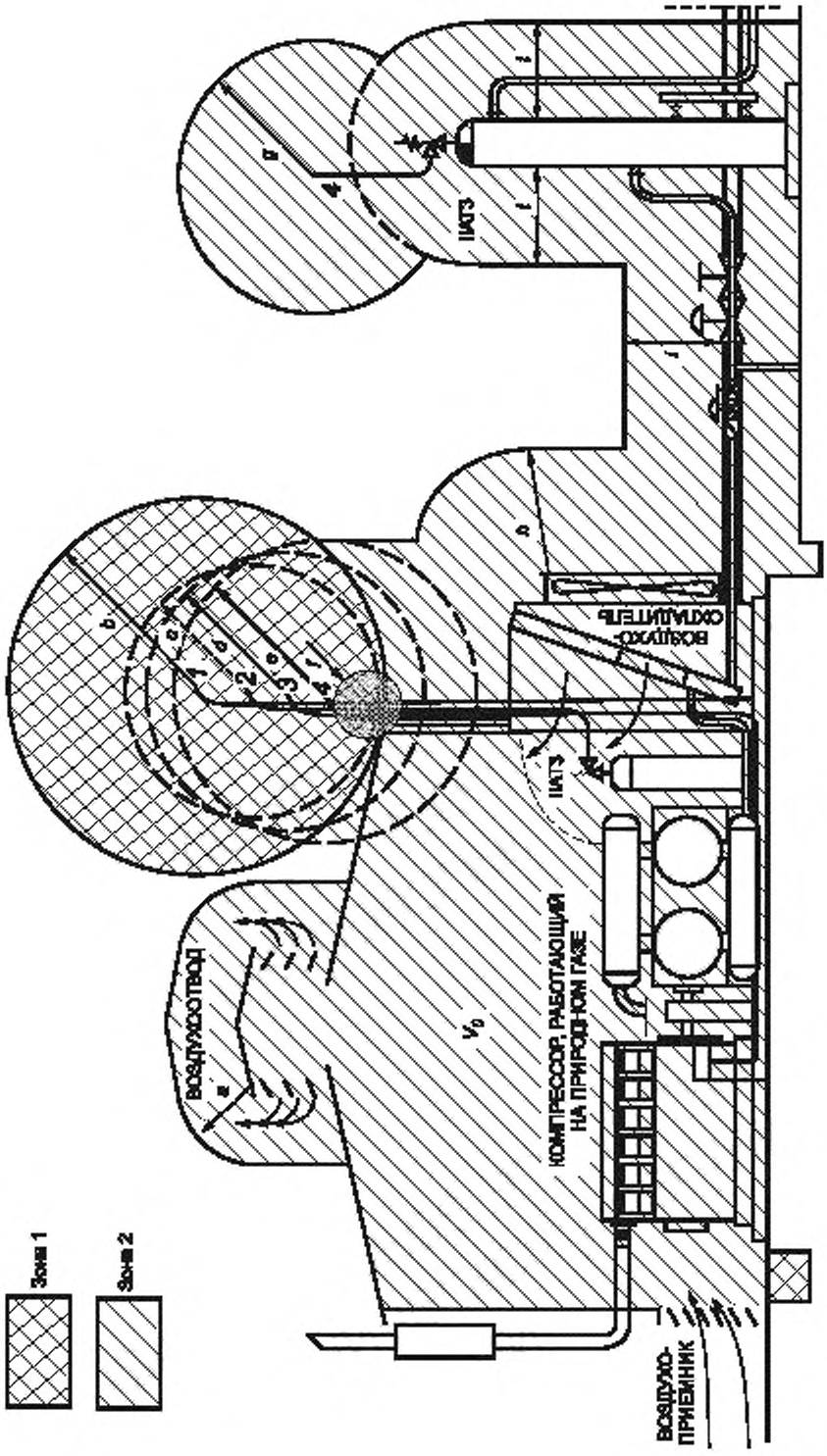
e = 4 м от выходного отверстия предохранительного клапана (если он рассматривается как полностью открытый в случае несрабатывания защитного устройства отключения);

f = 1 м от выходного отверстия уплотнения штока компрессора;

g = 5 м от выходного отверстия предохранительного клапана (если он рассматривается как полностью открытый в случае несрабатывания защитного устройства отключения);

H = 3 м от воздухоохладителя, т. е. газового теплообменника;

i = 3 м от фланцевого или резьбового соединения клапана или корпуса газоочистителя.



1 – Клапан пускового тока; 2 – Клапан прекращения подачи топливного газа, 3 – Предохранительный клапан, 4 – Выходные отверстия уплотнения штока компрессора

Рисунок D. 1 — Пример классификации зон для компрессора, работающего на природном газе

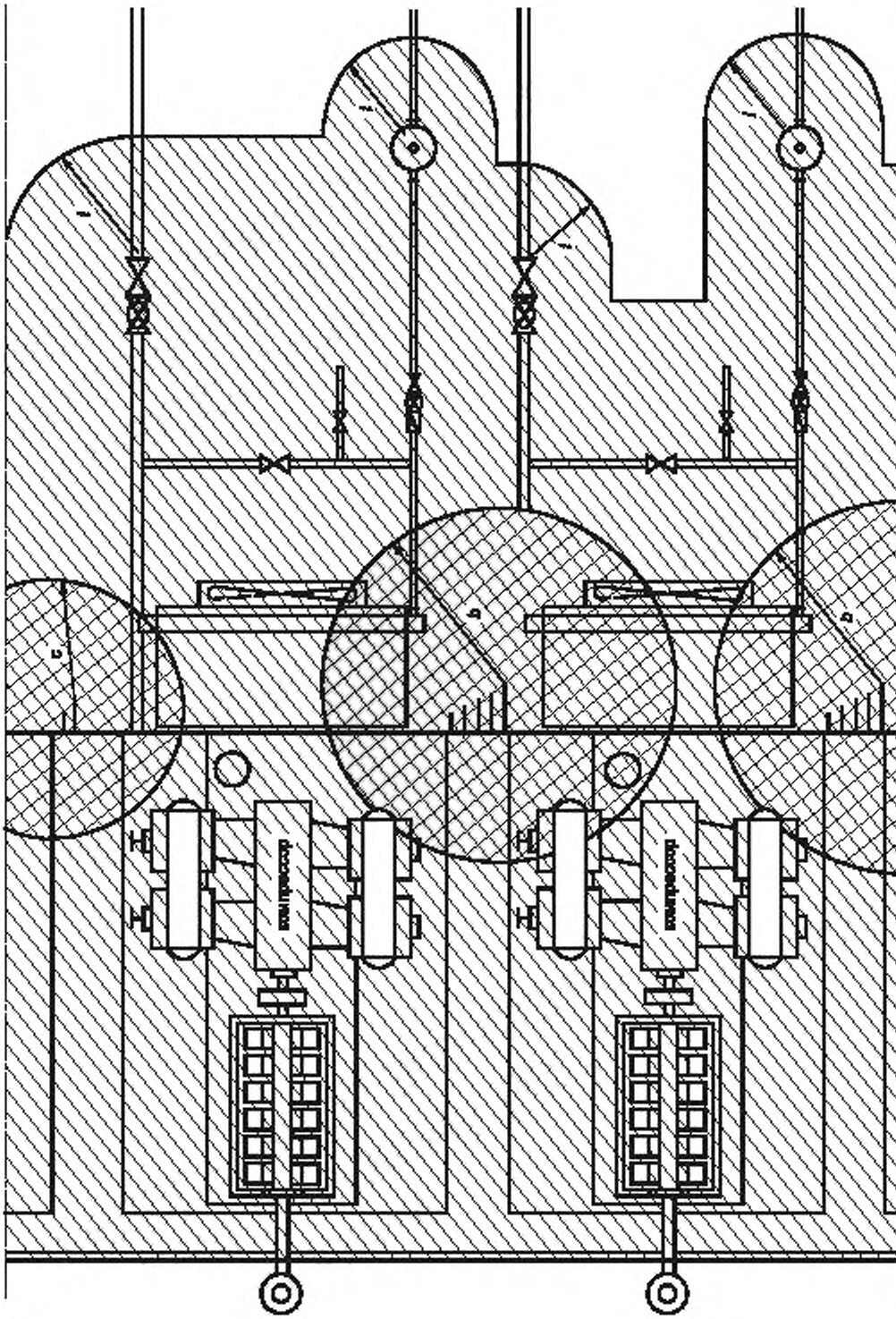


Рисунок D. 1а — Пример классификации зон для компрессора, работающего на природном газе

Таблица данных по классификации взрывоопасных зон — Часть I: Перечень и характеристики горючих материалов

Установка: компрессор, в котором используется природный газ (анализ случая)								Чертежи D 1, D 1a							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Горючий материал								Испаряемость[a]			НКПР		Ex-свойства		
№	Наименование	Химический состав	Молекулярная масса (кг/моль)	Плотность газа по отношению к плотности воздуха	Показатель политропы адиабатического расширения γ	Температура вспышки, °C	Температура самовоспламенения, °C	Температура плавления °C	Точка кипения °C	Давление пара при 20°C, кПа	об. %	кг/м^3	Группа	Температурный класс	Другая информация и замечания
1	Технологический газ	80 об. % — метан (CH_4) и высшие углеводороды	21,6	0,8	1,2	=	> 400	–	–	=	4	0,036	IIA	T2	
2	Конденсат технологического газа	Изопентан и стандартный пентан, гексан и гептан	46	> 3,0	=	< 30	< 300	-	< 50	Неизвестно	1,3 — 8	0,025-0,153	IIA	T3	Значения рассчитывают
3	Пусковой и топливный газ	96 об. % — метан (CH^4) и высшие углеводороды	16,8	0,6	1,3	=	> 500	.	–	=	5	0,035	IIA	T1	

[a] Обычно указывается значение давления пара, если оно не указано, то используется значение точки кипения [(4 4 1d)]

Таблица данных по классификации взрывоопасных зон — Часть II: Перечень источников утечек горючих веществ

Установка: компрессор, в котором используется природный газ (анализ случая)								Чертежи D.1, D.1a.							
1	2	3	4	5	6		7	8			9	10	11	12	13
№	Источник утечки			Горючий материал				Вентиляция			Взрывоопасная зона				
	Описание	Расположение	Степень утечки[a)]	Номер горючего вещества в перечне[b)]	Температура, 0 °C	Давление, кПа	Состояние[c)]	Тип[d)]	Уровень[e)]	Готовность[e)]	Зона класса 0-1-2	Размеры зоны, м: по вертикали	Размеры зоны, м: по горизонтали	Ссылка[f)]	Другая информация и/или замечания
1	Выходное отверстие пускового газа	Над крышей укрытия	П	3	25	1000	Г	Е	Средний	Хорошая	1	5 (от выходного вентиляционного отверстия)	5 (от выходного вентиляционного отверстия)		
2	Выпускной клапан продувки компрессора	Над крышей укрытия	П	1	35	5000	Г	Е	Средний	Хорошая	1	4 (от выходного вентиляционного отверстия)	4 (от выходного вентиляционного отверстия)		
3	Клапан прекращения подачи топливного газа	Над крышей укрытия	П	3	25	50	Г	Е	Средний	Хорошая	1	2(от выходного вентиляционного отверстия)	2 (от выходного вентиляционного отверстия)		
4	Предохранительный клапан	Над крышей укрытия	В	1	149	2800	Г	Е	Средний	Хорошая	2	4 (от выходного вентиляционного отверстия)	4 (от выходного вентиляционного отверстия)		
4a	Предохранительный клапан	На газоочистителе, установленном снаружи	В	1	50	5500	Г	Е	Средний	Хорошая	2	4 (от выходного вентиляционного отверстия)	4 (от выходного вентиляционного отверстия)		
5	Выходное отверстие уплотнения штока компрессора	Над крышей укрытия	П/Н	1	25	101,325	Г	Е	Средний	Хорошая	0 или 1	1 (от выходного вентиляционного отверстия)	1 (от выходного вентиляционного отверстия)		

Продолжение таблицы

Установка: компрессор, в котором используется природный газ (анализ случая)								Чертежи D.1 D.1a							
1	2	3	4	5	6		7	8			9	10	11	12	13
№	Источник утечки			Горючий материал				Вентиляция			Взрывоопасная зона				
	Описание	Расположение	Степень утечки[a)]	Номер горючего вещества в перечне[b)]	Температура, 0 °C	Давление, кПа	Состояние[c)]	Тип[d)]	Уровень[e)]	Готовность[e)]	Зона класса 0-1-2	Размеры зоны, м: по вертикали	Размеры зоны, м: по горизонтали	Ссылка[f)]	Другая информация и/или замечания
6	Газовый двигатель	В укрытии	В	3	25	50	Г	Е	Средний	Хорошая	2	Вся внутренняя часть укрытия	Вся внутренняя часть укрытия		
6a	Компрессор	В укрытии	В	1	149	200-5000	Г	Е	Средний	Хорошая	2	Вся внутренняя часть укрытия	Вся внутренняя часть укрытия		
6b	Воздухоохладитель	Перед укрытием	В	1	50	2500-5000	Г	Е	Средний	Средняя	2	3 (от воздухоохладителя)	3 (от воздухоохладителя)		
7	Газоочиститель технологического газа	Компрессор в укрытии	В	2	50	2500	Ж	Е	Средний	Средняя	2	Вся внутренняя часть укрытия	Вся внутренняя часть укрытия		
7a	Газоочиститель технологического газа	Снаружи	В	2	50	5000	Ж	Е	Средний	Средняя	2	3 (от газоочистителя)	3 (от газоочистителя)		
8	Клапаны	В укрытии	В	½/3			Г/Ж	Е	Средний	Средняя	2	Вся внутренняя часть укрытия	Вся внутренняя часть укрытия		
8a	Клапаны	Снаружи	В	½/3			Г/Ж	Е	Средний	Средняя	2	3 (от клапанов)	3 (от клапанов)		

Окончание таблицы

Установка компрессор, в котором используется природный газ (анализ случая)								Чертежи D.1, D.1a,							
1	2	3	4	5	6		7	8			9	10	11	12	13
№	Источник утечки			Горючий материал				Вентиляция			Взрывоопасная зона				
	Описание	Расположение	Степень утечки[a]	Номер горючего вещества в перечне[b]	Температура, 0 °С	Давление, кПа	Состояние[c]	Тип[d]	Уровень[e]	Готовность[e]	Зона класса 0-1-2	Размеры зоны, м		Ссылка[f]	Другая информация и/или замечания
												по вертикали	по горизонтали		
9	Трубные соединения	Внутри помещения	В	½/3			Г/Ж	Е	Средний	Средняя	2	Вся внутренняя часть укрытия	Вся внутренняя часть укрытия		
9а	Трубные соединения	Снаружи	В	½/3			Г/Ж	Е	Средний	Средняя	2	3 (от трубных соединений)	3 (от трубных соединений)		

[a] Н — постоянная (непрерывная), В — вторая степень, П — первая степень.
[b] См часть I
[c] Г — газ; Ж — жидкость; СГ — сжиженный газ, Т — твердое вещество
[d] Е — естественная, И — искусственная.
[e] См приложение С IEC 60079-10-1
[f] Указать ссылку на свод правил, если они используются, или ссылку на расчеты

Приложение F
(справочное)

Горючий туман (аэрозоль)

F.1 Во время транспортировки жидкости при температуре не менее или превышающей температуру вспышки любая утечка должна рассматриваться с учетом стандартной классификации зон, представленной в настоящем стандарте. Если утечка происходит при температуре ниже температуры вспышки, в некоторых условиях возможно образование облака горючего тумана.

Даже жидкости, которые в соответствии с настоящим стандартом не рассматриваются как опасные при рабочей температуре, могут образовывать горючий туман, способный привести к опасности возникновения взрыва. Примерами таких жидкостей являются жидкие топлива с высокой температурой вспышки, масла теплообменников и смазочные масла.

F.2 На практике при утечке жидкости образуются капли разных размеров, при этом капли большего размера немедленно конденсируются, и лишь незначительная часть выделившейся жидкости присутствует в воздухе в виде аэрозоля. Воспламеняемость тумана зависит от его концентрации в воздухе (мелкие капли и пар), летучести и размеров капель внутри облака. Размер капель зависит от давления, при котором выделяется жидкость, свойств жидкости (прежде всего, плотности, поверхностного натяжения и вязкости) и размера и формы проема, через который происходит выделение жидкости. Обычно при более высоком давлении и меньших размерах проемов степень распыления вытекающей струи повышается, и таким образом повышается взрывоопасность. С другой стороны, чем меньше проемы, через которые происходит утечка, тем меньше интенсивность утечки и взрывоопасность.

F.3 Капли аэрозольного размера представляют собой наиболее легко воспламеняющуюся часть облака тумана. Однако они составляют лишь небольшую часть общей утечки. Эта часть может увеличиваться, если струя сталкивается с расположенной поблизости поверхностью.

Примечания

1 Аэрозоли — мелкие (от менее 1 микрона до 50 микрон) частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в атмосфере.

2 Капли аэрозольного размера могут составлять 1% от общей массы утечки в зависимости от условий утечки.

3 Облака мелких капель топлива обычно бывают трудно воспламеняемыми при отсутствии достаточной массы пара и очень мелких капель.

F.4 Вероятность образования горючего тумана при утечке жидкости в нормальном режиме работы и/или при ожидаемых неисправностях следует тщательно оценивать, также как вероятность событий, способных привести к такой утечке.

Оценка может показать, что вероятность утечки материала очень мала, или что облако тумана может образовываться только при редких неисправностях или внезапных и полных отказах. Оценки должны быть основаны на примерах или опыте работы с подобными установками. Однако, вследствие термодинамической нестабильности/сложности туманов и большого числа факторов, влияющих на образование и горючесть туманов, не для всех ситуаций могут существовать примеры. В таких случаях оценка должна основываться на соответствующих данных.

F.5 Необходимо отметить, что туман образуется не при всех утечках, например, утечки через разрушенные прокладки фланцев или сальники/сальниковые коробки, являющиеся наиболее распространенными утечками второй степени газов или паров, обычно незначительны для вязких жидкостей и в большинстве случаев вызывают капание (капеж), а не образование тумана. Это означает, что вероятность образования тумана при утечке через стыки трубопроводов, клапаны и т.д. не следует преувеличивать. При этом необходимо учитывать физические свойства жидкости, условия ее транспортировки, детали конструкции оборудования, применяемого для ее обработки, качество оборудования и наличие препятствий вблизи источника утечки.

Примечания

1 Взрывы туманов, образовавшихся при утечке жидкости при температуре ниже температуры вспышки, в обрабатывающей промышленности происходят редко. Вероятно, это связано с трудностью образования капелек достаточно малого размера при случайной утечке и, соответственно, трудностью их воспламенения.

2 Горючие туманы могут воспламеняться искрами той же энергии, что и пар, но для их воспламенения обычно необходимы очень высокие температуры поверхности. Воспламенение туманов при контакте с горячими поверхностями обычно происходит при более высоких температурах, чем температура воспламенения пара.

F.6 Если образование горючего тумана возможно, то источник утечки следует изолировать или принять меры для снижения опасности, например, используя пористые кожухи для поглощения тумана, детекторы тумана или систему подавления тумана. Если изолирующие или подобные устройства установить невозможно, зону следует считать взрывоопасной. Однако, поскольку механизмы рассеивания и критерии воспламеняемости для тумана не такие, как для газов и паров, методика классификации, приведенная в приложении В, не может быть применена.

Примечания

1. Условия, необходимые для образования горючего тумана, настолько сложны, что применим только качественный анализ. Рекомендуется определять факторы, связанные с транспортируемой жидкостью и способствующие образованию и воспламеняемости горючего тумана. Этих факторов, наряду с оценкой вероятности событий, приводящих к утечке жидкости, может быть достаточно для оценки степени опасности и принятия решения о классификации зоны по взрывоопасности.

2. Как правило, только интенсивность утечки имеет значение для определения класса зоны. В большинстве случаев это утечка второй степени. Постоянные утечки или утечки первой степени обычно связаны с оборудованием, предназначенным для распыления, например, для окраски распылением.

3. Если установлено, что зона взрывоопасная, ее следует обозначить на чертеже таким образом, чтобы она отличалась от других зон, связанных с газами или парами, например, соответствующей маркировкой.

F.7 Даже туман, не воспламеняющийся в соответствии с критериями размеров капелек, может случайно попасть на горячую поверхность (по сравнению температурой воспламенения пара) и вызвать опасность возникновения пожара. Необходимо принять меры для изоляции потенциальных утечек и предотвращения контакта тумана с горячими поверхностями.

F.8 Туман, подобно горючим парам и пыли, воспламеняется даже в минимальной концентрации. Туман, образованный невоспламеняемыми жидкостями, обычно образует густое облако, которое значительно снижает видимость.

Следует также учитывать, что туман видим, поэтому утечки можно своевременно обнаружить и устранить.

Примечание — Значения нижнего предела воспламеняемости для аэрозолей топлива равны или ниже, чем для паров топлива.

F.9 Горючий туман может образовываться внутри оборудования в связи с наличием систем смазки, разбрызгиванием или взбалтыванием в ходе технологического процесса. В связи с этим внутренние части технологической установки должны рассматриваться как взрывоопасные зоны.

В некоторых случаях такие туманы отводят в атмосферу, например, туманы от смазочного масла — через сапуны картера, выходные отверстия баков или коробок передач, что создает опасность возникновения пожара. Вместо отвода тумана рекомендуется использовать туманоуловители.

F.10 Особое внимание следует уделить ситуациям, в которых жидкости разбрызгивают специально, например, при окраске распылением. Класс зоны в таких случаях обычно устанавливают в соответствии со специальными отраслевыми правилами.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60050- 426	IDT	ГОСТ IEC 60050-426—2011 Международный электротехнический словарь. Часть 426. Электрооборудование для взрывоопасных сред
IEC 60079-0	MOD	ГОСТ 31610.0—2012 (IEC 60079-0:2004) Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 0. Общие требования
IEC 60079-20-1	—	*

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты;

Библиография

[1] IEC 60079-4 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres — Part 4: Method of test for ignition temperature (Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред — Часть 4. Метод определения температуры самовоспламенения)

[2] IEC 61285 Industrial-process control. Safety of Analyzer houses (Контроль производственных процессов. Безопасность помещений, предназначенных для работы анализаторов)

[3] Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases) — TNO Yellow Book (Нидерландская организация прикладных научных исследований. Желтая книга. Методы расчета физических воздействий в случае утечки опасных материалов (жидкостей и газов))

[4] M.J. Ivings, S. Clarke, S.E. Gant, B. Fletcher, A. Heather, D.J. Pocock, D.K. Pritchard, R. Santon and C.J. Saunders, 2008 — Area Classification for secondary releases from low pressure natural gas systems — Health and Safety Executive Research Report RR630 (М.Дж. Ирвингз, С. Кларк и др., 2008. Классификация зон для вторичных утечек из систем природного газа низкого давления. Отчет о научных исследованиях RR630 Комитета по вопросам здравоохранения и безопасности Великобритании

УДК 621.3.002:5:006.354 МКС 29.260.20 Е02 ОКСТУ 3402

Ключевые слова: электрооборудование взрывозащищенное; классификация взрывоопасных зон; зоны классов 0, 1, 2; утечка горючего вещества; степень утечки; вентиляция; уровень вентиляции; готовность вентиляции; гипотетический объем взрывоопасной среды; время существования взрывоопасной среды

Редактор *Е.А. Черепко*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 22.05.2014. Подписано в печать 06.06.2014. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал
Усл. печ. л. 6,70 + вкл. 0,47. Уч.-изд. л. 6,25 + вкл. 0.35. Тираж 57 экз. Зак. 2236.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

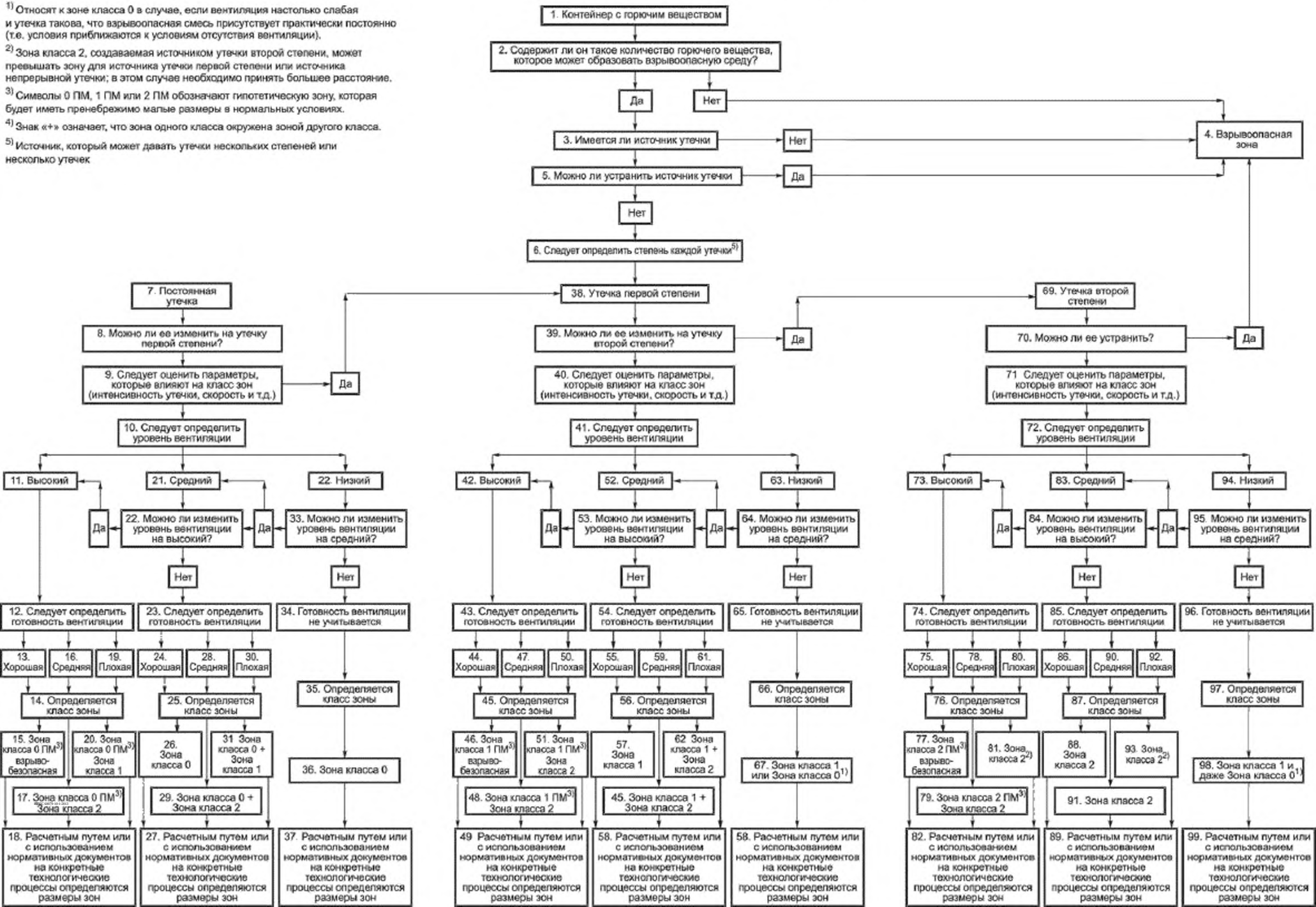
Приложение Е (справочное) – Схема классификации опасных зон

Схема Е.1 – Пример схемы классификации опасных зон

[1] Относят к зоне класса 0 в случае, если вентиляция настолько слабая и утечка такова, что взрывоопасная смесь присутствует практически постоянно (т.е. условия приближаются к условиям отсутствия вентиляции).

[2] Зона класса 2, создаваемая источником утечки второй степени, может превышать зону для источника утечки первой степени или источника непрерывной утечки; в этом случае необходимо принять большее расстояние.

[3] Символы 0 ПМ, 1 ПМ или 2 ПМ обозначают гипотетическую зону, которая будет иметь пренебрежимо малые размеры в нормальных условиях.

[4] Знак «+» означает, что зона одного класса окружена зоной другого класса.

[5] Источник, который может давать утечки нескольких степеней или несколько утечек