ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71011— 2023 (ИСО 23251:2006)

Нефтяная и газовая промышленность

МОРСКИЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Системы ограничения и сброса давления

(ISO 23251:2006, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Pressure-relieving and depressuring systems, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Газпром морские проекты» (ООО «Газпром морские проекты») и Акционерным обществом «Центральное конструкторское бюро «Коралл» (АО «ЦКБ «Коралл») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 023 «Нефтяная и газовая промышленность»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 октября 2023 г. № 1143-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 23251:2006 «Нефтяная, нефтехимическая и газовая промышленность. Системы сброса и снижения давления» (ISO 23251:2006 «Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Pressure-relieving and depressuring systems») путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА.

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта приведено в дополнительном приложении ДБ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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 (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2006
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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 1
3 Термины и определения 2
4 *Сокращения* 8
5 Причины превышения давления 9
5.1 Общие положения 9
5.2 Основные принципы защиты от превышения давления 9
5.3 Потенциальные причины превышения давления 10
5.4 Рекомендуемый состав/содержание проектной документации на систему ограничения и сброса давления 15
5.5 Перечень требуемой расчетной документации по факельному коллектору 17
5.6 Руководство по защите от вакуума 18
5.7 Перечень основных факторов превышения давления 19
6 *Факторы сброса давления* 20
6.1 Основные случаи возникновения превышения давления 20
6.2 Источники возникновения превышения давления 22
6.3 Влияние давления, температуры и состава флюида 22
6.4 Влияние скорости реакции оператора 22
6.5 Закрытые выпускные отверстия *на оборудовании или трубопроводах* 22
6.6 Отказ систем охлаждения или орошения 23
6.7 Отказ подачи потока абсорбента 24
6.8 Накопление неконденсирующихся веществ 24
6.9 Попадание парообразующего вещества в систему 24
6.10 Отказ систем автоматического управления технологическими потоками 25
6.11 Отказ системы подачи тепла для нужд технологического процесса 28
6.12 Внутренний взрыв (исключая детонацию) 28
6.13 Химическая реакция 28
6.14 Гидравлическое расширение 29
6.15 Пожар при разливах углеводородов 33
6.16 Струйное горение 43
6.17 Открытие клапанов с ручным управлением 44
6.18 Отказ электроснабжения 44
6.19 Отказ технологического оборудования 45
6.20 Снижение давления пара 48
6.21 Выбор устройств сброса давления 53
6.22 Динамическое моделирование 54
7 Выбор систем ограничения и сброса давления 54
7.1 Общие положения 54
7.2 Свойства среды, влияющие на конструкцию системы 55
7.3 Сброс в атмосферу 55
7.4 Сброс давления путем сжигания 63
7.5 Сброс в систему низкого давления 75
7.6 Сброс жидкостей и конденсируемых газов 76

8 Проектирование систем ограничения и сброса давления 77
8.1 Определение расчетной нагрузки системы 77
8.2 Выбор схемы системы 80
8.3 Проектирование элементов системы ограничения и сброса давления 83
8.4 Системы использования газа из систем ограничения и сброса давления 115
Приложение *A* (справочное) Высокоинтегрированные системы защиты (HIPS) 119
Приложение В (справочное) Специальные решения по проектированию системы 123
Приложение *C* (обязательное) Определение требований по сбросу давления при пожарах 125
Приложение *D* (справочное) Примеры расчетов по выбору размеров факельной установки с дозвуковой скоростью сжигания 128
Приложение *E* (справочное) Типовое оборудование 135
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 138
Приложение ДБ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта 139
Библиография 140

Введение

Настоящий стандарт разработан с целью совершенствования национальной нормативной базы Российской Федерации, обеспечивающей единый подход к проектированию и эксплуатации систем ограничения и сброса давления для обеспечения единого подхода к повышению технологической эффективности, эксплуатационной надежности и безопасности, обеспечения технического обслуживания и ремонтопригодности проектируемых и реконструируемых систем ограничения и сброса давления. Формирование комплекса стандартов для систем ограничения и сброса давления, в соответствии с основами национальной стандартизации и принципами гармонизации документов национальной системы стандартизации с международной, осуществляется на основе применения международных стандартов, отражающих передовой зарубежный опыт, лучшие мировые практики и современные методики проектирования.

При этом с целью повышения научно-технического уровня комплекса национальных стандартов, учета особенностей объектов и аспектов стандартизации, которые характерны для Российской Федерации, в том числе в силу ее климатических и географических факторов, а также для учета накопленного отечественного и зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации систем ограничения и сброса давления в период времени с момента ввода в действие применяемого международного стандарта техническое содержание настоящего стандарта модифицировано по отношению к применяемому международному стандарту.

При разработке настоящего стандарта также использована модифицированная форма применения международного стандарта, которая определена необходимостью внесения технических отклонений, изменения структуры и их идентификации.

Настоящий стандарт содержит общие положения, рекомендации и указания, которые следует соблюдать при разработке системы ограничения и сброса давления. Настоящий стандарт допускает использование альтернативных подходов с учетом условий конкретного месторождения для обеспечения гибкого процесса принятия решения и формирования рекомендаций по выбору оптимального решения в случае отсутствия применимых требований.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 23251:2006 «Нефтяная, нефтехимическая и газовая промышленность. Системы сброса и снижения давления» (ISO 23251:2006 «Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Pressure-relieving and depressuring systems»). При этом:

а) в раздел 1 внесена информация о применении стандарта на морских промысловых сооружениях;

б) в разделе 2 и по тексту стандарта выполнена замена ссылочных международных стандартов на ссылочные национальные и межгосударственные стандарты;

в) в разделе 3 формулировки ряда терминов и определений приведены в соответствие с национальными стандартами и ссылками на них;

г) включен раздел 4 «Сокращения»;

д) в таблице 8 раздела 7 уточнены критерии воздействия интенсивности теплового излучения на персонал;

е) раздел 7 дополнен таблицей 10 с данными о прямой солнечной радиации, учитываемой при определении предельно допустимой плотности теплового потока от пламени;

ж) раздел 7 дополнен таблицей 11 с данными о критериях повреждения тепловым излучением различных категорий оборудования;

и) раздел 8 дополнен основными положениями для проектирования трубопроводов, а также требованиями:

1) по определению расчетных параметров для проектирования трубопроводов;
2) по классификации трубопроводов;
3) к конструкции трубопровода;
4) к материалам и полуфабрикатам для трубопроводов;
5) к трубопроводной арматуре;
6) к размещению и прокладке трубопроводов, проходу через корпусные конструкции, применению фланцевых соединений;
7) к размещению трубопроводной арматуры;
8) к опорам и подвескам трубопроводов;

9) к компенсаторам, вибрации, тепловой изоляции и обогреву, защите от коррозии, опознавательной окраске и маркировочным надписям, сварке, термической обработке и контролю качества сварных соединений, испытаниям трубопроводов;

к) в разделе «Библиография» и по тексту стандарта выполнена замена ссылочных международных документов на национальные нормативные и справочные документы.

В целях улучшения понимания пользователями некоторых положений настоящего национального стандарта, а также для учета требований российских нормативных правовых актов, нормативно-технических документов и отечественной специфики проектирования, строительства и эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений в текст внесены изменения и дополнения, выделенные курсивом.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

МОРСКИЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Системы ограничения и сброса давления

Petroleum and natural gas industries. Offshore structures. Pressure-relieving and depressuring systems

Дата введения — 2023—12—30

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает порядок выбора и проектирования технологических систем ограничения и сброса давления, связанных с обращением и хранением веществ, способных образовывать паро- и газовоздушные взрывопожароопасные смеси.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения на морских промысловых сооружениях для сбора, подготовки и транспортирования углеводородной продукции (пластовая продукция, нефть, газ, газовый конденсат и т. п.), расположенных на континентальном шельфе, в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации.

1.3 Положения настоящего стандарта применяются при технологическом проектировании новых, а также при реконструкции, техническом перевооружении и капитальном ремонте действующих систем ограничения и сброса давления.

1.4 При проектировании реконструкции, техническом перевооружении и капитальном ремонте действующих систем ограничения и сброса давления положения настоящего стандарта распространяются только на реконструируемую часть, на техническое перевооружение и капитальный ремонт.

1.5 Настоящий стандарт не распространяется на проектирование систем ограничения и сброса давления:

- для производства, хранения и транспортирования сжиженных газов[1)];
- буровых платформ и буровых судов *(см. ГОСТ Р 54483)*.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.003 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.044 (ИСО 4589—84) Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

ГОСТ 12.2.063 Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.085 Арматура трубопроводная. Клапаны предохранительные. Выбор и расчет пропускной способности

ГОСТ 356 Арматура и детали трубопроводов. Давления номинальные, пробные и рабочие. Ряды

[1)] *Соответствующие положения представлены в СП 62.13330.*

Издание официальное

ГОСТ 14202 Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки

ГОСТ 31294 Клапаны предохранительные прямого действия. Общие технические условия

ГОСТ 31610.20-1 (ISO/IEC 80079-20-1:2017) Взрывоопасные среды. Часть 20-1. Характеристики веществ для классификации газа и пара. Методы испытаний и данные

ГОСТ 32569—2013 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах

ГОСТ 34233.1 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования

ГОСТ Р 12.3.047—2012 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля

ГОСТ Р 53681—2009 Нефтяная и газовая промышленность. Детали факельных устройств для общих работ на нефтеперерабатывающих предприятиях. Общие технические требования

ГОСТ Р 54483 (ИСО 19900:2013) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Общие требования

ГОСТ Р 58212 Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Производственно-технологическая зона верхнего строения морской платформы

ГОСТ Р 59374.6 (ИСО 4126-6:2014) Устройства предохранительные для защиты от избыточного давления. Часть 6. Применение, выбор и установка предохранительных устройств с разрывной мембраной

СП 62.13330 «СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы»

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 ***анализ уровней защиты*** *(layers of protection analysis; LOPA): Смешанный метод оценки риска, связанного с нежелательным событием или сценарием.*

3.2

арктические условия[1)]*: Совокупность природно-климатических условий, свойственная региону, расположенному в пределах Северного полярного круга (Арктика).*

Примечание — Отдельные характерные особенности природных арктических условий могут наблюдаться в неарктических морях с холодным климатом, например, в Охотском.

[*ГОСТ Р 58218—2018, пункт 3.2*]

3.3 **вертикальная факельная установка** (elevated flare): Факельная установка для сжигания в атмосфере сбрасываемых по вертикальному факельному стволу газов и паров.

3.4 **ветровая защита** (windshield): Устройство, предназначенное для защиты пламени от ветрового воздействия, используемое для предотвращения повреждения факельного оголовка от касающегося пламени.

3.5 **воздух для горения** (combustion air): Воздух, предназначенный для сжигания факельных газов.

3.6 **вспомогательный газ** (assist gas): Горючий газ, добавляемый к сбросному газу перед факельной горелкой или в точке сжигания в целях увеличения теплотворной способности.

3.7 **выброс в атмосферу** (atmospheric discharge): Выброс паров и газов из устройств сброса и снижения давления в атмосферу.

3.8 **выпускной трубопровод** (lateral): Участок трубопровода от фланца(ев) на выходе устройств(а) сброса давления одного источника до точки соединения с выпускным коллектором, в который подсоединяются трубопроводы от устройств сброса давления других источников.

Примечание — В выпускной трубопровод всегда направляется поток из устройства сброса давления от одного источника, при этом поток, направляемый в выпускной коллектор, может направляться как из устройства сброса давления одного источника, так и из устройств сброса давления от нескольких источников одновременно.

---

1) Английский термин — «arctic conditions».

3.9

газовый затвор[1]***:*** *Устройство для предотвращения попадания воздуха в факельную систему через оголовок при снижении расхода газа.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.2*]

3.10 **газодинамический затвор** (velocity seal): Устройство для продувки факельного оголовка (горючим газом) в режиме ожидания и поддержания горения малого огня с целью недопущения попадания воздуха в факельный ствол.

3.11 **газостатический затвор** (buoyancy seal): Устройство для предотвращения попадания воздуха в факельную систему через верхний срез факельного ствола и снижения расхода продувочного газа.

3.12 **гидравлический [водяной] затвор** (liquid seal, water seal): Устройство, направляющее поток сбросных газов через жидкость (как правило, через воду) на пути к факельной горелке, предназначенное для защиты факельного коллектора от поступления воздуха или от обратной вспышки либо для создания противодавления для факельного коллектора.

3.13 **гидраты** (hydrates): Продукты присоединения воды к неорганическим и органическим веществам.

Примечание — Кристаллогидраты — гидраты, находящиеся в твердом состоянии.

3.14 **давление настройки** (set pressure): Наибольшее избыточное давление на входе в предохранительный клапан, при котором затвор закрыт и обеспечивается заданная герметичность затвора.

Примечание — Давление настройки должно быть не менее рабочего давления в оборудовании.

3.15

давление начала открытия на стенде изготовителя *(cold differential test pressure; CDTP): Избыточное давление на входе в предохранительный клапан, при котором усилие, стремящееся открыть клапан, уравновешено усилиями, удерживающими запирающий элемент на седле клапана на стенде изготовителя [3], [4], [5], [6].*

[*ГОСТ 12.2.085—2017, пункт А.2.2*]

3.16

давление рабочее[2]***:*** *Наибольшее (максимальное) избыточное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета гидростатического давления среды и допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана.*

[*ГОСТ 12.2.085—2017, пункт 3.1.6*]

3.17 ***давление разрушения*** *(rupture pressure): Значение статического давления перед мембранным предохранительным устройством за вычетом значения статического давления за мембранным предохранительным устройством, при котором происходит разрушение предохранительной мембраны мембранного предохранительного устройства.*

3.18 **детонация** (detonation): *Режим горения, при котором по веществу распространяется ударная волна, инициирующая химические реакции горения, в свою очередь поддерживающие движение ударной волны за счет выделяющегося в экзотермических реакциях тепла.*

3.19 **дефлаграция** (deflagration): *Режим горения*, при котором фронт пламени при сгорании горючей среды распространяется с дозвуковой скоростью.

3.20 **динамическое противодавление** (built-up back pressure): Возрастание давления в отводящем трубопроводе, возникающее при прохождении потока сбрасываемой среды при полностью открытом устройстве для сброса давления.

3.21 **закрытая система утилизации** (closed disposal system): Система утилизации, способная удерживать давление, отличное от атмосферного давления.

---

[1] Английский термин — «gas seal».

[2] Английский термин — «working pressure».

Примечание — Система утилизации — комплекс технологического оборудования и технологических трубопроводов, предназначенный для безопасной утилизации газов/паров и жидкостей в технологическом процессе производства продукции.

3.22 **закрытый факел** (enclosed flare): Конструкция с одной или несколькими горелками, расположенными таким образом, чтобы пламя находилось вне области прямой видимости.

3.23 **интенсивность излучения** (radiation intensity): Локальный поток энергии излучения от пламени факела.

3.24 **клапан сброса давления** (pressure-relief valve): Клапан, рассчитанный на открытие и сброс в условиях превышения давления, а также на повторное закрытие и предотвращение последующего потока флюида после восстановления нормальных условий.

3.25

максимально допустимое рабочее давление *(maximum allowing working pressure; MAWP): Максимальное статическое давление в рабочих условиях, при котором выполняются условия прочности основных элементов оборудования, работающих под давлением. Максимально допустимое рабочее давление (MAWP) может быть как равно, так и значительно больше рабочего и/или расчетного давления.*

[*ГОСТ 12.2.085—2017, пункт А.1.1*]

3.26 **манифольд** (manifold): Система трубопроводов с необходимой запорной, регулирующей и предохранительной арматурой, предназначенная для сбора и/или распределения флюида в или от нескольких линий прохождения флюида.

3.27 **мембранное предохранительное устройство** (rupture-disk device): Устройство сброса давления без функции повторного закрытия, состоящее из разрывной предохранительной мембраны (одной или нескольких) и узла ее крепления (зажимающих элементов) в сборе с другими элементами, обеспечивающее необходимый сброс массы парогазовой смеси при определенном давлении срабатывания.

Примечание — Предохранительная мембрана разрушается при заданном давлении и освобождает при этом необходимое проходное сечение для сообщения защищаемого сосуда (трубопровода) с системой сброса давления.

3.28 ***морское промысловое сооружение*** *(offshore production platform): Объект обустройства морского месторождения углеводородов, предназначенный для выполнения работ, связанных с освоением этого месторождения.*

Примечание — В настоящем стандарте для термина «морское промысловое сооружение» применимы определения терминов «морское нефтегазопромысловое сооружение», «морская платформа», «технологическая морская платформа», «морская стационарная платформа», «морской плавучий нефтегазодобывающий комплекс», «морская добычная установка», используемых в нормативных документах Российской Федерации.

3.29 **неконденсирующийся газ** (non-condensable gas): Газ или пары, остающиеся в газообразном состоянии при заданных температуре и давлении.

3.30 **номинальная пропускная способность при сбросе давления** (rated relieving capacity): Пропускная способность при сбросе давления, используемая при выборе устройства сброса давления, определяемая в соответствии с нормативной документацией по выполнению расчета пропускной способности при сбросе и предоставляемая изготовителем устройства сброса давления.

Примечание — Пропускная способность, указанная на устройстве сброса давления, — это номинальная пропускная способность по снижению давления газа, пара, воздуха или воды.

3.31 **обогащение** (enrichment): Процесс добавления вспомогательного газа в сбросной газ.

3.32 ***падающее излучение*** *(incident radiation): Лучистая энергия, приходящая на единицу площади за единицу времени.*

3.33

перепускной клапан (pressure-relief valve, *cross valve*): Клапан, предназначенный для *периодического снижения давления в трубопроводе и оборудовании «до себя» в случае его превышения сверх установленного значения.*

[*ГОСТ 24856—2014, статья 5.6.1.15*]

3.34

пилотная (дежурная) горелка[1)]*: Горелка, которая работает непрерывно в течение всего периода использования факела.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.10*]

3.35 **подъем** (lift): Фактический ход запирающего элемента от закрытого положения при сбросе давления через клапан.

3.36 **пожар пролива** (pool fire): *Неконтролируемый процесс горения пролива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, образовавшийся вследствие аварии.*

3.37 **превышение давления** (overpressure): Давление, значение которого превышает значение максимально допустимого рабочего давления либо другого заданного давления.

Примечание — Для устройства сброса давления это величина превышения давления настройки устройства сброса давления.

3.38

предохранительная арматура *(safety valves): Арматура, предназначенная для автоматической защиты оборудования и трубопроводов от недопустимого превышения давления посредством сброса избытка рабочей среды.*

[*ГОСТ 24856—2014, статья 3.1.3*]

3.39

предохранительный клапан (safety valve): *Предохранительная арматура, конструктивно выполненная в виде клапана.*

[*ГОСТ 24856—2014, статья 5.5.2.3*]

3.40 **предохранительный клапан сброса давления** (safety relief valve): Пружинный клапан сброса давления, который может использоваться либо в качестве предохранительного клапана, либо в качестве клапана сброса давления, в зависимости от применения.

3.41 **продувка** (blowdown): Процесс сброса и исключения поступления атмосферного воздуха в оборудование и трубопроводы систем утилизации газов/паров.

3.42 **продувочный газ** (purge gas): Углеводородный или инертный газ, подаваемый в факельную систему с целью исключения поступления в нее воздуха для предотвращения образования взрывоопасной смеси.

3.43

проскок пламени[2)]: Явление, *характеризуемое уходом пламени внутрь корпуса горелки.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.9*]

3.44 **противодавление** (back pressure): Давление на выходе устройства сброса давления.

Примечание — Противодавление равно сумме статического и динамического противодавлений в системе ограничения и сброса давления.

3.45 **разрядный коллектор** (vent header): Система трубопроводов, обеспечивающая сбор сбросных газов и их подачу через разрядную емкость на свечу рассеивания.

3.46 **рассеивание** (dispersion): Растворение сбрасываемых в атмосферу газов и паров или продуктов их сгорания по мере их перемещения в атмосфере.

3.47 **расчетное давление** (design pressure): Давление, на которое производится расчет на прочность оборудования.

3.48 **резкое охлаждение** (quenching): Охлаждение флюида посредством смешивания его с другим флюидом с более низкой температурой.

[1)] Английский термин — «pilot burner».

[2)] Английский термин — «flashback».

3.49

***риск** (risk): Сочетание вероятности события причинения вреда и тяжести этого вреда.*
[*ИСО/МЭК Руководство 51:1999, определение 3.2*]

Примечание — Дальнейшее обсуждение этого определения содержится в МЭК 61508-5, приложение А.

[*ГОСТ Р МЭК 61508-4—2012, статья 3.1.6*]

3.50 **[сбросной; факельный; отводимый] газ [пары]** (relief gas, flared gas, waste gas, waste vapour): Газ или пары, отводимые или сбрасываемые в факельный коллектор для подачи на факел.

3.51 **свеча рассеивания** (vent stack): Устройство, через которое производится сброс газов и паров в атмосферу без сжигания или переработки сбрасываемого флюида.

3.52 **система снижения давления пара** (vapour depressuring system): Трубопровод с установленными предохранительными клапанами и/или устройствами, обеспечивающими быстрое снижение давления в оборудовании посредством выпуска из него паров.

Примечание — Эта система может приводиться в действие как автоматически, так и вручную.

3.53 **система управления** (administrative controls): Процедуры, нацеленные на предотвращение возможности создания помех в результате действий персонала, приводящих к нарушению защиты от превышения давления внутри оборудования.

3.54 ***система автоматической защиты** (automatic protection system): Система, в состав которой входят датчики, логические решающие устройства и исполнительные элементы, переводящие технологический процесс в безопасное состояние при выходе его параметров за предельно допустимые значения.*

Примечание — *Виды систем автоматической защиты:*
- приборная система безопасности (safety instrumented system — SIS);
- система аварийного останова (emergency shutdown system — ESD, ESS);
- высокоинтегрированная система защиты (high-integrity protection system — HIPS);
- высокоинтегрированная система защиты от превышения давления (high-integrity pressure-protection system — HIPPS);
- система безопасного останова (safety-shutdown system — SSD);
- система безопасной блокировки (safety-interlock system).

3.55 **скорость горения [пламени]** (burning velocity, flame velocity): Скорость, с которой фронт пламени перемещается внутрь несгоревшей горючей смеси.

3.56 **скорректированное давление гидроиспытания** (corrected hydrotest pressure): Давление гидростатического испытания, умноженное на отношение значения допускаемого напряжения для материала сосуда при расчетной температуре к значению допускаемого напряжения при температуре испытания.

3.57

***срыв пламени**[1)]: Явление, характеризуемое общим или частичным отрывом основания пламени над отверстиями горелки или над зоной стабилизации пламени.*
[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.11*]

3.58 **статическое противодавление** (superimposed back pressure): Статическое давление за устройством сброса давления на момент времени его срабатывания.

Примечание — Статическое противодавление может быть постоянным или переменным вследствие изменяющихся условий в системе сброса, связанных со сбросом среды от других источников и со сбросом среды через устройство сброса давления.

3.59 **стехиометрический *состав*** (stoichiometric *ratio*): Химически скорректированный состав воздуха с топливом, обеспечивающий полное сгорание смеси топлива и воздуха.

3.60 **струйное горение** (jet fire): Неконтролируемый процесс горения струи флюида, образующейся при нарушении герметичности системы, находящейся под давлением.

---

1) Английский термин — «flame blowout».

Примечание — Струйное горение может воздействовать на другое оборудование, вызывая тем самым его повреждение.

3.61 **ступенчатый факел** (staged flare): Группа, состоящая из двух и более факелов или горелок, управляемых таким образом, чтобы количество находящихся в работе факелов или горелок было пропорционально расходу сбросного газа.

3.62 **тепловыделение** (heat release): Общая теплота, выделяемая при сгорании сбросных газов, определяемая по низкой теплотворной способности.

3.63 **технологическая цистерна [сосуд]** (process tank, process vessel): Цистерна или сосуд, используемые для проведения технологических операций на морских промысловых сооружениях.

Примечания

1 К цистернам или сосудам, используемым для проведения технологических операций, могут среди прочего относиться цистерны и сосуды для сепарации, хранения, гашения пульсаций, перемешивания, очистки, изменения агрегатного состояния и состава углеводородов.

2 Сосуд — герметически закрытая емкость, работающая под давлением, предназначенная для ведения технологических процессов, а также для хранения газообразных и жидких продуктов.

3 Цистерна — емкость, работающая под атмосферным давлением, предназначенная для сбора и хранения жидких продуктов.

3.64 **удельная [скрытая] теплота** (latent heat): Теплота, высвобождаемая или поглощаемая термодинамической системой при изменении своего состояния при фазовых переходах (плавлении, парообразовании, отвердевании и т. д.), но не сопровождаемая изменением температуры.

3.65 **управляемый клапан сброса давления** (pilot-operated pressure-relief valve): Клапан сброса давления непрямого действия, в котором главный клапан сброса давления (или главное устройство сброса давления), установленный на основной трубопроводной магистрали (емкости или резервуаре) и оснащенный поршневым приводом, комбинируется с автоматическим (импульсным) вспомогательным клапаном сброса давления с меньшим проходным сечением и управляется им.

3.66 **уравновешенный клапан сброса давления** (balanced pressure-relief valve): Пружинный клапан сброса давления, в конструкции которого предусмотрены сильфоны или другие средства сведения к минимуму эффекта влияния противодавления на рабочие характеристики клапана.

3.67

уровень полноты безопасности; *УПБ [safety-integrity level (SIL)]: Дискретный уровень (принимающий одно из четырех возможных значений), соответствующий диапазону значений полноты безопасности, при котором уровень полноты безопасности, равный 4, является наивысшим уровнем полноты безопасности, а уровень полноты безопасности, равный 1, соответствует наименьшей полноте безопасности.*

Примечания

1 Меры целевых отказов (см. 3.5.17) для четырех уровней полноты безопасности указаны в МЭК 61508-1—2012 (таблицы 2 и 3).

2 Уровни полноты безопасности используют при определении требований полноты безопасности для функций безопасности, которые должны быть определены по Э/Э/ПЭ системам, связанным с безопасностью.

3 Уровень полноты безопасности (УПБ) не является свойством системы, подсистемы, элемента или компонента. Правильная интерпретация фразы «УПБ системы, связанной с безопасностью, равен n» (где n = 1, 2, 3 или 4) означает: система потенциально способна к реализации функций безопасности с уровнем полноты безопасности до значения, равного n.

[*ГОСТ Р МЭК 61508-4—2012, статья 3.5.8*]

3.68 **условия сброса давления** (relieving conditions): Давление и температура на входе в устройство сброса давления.

Примечание — Давление, подлежащее сбросу, равно сумме давления настройки клапана сброса давления (или давлению разрушения предохранительной мембраны) и значения величины превышения давления. Температура протекающего флюида в условиях сброса давления может быть как выше, так и ниже рабочей температуры.

3.69 **устройство для стабилизации пламени** (flame-retention device): Устройство, предназначенное для предотвращения отрыва пламени от факельной горелки.

3.70 **устройство с деформируемым калиброванным штифтом [стержнем]** (buckling pin device): Устройство сброса давления, срабатывающее в зависимости от величины статического дифференциального давления или статического давления на входе в результате деформации нагруженного в осевом направлении штифта/стержня, на который опирается элемент, находящийся под давлением.

3.71 ***устройство сброса давления*** *(pressure-relief device): Арматура сброса давления всех типов (клапаны, мембраны и др. или их сочетания), предназначенная для защиты оборудования и трубопроводов от превышения давления путем сброса избытка рабочей среды.*

3.72 **устройство со срезным штифтом [стержнем]** (breaking-pin device): Устройство сброса давления, срабатывающее в зависимости от величины статического дифференциального давления или статического давления на входе в результате разрыва несущей нагрузку части штифта/стержня, на которую опирается элемент, находящийся под давлением.

3.73 ***факельная система*** *(flare system): Совокупность устройств, аппаратов, трубопроводов и сооружений, предназначенных для безопасной утилизации сбросных газов безопасным для окружающей среды способом — посредством сжигания.*

3.74 **факельная установка** (flare): *Техническое устройство, предназначенное для сжигания сбрасываемых паров и газов.*

3.75

факельный коллектор[1]: *Трубопровод для сбора и транспортирования сбросных газов и паров от нескольких источников сброса.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.16*]

3.76

факельный оголовок[2]: *Устройство с пилотными горелками, служащее для сжигания сбросных газов.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.14*]

3.77 ***факельный сепаратор*** *(knockout drum): Технологическая емкость, предназначенная для ведения технологических процессов по выделению жидкости и (или) твердых частиц из газа, сбрасываемого на факельную установку.*

3.78

факельный ствол[3]*: Вертикальная труба с оголовком, с затвором (газовым или газодинамическим), средствами контроля, автоматизации, дистанционного электрозапального устройства, подводящих трубопроводов топливного газа и горючей смеси, дежурных горелок с запальниками.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.15*]

3.79 ***флюид*** *(fluid): Газ, пар, жидкость или их комбинация.*

3.80

фронт пламени[4]*: Слой, в котором происходит цепная реакция горения.*

[*ГОСТ Р 53681—2009, пункт 3.18*]

3.81 **число Маха** (Mach number): Характеристика течения газа с большими скоростями, равная отношению скорости течения газа к скорости звука в той же точке потока.

4 *Сокращения*

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ГГ — горючие газы;

---

[1] Английский термин — «flare header».

[2] Английский термин — «flare tip».

[3] Английский термин — «flare stack».

[4] Английский термин — «flame front».

ГЖ — горючие жидкости;
КИПиА — контрольно-измерительные приборы и автоматика;
ЛВЖ — легковоспламеняющиеся жидкости;
МДРД — максимально допустимое рабочее давление;
МПС — морские промысловые сооружения;
МПУ — мембранное предохранительное устройство;
НД — нормативные документы;
ПСБ — приборные системы безопасности;
HIPS — высокоинтегрированная система защиты.

5 Причины превышения давления

5.1 Общие положения

5.1.1 Целью проектирования систем ограничения и сброса давления является обеспечение безопасности, предупреждение инцидентов, аварийных ситуаций и случаев производственного травматизма при эксплуатации систем ограничения и сброса давления *на МПС*.

5.1.2 Совместно с настоящим стандартом при проектировании систем ограничения и сброса давления следует руководствоваться техническими регламентами, межгосударственными и национальными стандартами, строительными нормами и правилами, *НД по промышленной безопасности Федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере промышленной безопасности*[1)]*. При проектировании систем ограничения и сброса давления, предназначенных для эксплуатации в арктических условиях, следует руководствоваться настоящим стандартом и ГОСТ Р 58212.*

5.1.3 Проектируемые системы ограничения и сброса давления должны обеспечить безопасное и эффективное выполнение технологических процессов добычи, сбора, подготовки пластовой продукции и ее транспортирования.

5.1.4 Технологические процессы добычи, сбора, подготовки пластовой продукции и ее транспортирования, их техническое оснащение, выбор систем управления и регулирования, места установки средств контроля, управления и противоаварийной защиты должны учитываться при проектировании систем ограничения и сброса давления для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

5.1.5 Технологические решения для систем ограничения и сброса давления должны обеспечить заданные производственные характеристики и безопасность. *Обоснование технологических решений необходимо представить в проектной документации, требования к которой определены в [1].*

5.1.6 Проектный (расчетный) срок службы МПС на месторождении следует принимать в соответствии с заданием на проектирование.

5.2 Основные принципы защиты от превышения давления

5.2.1 Двойной риск

Причины превышения давления рассматриваются как независимые, если между ними отсутствуют механические, технологические или электрические связи либо если между моментами возникновения двух таких последовательных причин проходит достаточно времени, чтобы их можно было считать независимыми. Одновременное возникновение двух или более независимых причин превышения давления (т. е. двойной или множественный риск) не учитывается при проектировании. Примерами сценариев двойного риска являются: воздействие пожара одновременно с повреждением внутренней трубки теплообменника; воздействие пожара одновременно с отказом средств системы управления, которые должны обеспечивать опорожнение и сброс давления в изолированном от процесса оборудовании; ошибка оператора, приводящая к перекрытию выпускного отверстия одновременно с прекращением энергоснабжения. Прекращение подачи воздуха для КИПиА при воздействии пожара следует считать единичным риском, если воздействие пожара приводит к выходу из строя локальных линий подачи воздуха.

---

1) В соответствии с Положением о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401) функции возложены на Федеральную службу по экологическому, технологическому и атомному надзору.

В настоящем стандарте рассматриваются сценарии единичных рисков, которые необходимо учитывать. При проектировании допускается с учетом требований заказчика оценивать сценарии множественных рисков, особенно для ситуаций с возможными аварийными последствиями.

5.2.2 **Скрытые отказы**

Скрытые отказы, как правило, не считают причинами превышения давления при определении отношения рассматриваемых сценариев к единичному или двойному риску. Например, скрытые отказы могут возникать в КИПиА, что является причиной их нештатного функционирования в условиях превышения давления. Допущение о нештатном срабатывании КИПиА одновременно с причиной превышения давления, не связанной с нештатным срабатыванием КИПиА, не следует рассматривать в качестве двойного риска. Аналогично в качестве двойного риска не следует рассматривать скрытый отказ обратного клапана, в результате которого при отказе насоса возникает обратный поток.

5.2.3 **Ошибка оператора**

Ошибку оператора необходимо рассматривать в качестве потенциального источника превышения давления.

5.2.4 **Применение КИПиА в обеспечении защиты от превышения давления**

КИПиА не следует использовать как замену устройствам сброса давления с соответствующими техническими параметрами для защиты от сценариев единичного риска превышения давления. В условиях, когда использование устройств сброса давления является нецелесообразным или технически неосуществимо, необходимо применять предохранительные устройства, связанные с КИПиА.

В проектной документации должны быть соблюдены критерии приемлемости риска в соответствии с требованиями НД надзорных органов. В отсутствие критериев приемлемости риска в качестве минимального требования следует обеспечить, чтобы общий показатель безопасности работы системы, включая автоматизированные элементы системы безопасности, гарантировал соблюдение третьего уровня полноты безопасности (SIL-3). Указания по применению HIPS приведены в приложении *А*.

Условие штатного срабатывания предохранительных устройств, связанных с КИПиА, не следует принимать в качестве основного при определении величины сброса давления в отдельном технологическом оборудовании. Условие штатного срабатывания предохранительных устройств, связанных с КИПиА, необходимо рассмотреть при разработке конструкции определенных элементов системы ограничения и сброса давления, таких как выпускной коллектор, факельный ствол и факельный оголовок. При выборе обоснования для проектирования систем ограничения и сброса давления, исходя из исключенных или сниженных нагрузок сброса, обеспеченных штатным срабатыванием предохранительных устройств, связанных с КИПиА, следует учитывать количество и надежность применяемых предохранительных устройств, связанных с КИПиА. Информация по выбору параметров систем утилизации приведена в *7.1* и *8.1*.

5.3 **Потенциальные причины превышения давления**

5.3.1 **Общие положения**

Технологическое оборудование и трубопроводы должны быть рассчитаны на заданное давление в системе.

Расчет необходимо выполнять, основываясь на следующих параметрах и факторах:

- нормальном рабочем давлении при рабочих температурах;
- последствиях влияния комбинации возможных технологических отклонений;
- разности между рабочим давлением и давлением настройки устройства сброса давления;
- последствиях влияния комбинации дополнительных нагрузок, например сейсмической, волновой, ветровой и др. нагрузок.

Проектировщик технологической системы должен определить минимальную пропускную способность по сбросу давления, требуемую для того, чтобы величина превышения давления в единице оборудования технологической системы не превышала максимально допустимого кратковременного повышения расчетного давления. Причины превышения давления приведены в *5.3.2—5.3.14*. В приложении В приведено руководство по применению стандартного предохранительного устройства, предназначенного для защиты нескольких единиц оборудования от превышения давления.

5.3.2 **Закрытые выпускные отверстия сосудов**

В процессе эксплуатации технологического сосуда (далее — сосуд), работающего под давлением, несанкционированное закрытие запорного клапана с ручным управлением, перекрывающего выпускное отверстие сосуда, может привести к тому, что давление внутри оборудования превысит МДРД. Если

закрытие запорного клапана с ручным управлением на выпускном отверстии сосуда является причиной превышения давления, необходимо предусмотреть применение устройства сброса давления даже при использовании средств систем управления. Каждый запорный клапан с ручным управлением следует рассматривать как допускающий возможность несанкционированного срабатывания. Исключение запорных клапанов из состава трубопроводов между сосудами, соединенными последовательно, позволяет обеспечить уменьшение необходимого количества устанавливаемых устройств сброса давления.

Не допускается использование только средств систем управления для предотвращения превышения давления в случае, если давление, возникающее вследствие отказа средств систем управления, может превысить скорректированное давление гидроиспытания (см. *3.56*). При проектировании следует учитывать, что определенные системы характеризуются неприемлемым уровнем риска в случае отказа средств систем управления и вытекающих из этого последствий, возникающих в результате разгерметизации системы. В этом случае необходимо разработать технические решения по ограничению превышения давления более допускаемого значения. Возможность превышения давления в случае отказа средств систем управления следует рассматривать для всей системы в целом, включая и все вспомогательные технические устройства (например, разъемные соединения, КИПиА).

В процессе эксплуатации сосуда, работающего под давлением, в результате несанкционированного закрытия дистанционно управляемого клапана на его выпускном отверстии давление в сосуде может превысить МДРД. Если закрытие дистанционно управляемого клапана на выпускном отверстии сосуда является причиной превышения давления, следует предусмотреть применение устройства сброса давления. Если закрытие дистанционно управляемого клапана на выпускном отверстии может привести к превышению давления, то требуется использование устройства сброса давления. Следует учесть, что каждый регулирующий клапан необходимо рассматривать как подверженный несанкционированному закрытию.

При определении нагрузок сброса давления следует учесть, что клапаны, управляемые вручную или дистанционно, которые открыты и функционируют в момент отказа и на которые не оказывает влияния основная причина отказа, продолжают функционировать в своих нормальных рабочих положениях (см. *6.10.4*).

5.3.3 **Несанкционированное открытие клапана**

Необходимо рассмотреть несанкционированное открытие любого клапана от источника повышенного давления, например от системы пара или от систем технологических флюидов высокого давления. При этом разрабатывают технические решения по обеспечению сброса давления, если средства системы управления, определенные в *5.2.4*, предназначенные для предотвращения несанкционированного открытия клапана, отсутствуют.

5.3.4 **Отказ обратного клапана или утечка через него**

5.3.4.1 Установку одного обратного клапана не следует считать достаточным условием для предотвращения превышения давления в случае его отказа, возникающего за счет обратного потока флюида от источника высокого давления. Например, при закачке флюида в систему, содержащую пары под давлением, превышающим давление в оборудовании, установленном по технологической схеме перед нагнетателем, потери давления закачиваемого потока флюида при возникновении утечки или скрытого отказа обратного клапана в линии нагнетания приводят к появлению обратного потока флюида. При поступлении флюида высокого давления в систему низкого давления важно учитывать возможность превышения давления в системе низкого давления.

Следует учитывать, что обратный поток флюида через оборудование может привести к его разрушению и, соответственно, к разгерметизации системы. При необходимости разрабатывают дополнительные технические решения по предотвращению возникновения обратного потока флюида в системе.

5.3.4.2 При скрытом отказе одиночного обратного клапана (например, при заклинивании клапана в открытом состоянии или при поломке его запирающего элемента) необходимо обеспечить защиту от превышения давления в случаях, когда:

- максимальное рабочее давление в системе высокого давления превышает расчетное давление;
- максимальное рабочее давление в системе высокого давления превышает МДРД в сосудах, оборудовании и трубопроводах системы низкого давления, вышестоящей по технологической схеме;
- в системе высокого давления достаточно энергии для превышения давления в системе низкого давления (например, в системе высокого давления имеется паровая/газовая шапка с соответствующими параметрами).

В ходе определения пропускной способности устройства сброса давления во избежание превышения допускаемых пределов МДРД в защищаемом оборудовании при рассмотрении случая скрыто-

го отказа обратного клапана расход при обратном потоке через одиночный обратный клапан следует определять, используя характеристики нормального потока (т. е. пропускной способности обратного клапана в режиме прямого потока). Если значение пропускной способности обратного клапана неизвестно, то в качестве допущения предполагают, что обратный клапан отсутствует, и не принимают в расчет его гидравлическое сопротивление.

При безотказном функционировании обратного клапана защиту от превышения давления необходимо обеспечить в случае, если максимальное рабочее давление в системе высокого давления превышает скорректированное давление гидроиспытания оборудования, вышестоящего по технологической схеме (см. *3.56* и *5.3.2*). При проектировании следует учитывать, что определенные системы характеризуются неприемлемым уровнем риска вследствие скрытого отказа обратного клапана и последствий, возникающих в результате разгерметизации системы. В этом случае необходимо разработать технические решения по ограничению превышения давлением допускаемого значения. Возможность превышения давления во время скрытого отказа обратного клапана следует учитывать для всей системы в целом, включая все вспомогательные технические устройства (например, разъемные соединения, КИПиА).

5.3.4.3 Не допускается исключать вероятность утечки через седло обратного клапана. При проектировании следует учитывать возможность превышения давления при отделении от технологического процесса системы низкого давления, вышестоящей относительно обратного клапана в технологической схеме. Если действие оператора (например, выполняемое вручную отделение системы низкого давления от технологической системы высокого давления) рассматривается с целью предотвращения превышения давления в результате утечки через обратный клапан, то для определения уровня возможного риска следует выполнить анализ уровней защиты (LOPA) либо другой анализ опасностей технологического процесса. Выполняемый далее детальный анализ должен показать, что является наиболее предпочтительным: автоматическое отделение от технологического процесса, выбор пропускной способности устройства сброса давления с учетом возможности утечки либо другие альтернативные средства защиты. При проектировании системы необходимо определить скорость утечки через обратный клапан.

5.3.4.4 Следует учесть, что для исключения возникновения обратного потока необходимо использование двух последовательно установленных устройств предотвращения обратного потока. При возрастании дифференциального давления следует рассмотреть возможность использования дополнительных средств защиты в целях снижения риска скрытых отказов обратного клапана, приводящих к повреждению оборудования и, как следствие, к разгерметизации системы. Допускается применение других устройств предотвращения возникновения обратного потока.

Если требуемый уровень надежности последовательно установленных устройств предотвращения возникновения обратного потока обеспечить невозможно, то следует оценить величину обратного потока. Величина утечки в обратном потоке через последовательно установленные обратные клапаны зависит от типа обратных клапанов, от того, относится ли флюид к разряду загрязняющих и от других особенностей системы. Метод оценки величины обратного потока через последовательно установленные обратные клапаны определяют при проектировании системы. Максимальное ожидаемое дифференциальное давление потока на обратном клапане в требуемый момент времени следует использовать в качестве основы для выполнения расчетов скорости сброса давления.

Обратный поток через несколько последовательно установленных обратных клапанов следует оценивать как поток через одиночную диафрагму, диаметр которой составляет 10 % от диаметра номинального потока через обратный клапан с максимальным номинальным диаметром. Меньшее значение допускается использовать, если установлена система контроля работы обратных клапанов (например, индикаторы давления, подключаемые к трубопроводу между клапанами), позволяющая определить, что скорость утечки не превышает пропускную способность устройства сброса давления на стороне низкого давления.

***5.3.5* Сбои в обеспечении вспомогательными средами**

Следует принять во внимание возможные последствия сбоев в обеспечении вспомогательной средой как для установки в целом, так и в локальном масштабе. Необходимо рассмотреть случаи как полной, так и частичной потери вспомогательной среды. Важно учитывать, что частичная потеря вспомогательной среды может привести к большей нагрузке по сбросу давления, чем полное прекращение подачи вспомогательной среды, так как оборудование, увеличивающее нагрузку по сбросу давления, может оставаться в работе. В таблице 1 приведены стандартные вспомогательные среды, подача кото-

рых может быть прекращена, а также неполный перечень оборудования, на нормальную работу которого влияет потеря вспомогательной среды, что может стать причиной превышения давления.

Таблица 1 — Вспомогательные среды, подача которых может быть прекращена, и оборудование, на нормальную работу которого влияет потеря вспомогательной среды

Вспомогательная среда, подача которой прекращается	Оборудование, на нормальную работу которого влияет потеря вспомогательной среды
Электроэнергия	Насосы, обеспечивающие циркуляцию охлаждающей воды/среды, подачу воды на орошение
	Вентиляторы для теплообменников воздушного охлаждения или воздуха для горения
	Компрессоры для технологического пара, приборного воздуха, создания вакуума
	КИПиА
	Клапаны с электроприводом
Охлаждающая вода/среда	Конденсаторы для технологического процесса или вспомогательного использования
	Охладители для технологических флюидов, смазочного масла, масла для уплотнений
	Полости охлаждения вращающегося или возвратно-поступательного оборудования
Приборный воздух	Датчики и устройства управления
	Клапаны с пневматическим приводом, регулирующие параметры технологического процесса
	Системы сигнализации, защиты и останова
Пар	Турбинные приводы для насосов, компрессоров, воздуходувок, вентиляторов воздуха для горения или электрических генераторов
	Поршневые насосы
	Оборудование с прямым впрыскиванием пара
	Эжекторы
Пар/теплоноситель	Теплообменники
Топливо (жидкое, газообразное и др.)	Паровые котлы
	Промежуточные нагреватели (ребойлеры)
	Приводы насосов или электрогенераторов
	Компрессоры
	Газовые турбины
Инертный газ	Уплотнения
	Продувка КИПиА, оборудования и трубопроводов

Следует принять во внимание, что при выводе из эксплуатации оборудования по превышению давления, связанном с прекращением подачи вспомогательной среды, резервное работающее параллельно с ним оборудование при условии бесперебойной подачи предназначенной для него вспомогательной среды должно обеспечить выполнение рабочих функций в заданном объеме.

5.3.6 **Отказ технологического оборудования**

Необходимо учитывать, что отказ электрического или механического технологического оборудования, обеспечивающего охлаждение или конденсацию технологических потоков, может привести к превышению давления в сосудах.

5.3.7 **Выход из строя вентиляторов**

Вентиляторы теплообменников с воздушным охлаждением выходят из строя из-за прекращения подачи энергии или из-за отказа механической части. Следует учитывать, что отказ вентиляторов теплообменников с воздушным охлаждением, обеспечивающих охлаждение технологических потоков, может привести к превышению давления в системе.

5.3.8 **Потери тепла**

В случаях, когда потери тепла вызывают перенос легких фракций углеводородов, учитывают возможность превышения давления в оборудовании, расположенном ниже по технологической схеме.

5.3.9 **Прекращение подачи воздуха КИПиА или электроэнергии на управление**

При потере подачи воздуха КИПиА все клапаны с пневматическим приводом переходят в установленное положение при отказе. Переход клапанов с пневматическим приводом в положение при отказе может привести к превышению давления, если положения клапанов при отказе не обеспечивают предотвращение превышения давления. Аналогично при сбое в подаче электроэнергии на управление элементы системы управления и клапаны с электрическим приводом могут перейти в установленное положение при отказе.

Следует учитывать изменение нагрузки на факельную систему и систему ограничения и сброса давления в результате перехода клапанов в аварийно-открытое или аварийно-закрытое положение при прекращении подачи воздуха для КИПиА или электроэнергии на их управление.

5.3.10 **Аномальный теплоприток от ребойлеров**

Ребойлеры рассчитываются на заданное значение теплопритока. При использовании новых ребойлеров либо ребойлеров, прошедших очистку, подвод теплоты может превысить стандартное расчетное значение. В случае отказа устройств регулирования температуры количество образовавшегося пара может превысить пропускную способность технологической системы по конденсации или по ограничению давления пара. При этом необходимо учесть давление неконденсирующихся газов, образующихся при перегреве.

5.3.11 **Повреждение трубок теплообменника**

Трубки кожухотрубных теплообменников подвержены повреждениям, которые возникают вследствие различных причин, таких как тепловой удар, вибрация и коррозия. Независимо от причины поток флюида высокого давления ведет к превышению давления в оборудовании, расположенном на стороне низкого давления теплообменника. Следует определить возможности системы низкого давления по компенсации нагрузок, возникающих в случае превышения давления. При необходимости следует разработать технические решения по снижению давления потока флюида, поступающего при превышении давления из поврежденной трубки в поток с низким давлением. Подробная информация приведена в *6.19*.

5.3.12 **Скачки неустановившегося давления**

5.3.12.1 При рассмотрении системы, заполненной жидкостью, следует определить вероятность возникновения гидравлического удара. Превышение давления, возникающее при гидравлическом ударе, невозможно регулировать при помощи клапанов сброса давления из-за длительного периода времени их срабатывания. Колеблющиеся пиковые давления, действующие в течение нескольких миллисекунд, могут приводить к многократному возрастанию рабочего давления, что ведет к повреждению сосудов и трубопроводов, работающих под давлением и не оснащенных соответствующими средствами защиты. Возникновение гидравлического удара, как правило, можно предотвратить посредством ограничения (уменьшения) скорости закрытия клапанов, установленных на трубопроводах большой протяженности. В случае возможности возникновения гидравлического удара следует рассмотреть необходимость применения гасителей пульсаций или перепускных клапанов с мембранными исполнительными механизмами при условии проведения соответствующего анализа.

При возможности возникновения гидравлического удара необходимо разработать мероприятия по применению устройств для гашения пульсаций (депульсатор) или перепускных клапанов.

5.3.12.2 В трубопроводах, содержащих сжимаемые флюиды, могут возникать колеблющиеся скачки пикового давления, называемые паровым ударом. Как правило, паровой удар происходит при быстром закрытии клапана. Эти колеблющиеся пиковые скачки давления действуют в течение нескольких миллисекунд с возможным многократным возрастанием рабочего давления, приводящим к вибрации и значительным смещениям трубопроводов; не следует исключать и разрушение оборудования. Клапаны сброса давления невозможно использовать в качестве эффективных защитных устройств по причине больших значений времени их срабатывания. Возникновение парового удара можно предотвратить исключением применения быстро закрывающихся клапанов.

5.3.12.3 В процессе выделения пузырей пара, вызванного воздействием холодного конденсата, при определенных условиях пузыри могут начать быстро лопаться, приводя к аварийному повреждению системы паропроводов (конденсатный удар). При проектировании технологической системы необходимо разработать мероприятия по исключению возможности резкого схлопывания пузырей пара (например, предусмотреть дренажные устройства, паровые ловушки, обеспечить необходимый уклон трубопроводов и безопасное квалифицированное управление процессом).

Устройства сброса давления невозможно использовать в качестве эффективных защитных устройств при росте давления, вызванном образованием пузырей пара.

5.3.13 **Пожары на установке**

Пожар как основная причина превышения давления в оборудовании, входящем в состав установки, рассматривается в *6.15*.

Для сведения к минимуму величины превышения давления, возникающего при взаимодействии оборудования с огнем в случае пожара, следует применять устройства инициирования управляемого останова либо отдельные индивидуальные системы ограничения давления для технологических блоков.

Для ограничения количества образующегося пара и возможного распространения огня следует также предусмотреть отвод жидкостей из систем. Заполняющую сосуд жидкость, требуемую для нормальной эксплуатации установки, необходимо использовать для поддержания заданной безопасной температуры стенок сосуда, при этом она не требует применения систем для обязательного отвода. При необходимости разрабатывают технические решения либо по обеспечению изоляции парового пространства сосуда и применению охлаждающей воды на наружной стороне сосуда, либо по ограничению давления в сосуде с использованием системы ограничения давления пара.

При проектировании рабочей зоны следует предусмотреть разработку соответствующих дренажных систем, обеспечивающих сбор и предотвращение распространения воспламеняющихся жидкостей из одной рабочей зоны в другую. В каждую рабочую зону необходимо обеспечить свободный доступ для персонала, выполняющего тушение пожара, и для перемещения оборудования пожаротушения. Пожарные гидранты, оборудование пожаротушения и пожарные стволы следует размещать в легкодоступных местах.

Способность изоляции обеспечивать снижение нагрузки сброса давления необходимо учитывать при условии соблюдения критериев по *6.15.5*.

5.3.14 **Изменения в технологическом процессе/химические реакции**

При определенных химических реакциях и процессах потеря управления технологическим процессом может привести к значительному изменению температуры и/или давления. При этом могут быть превышены допускаемые предельные характеристики применяемых материалов. Так, в технологических процессах, связанных с криогенными флюидами, снижение давления может вызвать снижение температуры флюидов до значений ниже минимально допустимой расчетной температуры оборудования с риском возникновения низкотемпературных повреждений. При протекании экзотермических реакций (например, реакций распада, растворения кислот, полимеризации) недопустимо высокие температуры и/или давления, возникающие при выходе реакции из-под контроля, могут привести к снижению допускаемых величин напряжения до значений, находящихся ниже расчетных, либо к росту давления до значений, превышающих МДРД. В случаях, когда штатные устройства сброса давления не могут обеспечить защиту от таких процессов, следует предусмотреть средства контроля и управления, предупреждающие персонал о выходе значений температуры/давления за допустимые пределы для выполнения им корректирующих действий (см. *6.9, 6.10* и *6.13*).

При необходимости следует рассмотреть возможность протекания химической реакции совместно с другими сценариями превышения давления по *5.3*.

5.4 Рекомендуемый состав/содержание проектной документации на систему ограничения и сброса давления

В перечень пунктов, следующих в алфавитном порядке, включены категории минимальной рекомендуемой информации, необходимой для выполнения проекта системы ограничения и сброса давления в целом. В перечне пунктов приведена информация, которая может быть приемлемой для каждой категории в зависимости от специфики установки:

а) информация о системе ограничения и сброса давления:
   1) название,
   2) местоположение,

3) идентификационные номера устройств сброса давления (для нескольких устройств или для комбинации устройств),
4) номер и дата ревизии,
5) согласование, если требуется,
6) отчет по устройству (для нескольких устройств);

b) описание защищаемых компонентов:
1) перечень оборудования, с расчетными условиями,
2) трубопроводы, с расчетными условиями,
3) чертежи и файлы с техническим описанием оборудования (например, схемы трубопроводов и КИПиА, чертежи оборудования, схемы технологических потоков и т. д.);

c) анализ случаев превышения давления в системе:
1) требуемая пропускная способность и/или площадь проходного сечения устройства сброса давления для каждого случая,
2) подтверждающие расчеты и допущения,
3) схема системы,
4) тепловой и материальный балансы,
5) рассмотрение причин превышения давления,
6) учет в расчете штатного срабатывания системы противоаварийной автоматической защиты, включая уровень полноты безопасности и соответствующие расчеты надежности;

d) условия эксплуатации системы:
1) состав флюида,
2) давление,
3) температура,
4) уровень,
5) фаза,
6) опасности (например, наличие воздуха);

e) условия сброса давления в системе:
1) состав флюида,
2) давление сброса,
3) температура сброса,
4) фаза,
5) свойства,
6) опасности (например, наличие воздуха);

f) выбор/тип оборудования сброса давления:
1) мембранное предохранительное устройство,
2) пружинный клапан сброса давления,
3) уравновешенный клапан для сброса давления,
4) управляемый клапан сброса давления,
5) устройство с деформируемым калиброванным штифтом/стержнем,
6) комбинации устройств,
7) прочее;

g) площадь проходного сечения системы ограничения и сброса давления:
1) клапан сброса давления;

h) функциональные возможности системы ограничения и сброса давления для МПУ:
1) статическое противодавление,
2) сопротивление системы;

i) номинальная пропускная способность клапана сброса давления:
1) давление настройки устройства сброса давления;

j) давление начала открытия на стенде изготовителя пружинного клапана сброса давления;

k) корректировка пропускной способности клапана сброса давления на максимальное противодавление:
1) прирост противодавления,
2) максимальное и минимальное статическое противодавление;

l) заданное давление разрушения предохранительной мембраны МПУ и выбор заводского расчетного диапазона;

m) заданная температура разрушения предохранительной мембраны МПУ;

n) требования, выдвигаемые к системе утилизации флюида при сбросе давления (закрытая система утилизации либо система утилизации в атмосферу):

1) факел,
2) локальный перегрев металлической стенки оборудования/трубопровода, вызванный воздействием на него пламени при струйном пожаре,
3) тепловыделение;
4) рассеивание (токсичные или легко воспламеняемые пары),
5) взрыв облака паров,
6) прочее (подверженность персонала воздействию, шумы, административно-хозяйственная деятельность и пр.),
7) отделение паров от жидкости,
8) экологические факторы,
9) вентиляционные отводы газов и/или паров из технологических цистерн в безопасную зону,
10) бездымное горение;

o) установка устройства сброса давления:

1) анализ напряжений, возникающих в трубопроводе,
2) дренаж из входных и выходных линейных трубопроводов,
3) электрообогрев и теплоизоляция,
4) вопросы, относящиеся к техническому обслуживанию,
5) силы реакции,
6) стоки и сливные устройства;

p) падение давления во входном трубопроводе клапана сброса давления;

q) критерии защиты от вакуума (см. *5.6*);

r) технологический регламент опасного производственного объекта в соответствии с [2].

5.5 Перечень требуемой расчетной документации по факельному коллектору

Документация с расчетами факельного коллектора должна включать:

- для каждого расчетного сценария факельного коллектора: описание инициирующего события и промежуточных последствий, приводящих к сбросу потока флюида. Например, для случая прекращения электроснабжения в данное описание следует включать основной элемент, который, по допущению, выходит из строя, перечень всех потребителей электроэнергии, которые будут обесточены в результате этого, и последствия потери каждого потребителя;

- документацию с описанием проектных решений, используемых для определения конфигурации факельной системы для имитационной модели потоков в сети трубопроводов. Необходимо, чтобы эта документация включала перечень чертежей трубопроводов с указанием номеров ревизий. Для альтернативных конфигураций трубопроводов изменения должны быть отражены на схеме системы либо приведены в текстовом виде;

- схему факельной системы с указанием перечня величин давления для каждого рассматриваемого варианта. В перечне величин давления следует указать и противодавление для каждого источника сброса давления;

- электронные копии файлов входных данных, используемые для имитации потоков в сети трубопроводов;

- спецификации данных по выбору параметров клапана сброса давления с указанием изготовителя клапана (для существующих клапанов), тип клапана, давление настройки, а также номинальные технические характеристики входных и выходных фланцев;

- перечень нагрузок систем утилизации (например, нагрузка от устройств сброса давления, клапанов сброса давления, регулирующих клапанов), включая названия источников (сброса), температуру, молекулярную массу («молекулярный вес») или состав, и расход;

- перечень всех элементов, правильность срабатывания которых принимается в расчет при снижении или исключении пиковых нагрузок систем утилизации, включая КИПиА (подробная информация приведена в *8.1.4*);

- перечень КИПиА, не предназначенных для работы по каждому варианту сброса давления, и обоснование для выбора комбинации отказов;

- ограничение по противодавлению для каждого источника и обоснование для этого ограничения (например, расчетное давление в трубопроводе, расположенном после источника по технологической схеме, требования изготовителя, критический расход либо низкая номинальная пропускная способность клапана);

- критерии приемлемости для пропускной способности факельной системы, включая исходные данные для проектирования факельного сепаратора, факельного ствола, факельного оголовка и др.

5.6 Руководство по защите от вакуума

Основные факторы, из-за влияния которых существует риск повышения рабочего давления, приведены в *5.3*. Следует учитывать, что при других условиях влияние тех же факторов может привести к падению рабочего давления до такого значения, что потребует принятия технических решений по защите от вакуума для предотвращения повреждения оборудования.

Необходимо принять во внимание, что сосуды больших объемов и оборудование с большими габаритными размерами, рассчитанные на низкие значения рабочего давления, более уязвимы к воздействию вакуума по сравнению с сосудами меньших объемов, для которых, как правило, предусматривается возможность эксплуатации в условиях вакуума.

Примечание — Определение возможности работы сосуда в условиях вакуума, включая расчеты прочности сосудов различных габаритных размеров при воздействии вакуума, выполняется при проектировании конкретного МПС.

При наличии в конструкции оборудования внутренних перегородок следует рассмотреть возможность образования вакуума в одном из отсеков, ограниченном ими. Следует учитывать, что данное требование распространяется на кожухотрубные теплообменники, рассчитанные исходя из дифференциального давления по разные стороны трубной решетки. При падении давления на одной из сторон трубной решетки до вакуумметрического значения, значение предела по дифференциальному давлению может быть превышено.

Состояние вакуума возникает в результате выполнения следующих условий, как по отдельности, так и в комбинации:

- объемный расход рабочей среды на выходе превышает расход на входе защищаемой системы;

- поток энергии на выходе защищаемой системы превышает поток энергии на ее входе, либо возникает фазовый переход, сопровождающийся уменьшением удельного объема среды.

Возможные причины возникновения вакуума:

a) отвод жидкости из сосуда посредством откачки или опорожнение самотеком;

b) отвод паров из сосуда посредством подключения к нему насосов/компрессоров или другого оборудования, способного создавать вакуум (либо специализированного оборудования для создания вакуума, например вакуумных насосов и эжекторов, либо оборудования, способного создавать вакуум в качестве побочного действия, например систем сбора отводимых паров, в которых поток среды через коллектор может создать вакуум в другом оборудовании);

c) изменение окружающей температуры, приводящее к уменьшению объема парового пространства (как правило, влияет только на технологические цистерны хранения);

d) конденсация пара, выполняемая либо посредством длительного теплообмена на конденсаторе (например, в результате отказа от повторного испарения во фракционной колонне или в колонне регенерации), либо посредством поэтапного теплообмена (например, в случае охлаждения оборудования после пропаривания или останова установки), либо посредством нагнетания холодной среды в паровое пространство (например, в результате невыполнения предварительного подогрева);

e) физическая абсорбция или адсорбция, например процесс поглощения паров жидким абсорбентом (например, поглощение аммиака водой), продолжающийся в результате нештатного поступления абсорбента после останова технологического процесса;

f) химическая абсорбция (например, длительное поглощение кислого газа или углекислоты абсорбентом);

g) прочие химические реакции, в результате которых пары отводятся из парового пространства;

h) несанкционированное перекрытие трубопроводов вентиляции, обеспечивающих возможность притока газа или паров для предотвращения возникновения вакуума. Для защиты от вакуума следует применять следующие подходы (один или их комбинацию):

1) соблюдение правил эксплуатации системы,

2) проектирование механической системы как самого надежного вида защиты,
3) проектирование системы ограничения и сброса давления с применением только оборудования низкого давления и соответствующей конструкции клапана сброса давления или отвода газа/паров в атмосферу,
4) применение системы контроля и защиты, предназначенная для обеспечения подачи газа в защищаемую систему с целью исключения возможности превышения значения критического давления вакуума.

Для нового оборудования в качестве варианта защиты от возможного образования вакуума следует рассматривать применение оборудования, способного выдерживать полный вакуум.

Необходимо учитывать, что если малогабаритное оборудование[1)] может иметь необходимый запас прочности от воздействия вакуума, то крупногабаритное оборудование[1)] для обеспечения возможности эксплуатации в условиях вакуума может потребовать увеличения толщины металла либо применения вакуумных опорных колец. При использовании вакуумных опорных колец для уменьшения скорости коррозии следует обеспечить дренаж жидкости, собирающейся в секциях, ограниченных кольцами, и поддержание дренажных отверстий свободными от засорения.

При проектировании системы, предназначенной для защиты от вакуума, необходимо учитывать, что расчетное давление для этой системы должно соответствовать расчетному давлению для защищаемого оборудования.

Для предупреждения возможности превышения значения критического давления вакуума допускается использовать систему контроля и защиты (либо системы, обеспечивающие защиту посредством управления технологическим процессом, либо HIPS) или систему восстановления давления, обеспечивающую дополнительную подачу газа. Для системы дополнительной подачи газа следует применять инертный газ (азот) или топливный газ.

5.7 Перечень основных факторов превышения давления

В качестве основных факторов, определяющих процессы превышения давления, следует принимать:

- источники повышения давления;
- влияние давления, температуры и состава флюида;
- влияние скорости реакции оператора;
- закрытые выпускные отверстия;
- отказ системы охлаждения или системы орошения;
- отказ подачи потока абсорбента;
- накопление неконденсирующихся веществ;
- попадание парообразующего вещества в систему;
- отказ систем автоматического управления технологическим потоком;
- отказ системы подачи тепла для нужд технологического процесса;
- внутренний взрыв (исключая детонацию);
- химические реакции;
- гидравлическое расширение;
- пожар при разливах углеводородов;
- струйное горение;
- открытие клапанов с ручным управлением;
- отказ подачи электропитания;
- отказ технологического оборудования;
- снижение давления пара;
- выбор устройств сброса давления.

Описание основных факторов превышения давления приведено в разделе 6.

[1)] Габариты оборудования и его прочность при воздействии вакуума определяют при проектировании конкретного МПС.

6 *Факторы сброса давления*

6.1 Основные случаи возникновения превышения давления

Следует обеспечить проведение оценки диапазонов скоростей сброса при превышении давления в системе, включающей экономическое, функциональное и технологическое обоснование и обеспечивающей безопасность эксплуатации системы и персонала.

В таблице 2 представлен перечень рекомендаций по выбору требуемых скоростей сброса давления.

Подробный анализ приведен далее в разделе 6.

Таблица 2 — Рекомендации по выбору требуемых скоростей сброса давления

Условие	Рекомендации, определяющие скорость сброса давления жидкости*	Рекомендации, определяющие скорость сброса давления паров**
Закрытые выпускные отверстия на сосудах	Максимальная пропускная способность при закачке жидкости	Общее количество поступающего пара плюс количество пара, образующегося при условиях сброса давления
Нарушение подачи охлаждающей воды на конденсатор	—	Общее количество паров, поступающее в конденсатор при условиях сброса давления
Нарушение подачи флегмы на орошение в верхнюю часть ректификационной колонны	—	Общее количество поступающего пара и паров (углеводородов) плюс количество, образованное при условиях сброса давления, минус количество паров, сконденсировавшихся под действием орошения боковых погонов
Нарушение подачи флегмы на орошение боковых погонов	—	Разность между количеством паров, поступающих в оборудование и выходящих из него при условиях сброса давления
Нарушение подачи регенерированного абсорбента в абсорбер	—	Сброс давления не производится, *кроме установки для удаления кислых газов (см. 6.7)*
Накапливание неконденсирующихся веществ	—	*Для колонн — общее количество паров, поступающее в конденсатор при условиях сброса давления. Для других сосудов — общее количество поступающего пара плюс количество пара, образующегося при условиях сброса давления*
Поступление парообразующего вещества	—	—
Попадание воды в горячие нефтепродукты	—	*Исключить процесс подачи воды в горячую нефть (см. 6.9.1)*
Попадание легких углеводородов в горячие нефтепродукты	—	*Исключить процесс попадания легких углеводородов в горячую нефть (см. 6.9.2).* Для теплообменников при расчете паров, образующихся при попадании парообразующего флюида при разрыве трубы, следует принимать площадь, равную двойному поперечному сечению одной трубы
Переполнение сосуда хранения или уравнительного сосуда	Макимальная пропускная способность при закачке жидкости	—
Отказ органов автоматического управления	—	*См. 6.10*
Аномальная теплота процесса или поступление пара	—	Максимальное количество образующихся паров, включая неконденсирующиеся пары от перегрева

Окончание таблицы 2

Условие	Рекомендации, определяющие скорость сброса давления жидкости*	Рекомендации, определяющие скорость сброса давления паров**
Повреждение трубок теплообменника	Количество жидкости, поступающее через разрыв, принимаемый равным двукратной площади поперечного сечения одной трубки	Количество пара или паров, парообразующего флюида, поступающих через разрыв, принимаемый равным двукратной площади поперечного сечения одной трубки флюида
Внутренние взрывы	—	*См. 6.12*
Химическая реакция	—	Количество паров, образующихся при нормальных и неконтролируемых условиях; необходимо учитывать двухфазные явления
Гидравлическое расширение: - прекращение подачи холодного флюида	См. *6.14*	—
- отсечка линий вне технологической зоны	См. *6.14*	—
Внешнее горение***	См. *6.15.3.3*	Количество теплоты, поглощаемое сосудом, содержащим жидкость или только газы/пары (*см. 6.15.2.2*). Количество теплоты, поглощаемое сосудом, содержащим жидкости, пары, либо флюиды в смешанной фазе жидкости и пара (*см. 6.15.3.2*)
Отключение подачи энергии (пар, электрическая или иная энергия)	—	Определить влияние отключения подачи энергии на установку. Типоразмер клапана сброса давления выбирается для худшего из возможных вариантов
Ректификационные колонны	—	*Останов всех насосов с прекращением подачи:* *- флегмы на орошение: общее количество поступающего пара и паров (углеводородов) плюс количество, образованное при условиях сброса давления, минус количество паров, сконденсировавшихся под действием орошения боковых погонов;* *- охлаждающей воды на конденсатор: общее количество паров, поступающее в конденсатор при условиях сброса давления*
Реакторы	—	Рассматривается отказ процесса перемешивания, закалки (резкого охлаждения) либо замедления потока. Типоразмер клапанов определяется количеством образующегося пара при неуправляемой реакции
Теплообменники с воздушным охлаждением	—	Отказ вентилятора. Типоразмер клапанов определяется разностью между нормальной и аварийной нагрузкой
Уравнительные сосуды	—	Максимальный расход жидкости на входе

* Допускается рассмотреть возможность снижения скорости сброса давления в силу того, что давление сброса выше рабочего давления.

** Предотвращение разрушения установки регулируется размером площади сбросных сечений предохранительных устройств, вскрытие которых позволяет защитить от избыточного давления внутренних дефлаграционных взрывов в соответствии с *ГОСТ Р 12.3.047—2012 (приложение Н)*.

*** Руководство по сбросу давления при пожарах приведено в приложении *С*.

6.2 Источники возникновения превышения давления

Скорости сброса жидкости или паров, на основании которых устанавливаются требования к сбросу давления, необходимо определять на основе подвода энергии следующих видов:

- подводимая теплота, увеличивающая давление через испарение или тепловое расширение;
- непосредственно подводимое давление от источников высокого давления.

Следует учитывать, что превышение давления больше допускаемого значения определяют одним или обоими видами подводимой энергии.

Пиковая индивидуальная скорость сброса давления — это максимальная скорость, с которой должно снижаться давление, чтобы защитить оборудование от превышения давления, вызванного любой причиной. Считают, что вероятность одновременного возникновения двух невзаимосвязанных отказов является малой величиной и, как правило, не требует рассмотрения.

6.3 Влияние давления, температуры и состава флюида

Скорость образования паров меняется с изменением состояния равновесия вследствие повышения давления в ограниченном пространстве и содержания теплоты в потоках, которые продолжают поступать в оборудование и выходить из него.

При сбросе давления необходимо определить изменения скоростей образования паров и относительных молекулярных масс за различные интервалы времени для определения пиковой скорости сброса давления и состава паров.

Следует учитывать, что давление сброса может быть больше критического давления (или псевдокритического давления) компонентов в системе. В таких случаях при расчете отношений плотность — температура — энтальпия для жидкости в системе необходимо учитывать поправки на сжимаемость. В случае превышения давления вследствие поступления избыточного количества флюида избыточную массу необходимо сбрасывать при температуре, определяемой при равенстве энтальпии на входе и энтальпии на выходе системы.

Необходимо принимать во внимание, что в системе, которая не имеет притока или оттока флюида, при превышении давления вследствие подвода сторонней избыточной теплоты сбрасываемое количество флюида из системы представляет собой разность между начальным количеством флюида и его рассчитанным остаточным количеством в системе по истечении заданного промежутка времени. Суммарная сторонняя подводимая энтальпия равна общему увеличению энтальпии исходного флюида в системе, независимо от того, остается он в системе или сбрасывается. При расчете или построении графика суммарной величины сброса в зависимости от времени можно определить максимальную мгновенную скорость сброса давления. Этот максимум, как правило, находится рядом со значением критической температуры. В таких случаях допущение об идеальном газе может быть весьма консервативным и уравнение (*7*) (см. *6.15.2.2*) дает завышенный типоразмер клапана сброса давления. Данное уравнение допускается использовать только в случаях, когда неизвестны физические характеристики флюида.

6.4 Влияние скорости реакции оператора

Диапазон времени для реагирования и принятия решения оператором по сбросу давления должен составлять от 10 до 30 мин в зависимости от сложности установки. Эффективность быстроты реакции оператора зависит от динамики технологического процесса.

6.5 Закрытые выпускные отверстия *на оборудовании или трубопроводах*

Следует учитывать, что для защиты сосуда или системы от превышения давления при всех закрытых отверстиях на выходах сосуда или системы пропускная способность устройства сброса давления должна быть не меньше пропускной способности источников давления. В случае если закрыты не все выпускные отверстия, то допускается соответственно учитывать пропускную способность открытых выпускных отверстий. К источникам превышения давления больше допускаемого значения следует относить насосы, компрессоры, коллекторы высокого давления, отпарные газы из секций насыщенного абсорбента и технологического нагрева. Необходимо учитывать, что для теплообменников закрытое выпускное отверстие может вызывать превышение давления больше допускаемого значения из-за теплового расширения (см. *6.14*) или образования паров.

Количество сбрасываемого флюида следует определять при условиях, соответствующих условиям сброса давления, а не при нормальных рабочих условиях, т. к. при учете указанных различий в ус-

ловиях требуемая скорость сброса давления, как правило, уменьшается. При определении требуемой скорости сброса давления следует учитывать влияние потерь давления на трение в технологической линии между источником превышения давления больше допускаемого значения и системой, подлежащей защите от превышения давления.

6.6 Отказ систем охлаждения или орошения

6.6.1 Общие положения

Требуемую скорость сброса давления необходимо определять тепловым и материальным балансом потока в системе при сбросе давления. Следует учитывать, что в системах ректификации при определении скорости сброса давления может потребоваться расчет как с учетом орошения (ректификационной колонны флегмой), так и без ее орошения. Как правило, при отказе системы и прекращении подачи потока охладителя влияние эффекта остаточного охлаждения учитывать не следует, так как его влияние ограничено по времени и зависит от трассировки системы трубопроводов. Допускается учитывать влияние потерь тепла в окружающую среду для систем технологических трубопроводов без тепловой изоляции, имеющих большую протяженность[1)].

Допускается при определении скоростей сброса давления принимать допущения, приведенные в *6.6.2*—*6.6.9*.

6.6.2 Общая конденсация

Требуемая скорость сброса давления — это общая скорость парообразования на входе в конденсатор, пересчитанная при температуре, соответствующей новому составу паров при условиях сброса давления и подводу теплоты, преобладающему на момент сброса давления. При отказе системы охлаждения в процессе сброса пропускную способность верхнего накопителя при нормальном уровне жидкости следует ограничивать по времени меньше чем 10 мин. Необходимо учитывать, что при прекращении процесса охлаждения на более длительное время орошение (ректификационной колонны флегмой) нарушается и состав дистиллята, температура и скорость парообразования изменяются.

6.6.3 Частичная конденсация

Требуемая скорость сброса давления представляет собой разность между скоростью парообразования на входе и выходе при условиях сброса давления. Скорость парообразования на входе необходимо рассчитывать на той же основе, которая применяется в *6.6.2*. Необходимо учитывать, что при изменении состава или скорости орошения ректификационной колонны флегмой скорость парообразования на входе в конденсатор должна быть определена для новых изменившихся условий эксплуатации.

6.6.4 Отказ вентилятора теплообменника с воздушным охлаждением

Вследствие воздействия естественной конвекции принимают допущение, что величина частичной конденсации составляет от 20 % до 30 % от нагрузки теплообменника с воздушным охлаждением при нормальном режиме его работы, если не определены особые условия его работы при сбросе давления. При этом требуемую скорость сброса давления следует рассчитывать исходя из оставшихся 70 % — 80 % нагрузки теплообменника с воздушным охлаждением при нормальном режиме его работы в зависимости от условий эксплуатации (см. *6.6.2* и *6.6.3*). Фактический рабочий цикл при естественной конвекции, как правило, зависит от конструкции теплообменника с воздушным охлаждением.

6.6.5 Закрытие вентиляционной заслонки теплообменника с воздушным охлаждением

Следует принять во внимание, что закрытие вентиляционной заслонки на теплообменниках с воздушным охлаждением приводит к полной потере охлаждения. Закрытие вентиляционной заслонки может произойти в результате отказа устройств автоматического управления и/или элементов конструкции.

6.6.6 Линия выхода пара

Необходимо учитывать, что отказ подачи флегмы на орошение (ректификационной колонны), вызванный, например, остановом насоса или закрытием клапана, приводит к заполнению конденсатора ректификационной колонны, что равнозначно полной потере охлаждения. Изменения в составе, вызванные потерей орошения, могут приводить к образованию паров с другими свойствами, что влияет на требуемую скорость сброса давления. Устройство сброса давления, рассчитанное на полный отказ подачи охладителя, должно обеспечить сброс, но каждый случай необходимо рассматривать отдельно, учитывая особенности конкретных компонентов в составе сбрасываемых паров и рассматриваемой системы.

[1)] *Протяженность определяют при проектировании конкретного МПС.*

***6.6.7* Линия циркуляционного орошения**

Следует учитывать, что требуемая скорость сброса давления равна скорости испарения, вызванного количеством теплоты, равного тому, которое отводится в линию циркуляционного орошения. Необходимо принять во внимание, что удельная теплота (скрытая теплота) парообразования соответствует удельной теплоте (скрытой теплоте) при температуре и давлении, соответствующим условиям сброса давления в точке сброса давления.

***6.6.8* Линия выхода пара и линия циркуляционного орошения**

При проектировании линий выхода пара и циркуляционного орошения предусматривают технические решения, позволяющие исключить возможность одновременного отказа циркуляционного насоса и конденсатора верхнего погона ректификационной колонны. При этом следует учитывать возможность того, что отказ одного из них приведет к отказу другого. Требуемая скорость сброса давления рассматривается в *6.6.6* и *6.6.7*.

***6.6.9* Отказ в системе орошения бокового погона**

Следует учитывать, что принципы, приведенные в *6.6.6* и *6.6.7*, применимы к заполнению конденсатора верхнего погона ректификационной колонны (если конденсатор входит в систему) или изменению в свойствах паров, вызванных изменениями его состава. Требуемая скорость сброса давления должна обеспечить уменьшение скорости процесса парообразования, вызванного количеством теплоты, отводимым из системы.

6.7 Отказ подачи потока абсорбента

Необходимо принять во внимание, что при отказе подачи абсорбента в процессе поглощения углеводородов регенерированным абсорбентом сброс давления производить не требуется. При этом учитывают, что в установке для удаления кислых газов, в которой количество (25 % или больше) входящих паров удаляется в абсорбере, потеря абсорбента может вызвать увеличение значения давления до давления сброса, так как расположенная ниже по технологической схеме система может не обеспечить переработку увеличившегося потока паров. Следует учитывать, что превышение количества углекислого газа, поступающего в реактор очистки синтез-газа, больше проектной величины, которое происходит при нарушении подачи абсорбента, приводит к быстрому росту температуры, что требует закрытия отсечного клапана на входе потока в реактор очистки синтез-газа и открытия клапана отвода газов в атмосферу с целью защиты от возможного превышения давления.

Необходимо принять во внимание, что кроме учета реакций, происходящих в трубопроводах, расположенных за абсорбером, должно быть учтено влияние расположенных ниже по технологической схеме за абсорбером технологических установок.

6.8 Накопление неконденсирующихся веществ

При проектировании систем трубопроводов следует исключить возможность накопления в них неконденсирующихся веществ и, как следствие, перекрытия свободного поступления паров в конденсатор верхнего погона ректификационной колонны, что равнозначно полной потере охлаждения.

6.9 Попадание парообразующего вещества в систему

***6.9.1* Вода в горячей нефти**

Необходимо учитывать, что поступление воды в горячую нефть является потенциальным источником превышения давления. При известном количестве воды и тепла в технологическом потоке типоразмер устройства сброса давления следует определять как типоразмер клапана, обеспечивающего проход соответствующего потока пара. Принимают во внимание, что при переходе фазового состояния потока флюида от жидкости к парам объемное расширение составляет 1:1400 при атмосферном давлении и скорость парообразования при этом практически мгновенная, что исключает применение устройства сброса давления, так как время открытия устройства сброса давления не обеспечивает заданных параметров сброса. При проектировании и эксплуатации технологической системы требуется исключить процесс подачи воды в горячую нефть. Для исключения поступления воды в горячую нефть следует рассмотреть возможность применения следующих мероприятий:

- нахождения водяной стороны при более низком рабочем давлении, чем сторона горячей нефти;
- поддержания минимальной циркуляции горячей нефти через оборудование в дежурном режиме для уменьшения накопления воды;
- предотвращения образования застойных зон, в которых может накапливаться вода;

- установки соответствующих устройств для отделения паров от конденсата;
- обеспечения обогрева и/или тепловой изоляции трубопроводов с целью исключения конденсации;
- установки сдвоенных дренажных клапанов при подключении трубопроводов воды к горячим технологическим линиям;
- установки блокирующих устройств, предназначенных для отключения источников тепла в случае поступления технологического потока, загрязненного водой.

6.9.2 **Легкие углеводороды в горячей нефти**

Следует принять во внимание, что положения, приведенные в *6.9.1*, применимы к процессу попадания легких углеводородов в горячую нефть, даже если отношение объема жидкости к объему паров будет меньше, чем 1:1400.

6.10 Отказ систем автоматического управления технологическими потоками

6.10.1 **Общие положения**

Для автоматического управления следует применять устройства, приводимые в действие непосредственно от параметров технологического процесса или косвенно активизированные от определенного технологического параметра (например, давление, расход, уровень жидкости или температура) на входах и выходах сосудов или систем. При отказе подачи сигнала или вспомогательной рабочей среды (например, воздух, жидкость гидравлики и др.) на конечный управляющий элемент (например, исполнительный привод клапана) устройства управления должны принимать либо полностью открытое, либо полностью закрытое положение в соответствии со своей конструкцией. Конечные управляющие элементы при отказе в стационарном положении должны переходить в полностью открытое или полностью закрытое положение (см. *6.10.5*). Отказ элемента для измерения параметра технологического процесса (в составе датчика или устройства управления) без одновременного отключения подачи электроэнергии в конечном управляемом элементе необходимо рассмотреть с целью определения результата воздействия на конечный управляемый элемент. Применение ручного перепускного клапана приведено в *6.10.3*.

Возможный отказ устройства управления следует рассматривать при полностью или частично открытом ручном перепускном (байпасном) клапане. Компенсация проходного сечения заниженного типоразмера регулирующего клапана открытием перепускного (байпасного) клапана не допускается.

При проектировании устройства сброса давления следует принять допущение, что для расчетных или близких к расчетным режимов типоразмер регулирующего клапана определен и система работает без отказов, если не заданы особые требования, устанавливающие обратное. При проектировании устройства сброса давления необходимо учитывать возможность возникновения временных пусковых и/или нештатных режимов эксплуатации, обусловленных использованием перепускного клапана, установленного на байпасной линии регулирующего клапана. Так как данные режимы эксплуатации являются неконтролируемыми, следует учитывать, что при работе на этих режимах необходимость в сбросе давления возникает, как правило, чаще, чем при нормальной работе устройства сброса давления с закрытыми перепускными клапанами.

6.10.2 **Пропускная способность**

Следует принять во внимание, что при оценке требуемого сброса давления, вызываемого любой причиной, все автоматические регулирующие клапаны, которые не рассматриваются в качестве обязательных для процесса сброса давления и которые могут способствовать сбросу давления в системе, должны оставаться в положении, требуемом для минимального нормального технологического потока.

Минимальное нормальное положение (открыто/закрыто) клапана — это ожидаемое положение клапана перед началом нештатного режима, т. е. положение клапана при минимальных расчетных расходах (условия минимальной пропускной способности). Если режим течения потока через регулирующие клапаны не изменяется (см. *6.10.6*), допускается принимать нормальный минимальный расход для этих клапанов с поправкой на условия сброса давления при условии, что расположенная ниже по схеме система способна принять увеличившийся поток.

6.10.3 **Устройства управления на входе и перепускные клапаны**

Предусматривают одну или несколько входных линий, оборудованных устройствами управления. Необходимо рассмотреть сценарий, при котором один клапан на входе находится в положении полного открытия независимо от положения регулирующего клапана при отказе. Несанкционированное открытие данного регулирующего клапана может быть вызвано неисправностью КИПиА или неправильным

срабатыванием, обусловленным сбоями в работе. Если система имеет несколько входных линий, любое устройство управления в оставшихся линиях необходимо считать остающимся в нормальном рабочем положении. Следовательно, требуемая скорость сброса давления представляет собой разность между максимальным ожидаемым расходом потока на входе и нормальным расходом потока на выходе с поправкой на условия сброса давления при минимально возможной устойчивой работе системы с учетом того, что другие клапаны в системе находятся в рабочем положении при нормальном расходе потока (т. е. нормально открыты, нормально закрыты или находятся в положении дросселирования). Если один или больше клапанов на выходе потока закрываются или большее число клапанов на входе открывается при той же неисправности, которая вызвала открытие первого клапана на входе, то требуемая скорость сброса давления представляет собой разность между максимальным ожидаемым входным расходом потока и нормальным расходом потока через выходные клапаны, которые остаются в открытом положении. Все значения расходов потока рассчитывают при условиях сброса давления. Необходимо учесть влияние, которое оказывает открытие, даже частичное, ручного(ых) перепускного(ых) клапана(ов) на байпасной(ых) линии(ях) входного(ых) регулирующего(их) клапана(ов). Если в процессе эксплуатации перепускной клапан открывается для обеспечения дополнительного расхода потока, тогда этот общий поток (регулирующий клапан полностью открыт и перепускной клапан находится в нормальном положении) должен рассматриваться при сбросе давления. Если же байпас используется только в процессе технического обслуживания с целью перекрытия и демонтажа регулирующего клапана, то тогда следует принимать максимальное значение расхода потока через один из клапанов — регулирующий клапан или перепускной клапан.

Необходимо учитывать возможность непреднамеренного открытия перепускного клапана при работе регулирующего клапана, если не предусмотрены средства управления и контроля при эксплуатации. Если давление, возникающее в результате открытия перепускного клапана, может быть больше скорректированного давления гидравлического испытания (см. *3.56* и *5.3.2*), то не допускается применять только средства управления и контроля в качестве единственного способа предотвращения процесса возникновения превышения давления. При проектировании следует учитывать, что определенные системы могут характеризоваться недопустимым риском, связанным с неисправностью средств управления и контроля, что приведет к потере герметичности системы с соответствующими последствиями. При этом следует принять во внимание, что ограничение превышения давления до допустимого значения является предпочтительным методом защиты. Необходимо учитывать, что при превышении давления, связанном с неисправностью средств управления и контроля, рассматривают всю систему, включая все вспомогательные элементы (например, разборные соединения, КИПиА).

Для систем ограничения и сброса давления учитывают возможность отказа входного регулирующего устройства, обеспечивающего эксплуатацию технологической системы (например, сосуд, работающий под высоким давлением, в котором жидкие флюиды контролируются по уровню и сбрасываются в систему низкого давления).

При отводе жидкости из сосуда с высоким давлением в систему низкого давления необходимо учитывать фактор возможного закрытия выхода системы низкого давления, а также возможность поступления (прорыва) потока паров (газов) в систему низкого давления при снижении уровня жидкости в сосуде с высоким давлением. Учитывают, что наличие источника входящих паров с бóльшим объемом, по сравнению с объемом системы низкого давления, или если источник паров неограничен, делает возможным превышение давления, что обусловливает необходимость определения типоразмеров устройств сброса давления, предназначенных для системы низкого давления и обеспечивающих сброс максимального потока паров, проходящего через регулирующий клапан, установленный на линии отвода жидкости из сосуда.

Давление в условиях, при которых технологические системы имеют большие различия по величине давления, а объем паров, находящийся в оборудовании высокого давления, меньше, чем объем системы низкого давления, в определенных случаях возможно компенсировать без его превышения.

Следует учитывать, что при потере уровня жидкости в сосуде поток паров, поступающий в систему низкого давления, зависит от взаимосвязанной системы, состоящей из клапанов с полным открытием и трубопроводов на участке с перепадом давления, определяемым рабочим давлением выше по технологической схеме до давления сброса на оборудовании, расположенном ниже по технологической схеме. Это падение давления при начальных условиях, как правило, приводит к возникновению критического режима потока (дросселирование через регулирующий клапан) и может вызвать более высокую скорость поступления паров, по сравнению с заданной скоростью поступления пара в систему высокого давления. Если подпитка не равна оттоку, это состояние будет непродолжительным, так как

расположенный выше по технологической схеме сосуд опорожняется. При этом устройства сброса давления, которые защищают систему низкого давления, должны иметь площадь проходного сечения, обеспечивающую сброс максимального потока. При большом объеме паров на стороне низкого давления учитывают, что перенос паров из системы высокого давления, необходимый для увеличения давления в нижнем течении потока от рабочего давления до давления разгрузки (как правило, 110 % от расчетного давления или МДРД), снижает давление на входе. Это понижение давления приводит к соответствующему уменьшению расхода потока, который устанавливает требуемые параметры сброса давления. Для компенсации потерь потока следует, при необходимости, предусмотреть дополнительную подпитку парами системы высокого давления с целью поддержания давления на входе.

6.10.4 **Приборы управления на выходе**

Определение параметров сброса выполняют как в полностью открытом положении каждого выпускного регулирующего клапана, так и в полностью закрытом положении, что не зависит от положения регулирующего клапана при отказе, т. к. отказ может быть вызван неисправностью системы КИПиА или неправильной эксплуатацией. Если один или более одного клапана на входе открываются при том же отказе, который вызвал закрытие клапана на выходе, для предотвращения превышения давления, при необходимости, применяют устройства сброса давления. При этом следует учесть, что требуемая скорость сброса давления — это разность между максимальными расходами потока на входе и выходе. Все расходы потока необходимо рассчитывать при условиях сброса давления. Дополнительно необходимо учесть последствия ошибочного закрытия регулирующих устройств.

Для систем, в которых используются одиночные выходы с регулирующими устройствами, которые могут выйти из строя в закрытом положении, для предотвращения превышения давления, при необходимости, применяют устройства сброса давления. В этом случае следует учесть, что требуемая скорость сброса давления равна максимальному ожидаемому расходу потока на входе при условиях сброса давления и должна определяться в соответствии с *6.5.*

Следует принять во внимание, что для систем, в которых используется более чем один выход и на каждом отдельном выходе имеется регулирующее устройство, которое может выйти из строя в закрытом положении, требуемая скорость сброса давления будет равна разности между максимальным входным расходом потока и расчетным расходом потока (с поправкой на условия сброса давления при минимальной возможной устойчивой работе системы) через оставшиеся выходы при допущении, что остальные клапаны в системе остаются в их нормальном рабочем положении.

Необходимо учесть, что для систем, в которых используется более чем один выход, каждый с регулирующим устройством, которые могут выйти из строя в закрытом положении одновременно при одном и том же отказе, требуемая скорость сброса давления равна максимальному ожидаемому входному потоку при условиях сброса давления.

6.10.5 **Клапаны, сохраняющие стационарное положение при отказе**

Следует считать, что для регулирующих устройств, которые остаются в последнем управляемом положении, невозможно определить положение клапана на момент отказа. Следовательно, при проектировании необходимо учитывать, что такие устройства могут находиться либо в открытом, либо в закрытом положении. Необходимо учесть, что при использовании таких устройств возможность снижения требуемой скорости сброса давления не рассматривается.

6.10.6 **Рекомендации относительно пропускной способности**

Регулирующие устройства, такие как регулирующие клапаны с мембранными исполнительными механизмами, необходимо выбирать по их типоразмеру, рассчитанному для нормальных расчетных рабочих условий с учетом обеспечения работоспособности при нештатных режимах, включая периоды сброса давления через устройства сброса давления. Конструкцию клапана и пропускную способность исполнительного устройства клапана необходимо выбирать таким образом, чтобы запирающий элемент клапана при возникновении нештатных ситуаций занимал положение в соответствии с сигналами управления. Так как пропускная способность регулирующего клапана при условиях сброса давления отличается от пропускной способности при нормальных условиях, то при определении требуемых скоростей сброса давления пропускную способность регулирующего клапана рассчитывают для условий сброса, т. е. с учетом снижения температуры и давления. Следует учитывать возможность изменения фазового состояния регулируемого потока флюида (например, от жидкости к газу и от газа к жидкости), что увеличивает пропускную способность полностью открытого регулирующего клапана, предназначенного для прохода потока жидкости при проходе через этот клапан потока газа. Изменение фазового состояния потока флюида необходимо учитывать в случаях возможного понижения уровня жидкости,

что приводит к тому, что клапан пропускает газ высокого давления в систему, рассчитанную на работу только с парами, выделяющимися из жидкости, поступающей в нормальном режиме работы.

6.10.7 **Решения по конструкции трубопровода при прорыве газа**

При определении суммарных нагрузок на трубопровод, включая механическую конструкцию и опоры трубопровода, необходимо учитывать, что прорыв газа через регулирующий клапан может привести к «пробковому» течению потока с большими скоростями жидкости.

Примечание — Размещение устройства сброса давления ближе к расположенному выше по потоку регулирующему клапану может уменьшить необходимое количество опор трубопровода, а также позволить уменьшение типоразмера устройства сброса давления.

6.11 Отказ системы подачи тепла для нужд технологического процесса

Следует считать, что требуемая скорость сброса давления — это разность между максимальной скоростью парообразования при условиях сброса давления (включая любые неконденсирующиеся вещества, полученные при перегреве) и скоростью нормальной конденсации или выхода паров. В каждом случае проектировщик должен учитывать потенциальные характеристики системы и каждого из ее элементов (например, ограничивающим фактором может быть клапан, регулирующий параметры топлива или теплоносителя, или тепловой поток в трубах). Типоразмер регулирующего клапана определяют соответствующим расчетом.

Следует учитывать, что при установке на регулирующих клапанах ограничителей подъема запирающего элемента расчет выполняют для полностью открытого положения, а не для пропускной способности, определяемой ограничителем. При установке механического ограничителя подъема запирающего элемента для расчета допускается использование пропускной способности, ограниченной положением ограничителя. В кожухотрубных теплообменниках подвод тепла следует рассчитывать для чистого, а не загрязненного состояния.

6.12 Внутренний взрыв (исключая детонацию)

При необходимости защиты от превышения давления, возникающего при внутренних взрывах, вызванных возгоранием паровоздушных смесей, следует использовать МПУ или взрывозащитные вышибные панели, а не клапаны сброса давления, т. к. скорость срабатывания клапана сброса давления не обеспечивает защиту сосуда от быстрого роста давления, вызванного внутренним распространением пламени. Важно учитывать, что требуемая площадь проходного сечения выходных отверстий для сброса давления взрыва зависит от ряда факторов, включая следующие:

- начальные условия (давление, температура, состав паров или газов);
- свойства распространения пламени рассматриваемых паров или газов;
- объем сосуда;
- давление, при котором активизируется устройство отвода газов;
- максимальное давление, которое допускается при взрыве в зоне, оборудованной устройствами отвода газов.

Требуемая площадь проходного сечения выходных отверстий для сброса давления взрыва в режиме дефлаграции рассчитывается в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047—2012 (приложение Н).

Следует учесть, что максимальное давление, достигаемое при взрыве в зоне, оборудованной устройствами отвода газов, больше, чем давление, при котором срабатывает устройство отвода газов.

Системы взрывозащиты сбросом давления, локализацией взрыва и смягчением последствий взрыва не следует использовать в случаях, в которых возможно возникновение процесса детонации. В таких случаях опасность взрыва должна снижаться за счет предотвращения образования способных к детонации смесей.

Для оборудования, в котором внутренние взрывы возможны только в результате поступления воздуха при операциях пуска или останова, вместо систем взрывозащиты сбросом давления допускается рассмотреть возможность применения мер предотвращения взрыва, таких как продувка инертным газом, в сочетании с соответствующими мероприятиями контроля и управления.

6.13 Химическая реакция

6.13.1 Методология определения необходимого типоразмера системы аварийного отвода паров и газов для химических реакций основана:

- на определении расчетных условий нештатной ситуации для системы, в которой происходит реакция;

- установлении характеристик систем через лабораторные испытания, моделирующие расчетные условия нештатной ситуации;

- использовании уравнения для расчета типоразмера выходной линии, учитывающего наличие двухфазного потока газ/жидкость.

6.13.2 Расчетные условия нештатной ситуации для каждого процесса индивидуальны, но, как правило, включают одну или несколько следующих ситуаций:

- внешнее возгорание;
- прекращение смешивания;
- отказ охлаждения;
- неправильную загрузку реагентов.

6.13.3 Следует учесть, что скорости реакций, как правило, неизвестны и требуются лабораторные испытания, моделирующие расчетные условия нештатной ситуации. После получения результатов лабораторных испытаний системы классифицируют следующим образом:

- ограниченные. Ограниченные системы — это системы, в которых нежелательная реакция приводит к образованию конденсирующихся продуктов, а скорость увеличения температуры ограничена кипением жидкости при определенном давлении в системе. Как правило, ограниченные системы — это жидкофазные реакции, в которых реагент представляет собой основную часть содержимого;

- газовые. Газовые системы — это системы, в которых нежелательная реакция приводит к образованию неконденсирующихся продуктов, а скорость увеличения температуры не определяется кипящей жидкостью. Газовые системы являются или продуктами разложения жидкой фазы, или реакциями в паровой фазе;

- гибридные. Гибридные системы — это системы, в которых скорость увеличения температуры вследствие нежелательной реакции определяется кипением жидкости при определенном давлении в системе, но также может привести к образованию неконденсирующегося газа.

В случае, если лабораторное моделирование определяет возможность взрыва, следует применять положения *6.12*. Важно учитывать, что при необходимости сосуды/цистерны с химическими реагентами размещают в отдельном помещении с целью исключения возможного воздействия потенциально взрывоопасных реакций на другое оборудование.

Для предотвращения превышения давления следует использовать устройства сброса давления. Необходимо учитывать, что при невозможности использования устройства сброса давления допускается использовать другие технические решения для предотвращения воздействия повышенных нагрузок на оборудование (использование систем обеспечения безопасности, таких как системы автоматического останова, подачи ингибитора, прекращения реакций, аварийного слива, резервного питания и понижения давления). Использование такого подхода должно быть обосновано результатами анализа опасностей технологических процессов и оценки риска аварий, пожарного риска и риска чрезвычайных ситуаций.

Следует учитывать, что другие формы реакций, которые генерируют тепло (например, разбавление сильных кислот), также требуют оценки.

6.14 Гидравлическое расширение

6.14.1 Причины возникновения гидравлического расширения

Необходимо учитывать гидравлическое расширение, т. е. увеличение жидкости в объеме, вызванное ростом температуры (см. таблицу 3), которое обуславливается (но не ограничивается) следующими причинами:

- трубопровод или сосуды заполнены холодной жидкостью и отсечены и затем нагреваются при использовании обогревающих трубчатых спутников, по которым прокачивается теплоноситель, или кабелей системы электрообогрева, и/или воздействия внешнего тепла или огня;

- холодная сторона теплообменника отсечена при сохранении потока на горячей стороне;

- трубопровод или сосуды заполнены жидкостью с температурой, близкой к температуре внешней среды, и отсечены, а затем нагреваются под воздействием прямого солнечного излучения.

В установках (например, холодильных контурах) схема технологического процесса, расположение оборудования, а также особенности технологических операций определяют возможность исключения применения устройства сброса давления при гидравлическом расширении, которое, как правило, требуется устанавливать в системе с кожухотрубным теплообменником на стороне холодного флюида. К таким установкам относят установки, состоящие из нескольких теплообменников с запорным клапа-

ном, заблокированным в открытом положении и устанавливаемым по ходу потока холодного флюида для каждого теплообменника, и установки с одним теплообменником, который работает постоянно, кроме случаев останова.

Таблица 3 — Типовые значения коэффициента объемного расширения для жидких углеводородов и воды

Плотность жидкости, *кг/м*^{3}	Коэффициент объемного расширения*, 1/°С
От 850,4 до 1052,0	0,00072
От 775,8 до 849,8	0,0009
От 724,2 до 775,3	0,00108
От 672,5 до 723,8	0,00126
От 642,0 до 672,2	0,00144
От 627,8 до 641,7	0,00153
От 627,5 или ниже	0,00162
Вода	0,00018
* При 15,6 °С.	

6.14.2 Определение типоразмеров и давления настройки

Как правило, для сброса давления жидкости используют клапан сброса давления с номинальным диаметром DN 20 × 25. При необходимости увеличения типоразмера руководствуются *6.14.3*. В случае, если жидкость в процессе сброса образовывает пары или твердые вещества при прохождении через устройство сброса давления, руководствуются *6.21.2*.

Давление настройки для приведенных устройств сброса давления следует определять с учетом расчетного номинального значения для всех элементов, включенных в отсекаемый участок системы. Давление настройки устройства сброса давления при тепловом расширении жидкости не должно превышать максимальное давление, допустимое для самого слабого компонента в защищаемой системе. Давление настройки устройства сброса давления должно обеспечить открытие устройства сброса давления только при гидравлическом расширении. При сбросе в случае превышения давления, возникающего при тепловом расширении жидкости и производимого через клапан сброса давления в закрытую систему, необходимо учитывать влияние противодавления.

6.14.3 Особые случаи

Устройства сброса давления номинальным диаметром DN, большим, чем 20 × 25, при тепловом расширении жидкости устанавливают, при необходимости, на трубопроводах большого диаметра и большой протяженности[1)] без тепловой изоляции, сосудах больших объемов или теплообменниках, работающих с полным заполнением жидкостью. Трубопроводы большой протяженности могут быть закупорены при температуре окружающей среды или ниже; воздействие солнечной радиации повышает температуру на расчетную величину. При условии, что общая скорость теплопередачи и коэффициент теплового расширения для жидкости известны, следует рассчитать требуемую скорость сброса давления.

Если свойства жидкости изменяются в зависимости от температуры, следует принимать температуру для наихудшего случая.

Для систем, заполненных жидкостью, при выборе типоразмера устройств сброса давления, предназначенных для защиты от теплового расширения потоков жидкости, скорости расширения допускается приблизительно определить по формуле

$$q = \frac{\alpha_v \cdot \varphi}{1000d \cdot c}, \quad (1)$$

где q — объемный расход потока при текущей температуре, м^3/с;

α_v — коэффициент объемного расширения для жидкости при ожидаемой температуре, 1/°С.

Примечание — Численные значения данных величин следует принимать по данным соответствующих технологических расчетов. В таблице 3 приведены типовые значения для жидких углеводородов и воды при 15,6 °С;

[1)] *Значения диаметра и протяженности определяют при проектировании конкретного МПС.*

φ — общая скорость теплопередачи, Вт.

Примечание — Для теплообменников данную величину допускается принимать как максимальную пропускную способность теплообменника;

d — относительная плотность, приведенная к плотности воды (d = 1,00 при 15,6 °С), безразмерная величина.

Примечание — Сжимаемостью жидкости допускается пренебречь;

c — удельная теплоемкость сбрасываемой жидкости, Дж/кг · К.

Следует учитывать, что приведенный метод расчета обеспечивает только кратковременную защиту при определенных текущих параметрах. В случае, если жидкость в отделенной части системы имеет большее давление паров, чем расчетное давление сброса, устройство сброса давления должно обеспечивать сброс давления, соответствующий скорости парообразования. В случае если пары образуются и отводятся до начала кипения жидкости, то при выборе типоразмера устройства сброса давления учитывать процесс парообразования не требуется.

6.14.4 **Трубопроводы**

6.14.4.1 В случае если система, для которой рассматривается необходимость теплового сброса, состоит только из трубопроводов (не содержит сосудов, работающих под давлением, или теплообменников), то устройства сброса давления для защиты трубопровода от теплового расширения жидкости допускается не применять при выполнении одного из следующих условий:

- трубопровод всегда имеет карман, заполненный неконденсирующимися парами, исключающими возможность его заполнения жидкостью. Следует учитывать, что паровые или газовые карманы, имеющие малые объемы[1)], могут быть заполнены жидкостью при нагреве вследствие сжатия и/или растворимости паров/газов в жидкости. Также учитывают, что многокомпонентные смеси с широким диапазоном температуры кипения[1)] всегда обеспечивают выделение достаточного количества паров для предотвращения полного заполнения трубопровода жидкостью. При определении необходимого объема парового кармана на предмет обеспечения процесса компенсации теплового расширения жидкости следует определить изменение объема жидкости при ее нагреве от воздействия солнечной радиации, обогреве обогревающими трубчатыми спутниками, по которым прокачивается теплоноситель, или нагреве от другого источника;

- трубопровод эксплуатируется в непрерывном рабочем режиме и после останова дренируется при соответствующем контроле;

- температура флюида больше, чем максимальная температура, от нагрева при воздействии солнечной радиации (составляет 60 °С — 70 °С), и нет других источников нагрева, например обогревающих трубчатых спутников, по которым прокачивается теплоноситель (при анализе требований по сбросу давления для трубопроводов пожары не учитываются);

- повышение давления от теплового расширения находится в расчетных пределах оборудования или трубопроводов.

Повышение давления при нагреве трубы, заполненной жидкостью, определяют по формуле

$$p_2 = p_1 + \frac{(T_2 - T_1)(\alpha_v - 3\alpha_l) - \left(\frac{q_{||} \cdot t}{V}\right)}{\chi + \left(\frac{d}{2E \cdot \delta_w}\right)(2{,}5 - 2\mu)}, \qquad (2)$$

где p_2 — конечное избыточное давление отделенного, заполненного жидкостью оборудования, кПа;

p_1 — начальное избыточное давление отделенного, заполненного жидкостью оборудования, кПа;

T_2 — конечная температура отделенного, заполненного жидкостью оборудования, °С;

T_1 — начальная температура отделенного, заполненного жидкостью оборудования, °С;

α_v — коэффициент объемного расширения жидкости, 1/°С;

α_l — коэффициент линейного расширения металлической стенки, 1/°С;

χ — коэффициент изотермической сжимаемости жидкости, 1/кПа;

d — внутренний диаметр трубы, м;

E — модуль упругости для металлической стенки при T_2, кПа;

δ_w — толщина металлической стенки, м;

[1)] *Значение определяют при проектировании конкретного МПС.*

μ — коэффициент Пуассона, обычно следует принимать 0,3;

q_{II} — скорость утечки жидкости через седло запорного клапана (обычно принимается равной 0), м^3/с;

t — время, истекшее после начала утечки, с;

V — объем трубы, м^3.

Значения коэффициента линейного расширения α_l и модуля упругости E для выбранных материалов приведены в таблице 4, для других материалов — в соответствующей справочной литературе.

Таблица 4 — Значения коэффициента линейного расширения α_l и модуля упругости E

Материал	α_l, 1/°С	E, кПа
Углеродистая сталь (1020)	$1{,}21 \cdot 10^{-5}$	$207 \cdot 10^6$
Нержавеющая сталь 304	$1{,}73 \cdot 10^{-5}$	$193 \cdot 10^6$
Нержавеющая сталь 316	$1{,}60 \cdot 10^{-5}$	$193 \cdot 10^6$
Сплав 600	от $1{,}1 \cdot 10^{-5}$ до $1{,}66 \cdot 10^{-5}$	от $172 \cdot 10^6$ до $221 \cdot 10^6$
Никелево-медный сплав	от $1{,}01 \cdot 10^{-5}$ до $1{,}42 \cdot 10^{-5}$	от $169 \cdot 10^6$ до $213 \cdot 10^6$

При отсутствии данных коэффициент объемного расширения α_v и коэффициент изотермической сжимаемости χ определяют по формулам:

$$\alpha_v = \frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2(T_2 - T_1)\rho_1 \cdot \rho_2}, \tag{3}$$

где α_v — коэффициент объемного расширения, выраженный в 1/°С;

ρ_1 — плотность жидкости при начальной температуре, кг/м^3;

ρ_2 — плотность жидкости при конечной температуре, кг/м^3;

T_1 — начальная температура, °С;

T_2 — конечная температура, °С;

$$\chi = \frac{1}{v_1}\frac{(v_1 - v_2)}{(p_2 - p_1)}, \tag{4}$$

где χ — коэффициент изотермической сжимаемости, 1/кПа;

v_1 — удельный объем жидкости при начальном давлении, м^3/кг;

v_2 — удельный объем жидкости при конечном давлении, м^3/кг;

p_1 — начальное абсолютное давление, кПа;

p_2 — конечное абсолютное давление, кПа.

6.14.4.2 Обратный поток флюида через обратный клапан или закрытый запорный клапан учитывать не следует.

При определении необходимости установки клапана сброса давления с целью защиты системы в условиях изменения тепловой нагрузки для флюида и системы трубопроводов рассматривают следующие факторы:

- длину и типоразмер (номинальный диаметр) системы трубопроводов, т. к. количество флюида, которое может быть сброшено, зависит от длины и диаметра системы трубопроводов;

- взрывоопасность, пожароопасность и токсичность флюида, т. к. для флюида, обладающего взрывоопасными, пожароопасными или токсичными свойствами, даже минимальный объем утечки считается недопустимым;

- размещение системы трубопроводов. Особенно опасной следует считать утечку флюида, обладающего взрывоопасными, пожароопасными или токсичными свойствами, возникшую в замкнутых пространствах (помещениях);

- давление паров флюида при температуре нагрева. Флюиды, нагретые выше их точки кипения при атмосферном давлении, продолжают выделять вещества в виде паров в месте утечки, пока температура жидкости не понизится до точки кипения;

- эффективность средств контроля и управления с целью предотвращения перекрытия трубопровода.

6.15 Пожар при разливах углеводородов

6.15.1 Общие положения

6.15.1.1 При определении количества пара, образующегося под воздействием пожара на смачиваемой поверхности сосуда, необходимо рассмотреть только ту часть поверхности внутренних стенок сосуда, которая смачивается (контактирует с) находящейся внутри него жидкостью и расположена на уровне не выше 7,6 м над источником пламени. *Для сферических сосудов уровень смачиваемой поверхности определяется по таблице 5.*

Примечание — Высота углеводородных пожаров может превышать 40 м; однако, как показывает опыт, типоразмер устройств сброса давления необходимо выбирать только исходя из среднего подвода тепла, ограничиваемого отметкой высоты 7,6 м над основанием пожара пролива.

Термин «основание пожара пролива» относится к любому уровню, на котором пожар пролива может поддерживаться в длительном режиме. Следует учитывать, что сосуды различных типов эксплуатируются в частично заполненном состоянии. В таблице 5 указаны отметки высоты, до которых рассматривают заполнение сосудов жидкостью в расчетах. Смачиваемые поверхности, расположенные выше отметки 7,6 м, не рассматривают, так как на такой высоте контакт с пламенем при пожаре пролива в течение продолжительных промежутков времени[1)] маловероятен[1)]. При определении площади смачиваемой поверхности в расчет также не включают днища сосудов, защищенные опорными конструкциями, ограничивающими воздействие пламени. При проектировании следует определить необходимость включения площади смачиваемой поверхности соединительных трубопроводов в расчет площади смачиваемой поверхности.

Важно учитывать, что температуры, при которых выполняется сброс давления, как правило, превышают расчетную температуру защищаемого оборудования. Если существует вероятность того, что высокая температура приведет к разрушению стенки сосуда или внешнее воздействие огня приведет к образованию пара, вызывающего термическое растрескивание стенки сосуда, необходимо рассмотреть дополнительные меры защиты (см. *6.15.4*).

В площадь смачиваемой поверхности сферических сосудов необходимо включать площадь всей поверхности до максимального диаметра. Согласно таблице 5 следует выбирать значения площади смачиваемой поверхности исходя из максимального горизонтального диаметра либо до отметки высоты 7,6 м, в зависимости от того, какое из этих двух значений находится выше. Важно учитывать, что как минимум должна быть использована площадь смачиваемой поверхности всей нижней полусферы, даже когда горизонтальная ось сферы находится на высоте более 7,6 м. Принимают во внимание, что данный критерий, основанный на опыте эксплуатации и проведения испытаний, показывает, что при пожаре пролива пламя может охватывать нижний профиль сферических сосудов, приводя к тому, что на всю нижнюю полусферу будет воздействовать высокая тепловая нагрузка.

Таблица 5 — Воздействие пожара на смоченные поверхности сосуда

Тип сосуда	Уровень заполнения жидкостью	Примечания
Сосуды, заполненные жидкостью, например технологическая установка для переработки	Все до отметки 7,6 м	—
Уравнительные емкости, сепараторы, технологические сосуды	Нормальный рабочий уровень до отметки 7,6 м	—
Колонны ректификации	Нормальный уровень в днищевой части плюс уровень жидкости, сброшенной в нижнюю часть колонны из тарелок до нормального уровня в них; суммарная площадь смачиваемой поверхности до отметки 7,6 м	Уровень в ребойлере включают в случае, если ребойлер является неотъемлемой частью конструкции колонны
Сосуды рабочего запаса	Максимальный уровень содержимого сосуда до отметки 7,6 м (участки смачиваемой поверхности, контактирующие с фундаментами, допускается не рассматривать)	—

[1)] *Значения продолжительности и вероятности определяют при проектировании конкретного МПС.*

Окончание таблицы 5

Тип сосуда	Уровень заполнения жидкостью	Примечания
Сферические сосуды и сосуды сфероидальной формы (сфероиды)	До максимального горизонтального диаметра либо до отметки 7,6 м, в зависимости от того, какое из этих двух значений выше	—

6.15.1.2 Следует учесть, что сосуды с несмачиваемыми поверхностями стенок — это сосуды, внутренние поверхности стенок которых контактируют с газом, парами или флюидом в закритическим состоянии, либо сосуды, имеющие внутреннюю изоляцию независимо от типа содержащихся в них флюидов. К ним относят сосуды, содержащие жидкость и пары в раздельных фазах при нормальных условиях, переходящие в одну фазу (выше критической) при условиях сброса давления.

Важно учитывать, что в конструкции сосудов возможно предусмотреть внутреннюю изоляцию (например, огнеупорный материал) и такие поверхности допускается считать несмачиваемыми. В случае если сосуд в процессе эксплуатации может стать изолированным в результате отложения на его внутренней поверхности кокса или других соединений, то при определении объемов сброса в условиях воздействия огня принимают во внимание, что стенки сосуда необходимо считать смачиваемыми (т. е. изолирующие эффекты не берут в расчет). При этом необходимо учесть, что в случае, если использования устройства сброса давления недостаточно для обеспечения требуемого сброса, следует рассмотреть необходимость применения дополнительных защитных мероприятий, приведенных в *6.15.4, 6.15.5*.

Учитывают, что особенность конструкции сосуда с несмачиваемыми внутренними стенками заключается в том, что поток теплоты от стенки до содержащегося в нем флюида незначительный, что является результатом сопротивления теплопередаче находящегося в нем флюида или материала внутренней изоляции.

Следует отметить, что подвод теплоты от открытого огня к неизолированной наружной поверхности сосуда с несмачиваемой поверхностью или сосуда с внутренней изоляцией будет достаточным для нагрева стенок сосуда до температуры, при которой происходит разрушение сосуда. *Расчет интенсивности теплового излучения при пожарах пролива ЛВЖ и ГЖ выполняют в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047—2012 (приложение В)*.

6.15.2 **Пропускная способность сброса давления при пожаре**

6.15.2.1 Во включенных в раздел 6 формулах, определяющих размеры пожара, принято допущение о наличии типовых условий на объектах, входящих в объем рассмотрения настоящего стандарта.

При необходимости выполняют детальный анализ, учитывающий возможность выполнения сброса по альтернативным линиям трубопроводов, которые остаются открытыми при превышении давления. При этом следует учитывать возможность отсечения соответствующей арматурой определенных линий трубопроводов и сосудов от технологического процесса в целях ограничения области распространения пожара и выполнения безопасного останова технологического блока. Важно учитывать, что при контакте с огнем клапаны могут переходить в закрытое положение при отказе. При этом затруднительно определить, останется ли тот или иной трубопровод в открытом состоянии в условиях пожара или будет перекрыт.

В случае, если по трубопроводу не производится сброс в атмосферу, учитывают возможность того, что поток флюида, отводимый при пожаре по альтернативной линии сброса, может привести к превышению давления в другом оборудовании, используемом в составе проектируемой установки, что потребует увеличения нагрузки сброса давления для этого оборудования при пожаре.

В *6.15.2.2* приведены формулы для расчета поглощения тепла для сосудов, содержащих жидкости, и формулы для расчета поглощения тепла для сосудов, содержащих только газы/пары.

Следует использовать либо нагрузку сброса давления при тепловом расширении пара, либо нагрузку сброса давления при испарении кипящей жидкости, но не обе нагрузки одновременно.

Примечание — Выбор нагрузки осуществляют при проектировании конкретного МПС.

6.15.2.2 Необходимо учитывать, что количество теплоты, поглощаемое сосудом, содержащим жидкость, подвергающимся воздействию открытого огня, зависит от типа горящего топлива, площади поверхности сосуда, подверженной воздействию пламени (которая в свою очередь зависит от размера и формы сосуда), и мероприятий по защите от огня. Суммарную величину поглощения теплоты (подвод

теплоты) смачиваемой поверхностью Q, Вт, при выполнении оперативных противопожарных мероприятий и дренажа легковоспламеняющихся сред из сосудов определяют по формуле

$$Q = C_1 \cdot F \cdot A_{ws}^{0,82}, \quad (5)$$

где C_1 — постоянная, равная 43 200, безразмерная величина;

F — коэффициент влияния окружающей среды (в соответствии с таблицей 6);

A_{ws} — суммарная площадь смачиваемой поверхности, м^2.

Примечание 1 — См. *6.15.1.1* и таблицу 5.

Примечание 2 — $A_{ws}^{0,82}$ — коэффициент, показывающий, какая часть площади поверхности от общей площади поверхности подвержена воздействию пожара, и отражающий тот факт, что вероятность охвата огнем всей поверхности сосудов больших объемов ниже, чем для сосудов меньших объемов.

Суммарную величину поглощения теплоты смачиваемой поверхностью Q, Вт, в отсутствие оперативных противопожарных мероприятий и дренажа легковоспламеняющихся сред из сосудов определяют по формуле

$$Q = C_2 \cdot F \cdot A_{ws}^{0,82}, \quad (6)$$

где C_2 — постоянная, равная 70 900, безразмерная величина.

При определении требуемой пропускной способности дренажных систем следует исходить из расходов ЛВЖ и ГЖ, в результате пролива которых возникает пожар, а также воды, используемой для тушения пожара.

Таблица 6 — Коэффициент влияния окружающей среды

Тип оборудования		Коэффициент влияния окружающей среды, F[a]
Сосуд без изоляции		1,0[c]
Изолированный сосуд[b]; значения теплопроводности для условий воздействия огня, Вт/м^2 × K	22,71	0,3
	11,36	0,15
	5,68	0,075
	3,80	0,05
	2,84	0,0376
	2,27	0,03
	1,87	0,026
Применение технических средств водяного пожаротушения к сосудам без изоляции[c]		1,0[e]
Применение технических средств сброса давления и опорожнения сосуда[d]		1,0[e]

Примечание — При проектировании систем ограничения и сброса давления следует рассматривать значения потоков теплоты при пожаре, усредненных по времени, а не мгновенных пиковых значений, т. к. для того, чтобы содержимое сосуда достигло условий сброса давления, требуется определенное время.

[a] Данные значения являются рекомендуемыми для условий, приведенных в *6.15.2*. В отсутствие этих условий требуется принятие технического решения либо в выборе более высокого значения коэффициента, либо в обеспечении мероприятий по защите сосудов от воздействия огня, приведенных в *6.15.4* и *6.15.5*.

[b] Следует предусмотреть, чтобы изоляция не смещалась под воздействием струй воды из брандспойтов (см. *6.15.5.2*). Для рассмотрения принята величина разности температур, составляющая 871 °С. Значения теплопроводности определяются формулой (*12*) исходя из значения удельной теплопроводности изоляции, равной 0,58 Вт/м · K при 538 °С, и соответствуют различным толщинам изоляции от 25,4 до 304,8 мм. Коэффициент влияния окружающей среды F определяется формулой (*12*).

[c] См. *6.15.4.2*.

[d] См. *6.15.4.3*.

[e] Коэффициент влияния окружающей среды F, включенный в формулы (*5*) и (*6*), не применяется к сосудам без изоляции. При вычислении подвода тепла к сосудам без изоляции коэффициент влияния окружающей среды следует принять равным 1,0.

Воздействие огня на несмачиваемую поверхность сосуда, содержащего только газы, пары или флюиды в закритическом состоянии, рассматривается в *6.15.1.2*.

Площадь проходного сечения выходного отверстия устройств сброса давления A, мм^2, установленных на подверженных воздействию открытого огня сосудах, содержащих флюиды в закритическом состоянии, газы или пары, определяется по формуле (*7*). При нормальных условиях эксплуатации, не превышающих критических термодинамических условий, но при закритическом давлении сброса для определения параметров устройства сброса давления следует использовать положения, приведенные далее. В формуле (*7*) защитное влияние изоляции не учитывается.

$$A = \frac{F' \cdot A'}{\sqrt{p_1}}, \qquad (7)$$

где A — площадь проходного сечения выходного отверстия клапана сброса давления, мм^2;

A' — площадь поверхности сосуда, подверженная воздействию огня, м^2;

p_1 — абсолютное давление перед устройством сброса давления, кПа.

Примечание — p_1 представляет собой сумму давления настройки допускаемого избыточного давления и атмосферного давления.

F' определяют по формуле (*8*). При этом:

- если результирующее значение $F' < 182$, то в дальнейших расчетах используется $F' = 182$;
- если данных для определения значения F' по формуле (*8*) недостаточно, следует принимать значение $F' = 821$.

$$F' = \frac{0{,}2772}{C \cdot K_D}\left[\frac{(T_w - T_1)^{1{,}25}}{T_1^{0{,}6506}}\right], \qquad (8)$$

где K_D — коэффициент расхода среды в выпускном отверстии клапана сброса давления (определяется изготовителем клапана);

Примечание — При предварительном определении размера проходного сечения клапана сброса давления следует принимать значение $K_D = 0{,}975$.

T_w — максимальная температура для материала стенки сосуда, К;

T_1 — абсолютная температура газа при давлении перед устройством сброса давления, определяемая по формуле (*10*), К;

C — коэффициент, определяемый по формуле

$$C = 0{,}0395\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \qquad (9)$$

где *0,0395 (кг · моль · К)^{0,5}/(мм^2 · кПа · ч)* — *постоянная величина*;

k — показатель адиабаты (C_p/C_v) газа или пара при условиях сброса давления;

$$T_1 = \left(\frac{p_1}{p_n}\right)T_n, \qquad (10)$$

где p_n — нормальное абсолютное рабочее давление газа, кПа;

T_n — нормальная абсолютная рабочая температура газа, К.

Рассмотрение возможного повреждения сосуда при избыточной температуре, возникающей под воздействием огня, приведено в *6.15.4*.

Нагрузку сброса давления $Q_{m,relief}$, кг/ч, определяют по формуле

$$Q_{m,relief} = 0{,}2772\sqrt{M \cdot p_1}\left[\frac{A'(T_w - T_1)^{1{,}25}}{T_1^{1{,}1506}}\right], \qquad (11)$$

где M — относительная молекулярная масса газа.

Изоляция, удовлетворяющая критериям, приведенным в *6.15.5*, обеспечивает уменьшение скорости повышения температуры металлических стенок сосудов, заполненных газом, при воздействии огня.

При определении требований к сбросу давления при пожаре для заполненных газом сосудов не учитывают смягчающий эффект от мероприятий по защите сосудов от воздействия огня, так как для обеспечения сброса, как правило, требуется устройство сброса давления относительно малого проходного сечения даже без учета мероприятий по защите от огня. При определении требований к нагрузке сброса давления при пожаре для заполненных газом сосудов следует использовать значение площади поверхности, которая теоретически может подвергаться воздействию огня. При определении размера проходного сечения устройства сброса давления для условий пожара используют бóльшую из нагрузок: либо нагрузку сброса давления при тепловом расширении пара, либо нагрузку сброса давления при испарении кипящей жидкости, но не обе эти нагрузки одновременно.

Необходимо учитывать, что при определении размера проходного сечения устройства сброса давления для условий пожара относительная величина испаряющейся жидкости по сравнению с относительной величиной расширения пара является основной, за исключением тех случаев, когда защита от огня в соответствии с *6.15.5* обеспечивается только для смачиваемой поверхности (а для несмачиваемых поверхностей защита от огня не обеспечивается) или когда температура кипения жидкости высока[1)].

6.15.3 **Флюиды, отводимые при сбросе давления**

6.15.3.1 Следует учитывать, что в сосуде могут содержаться жидкости, пары либо флюиды в смешанной фазе жидкости и пара. Также учитывают, что фаза жидкости может быть докритической при рабочих значениях температуры и давления, переходя в критическую и закритическую области при развитии пожара с ростом температуры и давления в сосуде.

Необходимо принять во внимание, что количество и состав флюида, подлежащего сбросу во время пожара, зависят от скорости подвода тепла к сосуду в аварийной ситуации и от продолжительности пожара.

Суммарную скорость подвода теплоты к сосуду следует рассчитывать по одной из формул, приведенных в *6.15.2*, с использованием соответствующих значений для смачиваемых и несмачиваемых поверхностей и соответствующего значения коэффициента влияния окружающей среды.

Следует учесть, что после определения значения суммарной скорости подвода теплоты к сосуду возможно определить количество и состав флюида, подлежащего сбросу, при условии наличия достаточной информации относительно состава флюида, содержащегося в сосуде.

В случае, если состав флюида не известен, при определении значения расхода отводимого флюида для устройства сброса давления необходимо выполнить:

- оценку удельной теплоты (скрытой теплоты) кипящей жидкости и соответствующей относительной молекулярной массы фракции, переходящей в паровую фазу;
- оценку коэффициента теплового расширения, если отводимый флюид представляет собой жидкость, газ или закритический флюид, в случаях, когда не происходит изменения фазы.

6.15.3.2 Необходимо принять во внимание, что при значениях температуры и давления, при которых состояние является докритическим, скорость парообразования (т. е. требуемое значение скорости сброса пара) равна отношению суммарной скорости поглощения тепла к удельной теплоте (скрытой теплоте) парообразования. Также учитывают, что пар, подлежащий сбросу, является паром, который находится в состоянии равновесия с жидкостью при условиях, которые существуют, когда устройство сброса давления осуществляет сброс при максимально допустимом кратковременном повышении расчетного давления для этого устройства[2)].

Необходимо учесть, что значения удельной теплоты (скрытой теплоты) и относительной молекулярной массы, используемые при расчете скорости парообразования, должны относиться к условиям, при которых возможно достижение максимальной скорости парообразования.

Следует учитывать, что состав пара и жидкости может меняться при сбросе пара из системы, в результате чего изменяются значения температуры и удельной теплоты (скрытой теплоты), что влияет на требуемый размер проходного сечения устройства сброса давления. Следует отметить, что при определенных условиях многокомпонентная жидкость нагревается при давлении и температуре, которые превышают критические значения давления или температуры для одного или нескольких отдельных

[1)] *Значение температур определяют при проектировании конкретного МПС.*

[2)] *Значение давления определяют с учетом характеристик предохранительного устройства при проектировании конкретного МПС.*

компонентов (например, пары, физически или химически связанные в растворе, могут выделяться из жидкости в процессе нагревания. Данный процесс не является классическим примером эффекта нагрева с поглощением удельной теплоты (скрытой теплоты) (более точное его название — «дегазация» или «растворение»). Необходимо принять, что количество образующегося пара определяется скоростью изменения равновесия, вызванного повышением температуры.

Необходимо учитывать, что для многокомпонентных смесей, характеризующихся широким диапазоном кипения, может возникнуть необходимость в разработке, зависящей от времени модели, в которой суммарный подвод тепла к сосуду приводит не только к парообразованию, но и к повышению температуры оставшейся жидкости, поддерживая ее при соответствующей температуре кипения.

Следует принять к сведению, что практические рекомендации по определению расхода сбрасываемого пара исходя из величины подвода тепла к сосуду и удельной теплоты (скрытой теплоты) жидкости, содержащейся в сосуде, не действуют около критической точки флюида, где значение удельной теплоты (скрытой теплоты) приближается к нулю и преобладает легко определяемая теплота.

Учитывают, что если точное значение удельной теплоты (скрытой теплоты) этих углеводородов возле критической точки неизвестно, то в качестве приближенного значения допускается принять минимальное значение, равное 115 кДж/кг.

Для тяжелых фракций нефти (мазут, гудрон), образующихся в сосудах при пожарах, температура парообразования может превышать температуру разрушения стенок сосуда, в связи с чем при определении размера проходного сечения не следует исходить из рассмотрения процесса перехода жидкости в пар. В этом случае для продуктов термического крекинга параметры проходного сечения устройства сброса давления следует рассчитывать при температуре, при которой происходит их разложение.

Следует учитывать, что если условия сброса давления находятся выше критической точки, то скорость сброса пара зависит только от скорости, при которой флюид расширяется в результате подвода теплоты, т. к. изменения фазового состояния не происходит.

6.15.3.3 Необходимо учесть, что формулы гидравлического расширения, приведенные в *6.14.3*, следует применять для расчета скорости сброса жидкости, изначально содержащейся в заполненной системе, в случаях, когда температура жидкости ниже температуры ее точки кипения. При этом скорость не изменяется только в течение короткого периода времени, после чего парообразование становится основным процессом, определяющим размер проходного сечения устройства сброса давления.

Следует принять во внимание, что существует промежуточный период времени между расширением жидкости и сбросом пара, в течение которого необходимо выполнить сброс смеси обеих фаз одновременно в виде потока мгновенно испаряющейся среды, пузырей, осадка, пены или тумана до появления парового пространства внутри сосуда, достаточного для разделения фаз.

За исключением флюидов, подверженных процессу пенообразования, систем с химически активными флюидами и ограниченных проходов для потока среды, при определении параметров проходного сечения и выборе типа устройства сброса давления состояние смешанных фаз допускается не рассматривать. Данные исключения приведены в *6.15.3.4*. При определении параметров проходного сечения устройства сброса давления следует принять допущение, что сбрасывается только пар.

Допускается рассматривать влияние двухфазного потока, существующего при переходном режиме, при проектировании систем, расположенных далее по технологической схеме.

Необходимо учитывать, что устройство сброса давления, установленное ниже уровня жидкости в сосуде, подверженном воздействию огня, должно обеспечивать возможность прохождения объема жидкости, эквивалентного объему пара, образующегося вследствие пожара.

Так как определение текущего состояния флюида, как правило, является затруднительным, следует учитывать, что типовым допущением, обеспечивающим проектный запас устройства сброса давления, является рассмотрение жидкости с известной температурой в точке начала кипения.

6.15.3.4 При определении размера проходного сечения устройства сброса давления, как правило, не требуется рассматривать случай пожара, за исключением процессов, в которых используются флюиды, подверженные процессу пенообразования, или химически активные флюиды.

В случае систем с химически активными флюидами, подверженными воздействию огня извне, кипение начинается у стенок сосуда и называется «нагревом стенок». При этом в системах с химически активными флюидами, в которых воздействие внешнего огня может вызвать экзотермическую реакцию, кипение возникает по всему объему сосуда под воздействием тепла, выделяющегося в ходе реакции (процесс «объемного нагрева») и сопровождается бóльшим расширением жидкости по всему объему, чем при нагреве стенок, и увеличением времени сброса двухфазной смеси. Следует учитывать, что большие скорости генерирования теплоты, возникающие при неконтролируемых химических реакциях,

приводят к возрастанию скорости истечения пара и к дальнейшему увеличению времени существования двухфазного потока.

***6.15.4* Защитные мероприятия, исключая изоляцию**

6.15.4.1 Необходимо учитывать, что устройство сброса давления может не обеспечить защиту от разрушения сосуда с несмачиваемыми стенками или сосуда, содержащего жидкость с высокой температурой кипения[1)]. Если установки только клапана сброса давления недостаточно для обеспечения требуемого сброса, следует рассмотреть применение дополнительных мероприятий, приведенных в настоящем стандарте: водяного орошения (см. *6.15.4.2*), сброса давления (см. *6.15.4.3*), огнезащитной изоляции (см. *6.15.5*).

Защитные мероприятия допускается использовать в качестве альтернативы устройствам сброса давления, размер проходного сечения которых определен с учетом возможности воздействия пожара, при следующих условиях:

- внутри сосуда содержится только пар или жидкость с высокой точкой кипения;
- дополнительная защита, обеспечиваемая устройством сброса давления, оказывает незначительное влияние на уменьшение вероятности разрушения сосуда.

Если расчеты показывают, что может произойти разрушение сосуда, то предохранительная мембрана МПУ в случае его нагрева (например, при пожаре) должна разрушиться при более низком давлении.

При проектировании следует учесть необходимость предоставления оператору времени, достаточного для реагирования на возникновение пожара и начала операций по его тушению, во избежание разрушения сосуда. Действия оператора включают сброс давления, водяное орошение, использование лафетных стволов и отсечение источника поступления топлива.

6.15.4.2 Необходимо учесть, что в идеальных условиях водяная пленка, покрывающая металлическую поверхность, способна поглощать большую часть падающего излучения при контакте с пламенем во время пожара пролива. Следует отметить, что равномерность орошения может нарушаться в результате замерзания воды, воздействия ветра, засорения систем, отказа системы орошения и загрязнения поверхности сосуда. Ввиду возможности возникновения этих факторов применение заниженных значений коэффициента влияния окружающей среды, приведенных в таблице 6, не допускается.

Следует принять к сведению, что водяное орошение оказывает двойное действие: охлаждает поверхность и снижает интенсивность потока тепла, выделяемого при пожаре.

6.15.4.3 Учитывают, что управляемый процесс ограничения давления в сосуде обеспечивает снижение значений внутреннего давления в сосуде и механического напряжения в стенках сосуда, защищает от возможности дополнительного поступления топлива в огонь в случае разрушения сосуда. Снижение давления в источнике утечки сокращает продолжительность пожара.

При проектировании систем ограничения давления необходимо принимать во внимание следующие факторы:

a) отсутствие доступа к средствам ручного управления, расположенным возле сосуда, во время пожара;

b) переход клапана сброса давления при аварии в соответствующее положение (т. е. открытое, закрытое или остается в последнем положении) необходимо выбирать с целью исключения возможности:

1) распространения пожара,
2) превышения пропускной способности факельной системы в случае прекращения подачи воздуха системы КИПиА,
3) загрязнения окружающей среды;

c) процесс снижения давления следует начинать на ранней стадии в целях ограничения величины механических напряжений стенки сосуда до приемлемых значений, сравнимых с теми, которые могут возникнуть при температуре стенок сосуда, достигнутой под воздействием пожара;

d) следует обеспечить безопасную утилизацию потоков флюидов, сбрасываемых в атмосферу;

e) так как при выходе из строя систем ограничения давления процессы снижения давления выполняться не будут, при проектировании не следует принимать условие безотказной работы системы ограничения и сброса давления для определения размера проходного сечения устройств сброса давления при воздействии пожара.

[1)] *Значение температур определяют при проектировании конкретного МПС.*

Дополнительно требования к системам ограничения и сброса давления приведены в *6.15.6, 6.20* и *8.1.3*.

***6.15.5* Наружная изоляция**

6.15.5.1 Защитное действие тепловой изоляции не следует учитывать при проектировании, т. к. она, как правило, не соответствует требованиям по защите от огня, приведенным в *6.15.5.2 — 6.15.5.4*. При выполнении данных требований уменьшенное значение подвода теплоты от воздействия огня следует определять согласно положениям настоящего стандарта, используя коэффициент влияния окружающей среды *F* (см. таблицу 6) и уравнение (*12*) либо определения фактического теплового потока через изоляцию с учетом ее удельной теплопроводности и толщины. Принятие решения по учету снижения величины подвода теплоты вследствие огнезащитного действия изоляции должно быть отражено в проектной документации (см. *5.4*).

6.15.5.2 Материал основной изоляции в составе системы изолирующих материалов должен обеспечить эффективное выполнение своих функций при температуре до 900 °С в условиях пожара, продолжительность которого составляет до 2 ч, в зависимости от правильности выбора мероприятий по борьбе с пожарами, доступности оборудования, а также квалификации и подготовленности персонала. При потере защитной металлической обшивки и/или покрытия система изоляции должна сохранять свою форму, функциональность в обеспечении целостности покрытия сосуда и изолирующую способность. Следует предусмотреть выполнение мероприятий, направленных на предупреждение коррозии сосуда под изоляцией, перед установкой изоляции.

Необходимо отметить, что к критериям, требующим рассмотрения, относится способность защищаемой системы выдерживать прямой контакт с пламенем. Противопожарная изоляция либо изоляция, входящая в состав комбинированной системы, должна быть способна выдерживать тепловое воздействие при температуре 900 °С продолжительностью до 2 ч. В процессе выбора системы изоляции следует учесть материальное исполнение оборудования, одновременно с этим обеспечивая требуемую функциональность защитной обшивки изоляции при давлениях воды для пожаротушения и при температурах пожара. Защитная обшивка изоляции и ее крепления должны быть выполнены из нержавеющей стали. Необходимо исключить применение изоляционных материалов, которые могут сгорать при пожаре, либо обеспечить их защиту посредством использования многослойных систем из композитных материалов.

6.15.5.3 При определении коэффициента влияния окружающей среды *F*, принимаемого для учета эффективности влияния изоляции, следует использовать значение удельной теплопроводности изоляции при среднем значении температуры, равном среднему значению между 904 °С и температурой процесса, ожидаемой в условиях сброса давления (см. *6.15.5.4*).

Для многослойных изолирующих систем, состоящих из различных материалов, следует определить физические характеристики каждого материала при различных температурных режимах. Типовые значения удельной теплопроводности для различных изолирующих материалов приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Значения удельной теплопроводности для типовых изолирующих материалов

Средняя температура изоляции *F*, °С	Типовая удельная теплопроводность для выбранного материала, Вт/м К						
	Силикат кальция Тип I	Силикат кальция Тип II	Ячеистый мат/блок из минерального волокна[a]	Пеностекло Тип I Группа 2	Формованный блок из вспененного перлита	Легкая цементирующая изоляция[b]	Плотная цементирующая изоляция[c]
–18	—	—	—	0,045	—	0,519	1,760
38	—	—	0,039	0,053	—	0,519	1,731
93	0,065	0,078	0,049	0,063	0,079	0,519	1,702
149	0,072	0,084	0,063	0,075	0,087	0,519	1,673
204	0,079	0,088	0,079	0,091	0,095	0,519	1,659
260	0,087	0,092	0,101	—	0,107	0,519	1,630
315	0,095	0,097	0,128	—	0,115	0,519	1,615
371	0,102	0,101	0,163	—	0,127	0,519	1,587

Окончание таблицы 7

Средняя температура изоляции F, °С	Типовая удельная теплопроводность для выбранного материала, Вт/м К						
	Силикат кальция Тип I	Силикат кальция Тип II	Ячеистый мат/блок из минерального волокна[a]	Пеностекло Тип I Группа 2	Формованный блок из вспененного перлита	Легкая цементирующая изоляция[b]	Плотная цементирующая изоляция[c]
427	—	0,105	—	—	—	0,519	1,572
482	—	0,108	—	—	—	0,519	1,543
538	—	0,111	—	—	—	0,519	1,514
593	—	—	—	—	—	0,519	1,486
649	—	—	—	—	—	0,519	1,471
	Максимальная температура для использования материала в качестве изоляции, °С						
	649	927	649	c	c	прибл. 870	прибл. 1090

[a] Ячеистый мат/блок из минерального волокна состоит из камня, шлака или стекла, переработанного из расплавленного состояния в волокно. В таблице указаны максимальные значения удельной теплопроводности для различных видов изоляции, соответствующие максимальной указанной температуре для использования в качестве изоляции.

[b] Значения удельной теплопроводности для легкой и плотной цементирующей изоляции являются приблизительными.

[c] Максимальная температура для использования материала в качестве изоляции.

6.15.5.4 Следует учитывать, что ограничение подвода теплоты от огня при пожаре, обеспечиваемое наружной изоляцией, понижает как величину возрастания температуры стенок сосуда, так и количество пара, образующегося внутри сосуда.

Наличие изоляции позволяет оптимизировать процесс утилизации паров путем использования систем ограничения и сброса давления с меньшей пропускной способностью.

Система наружной изоляции, предназначенная для ограничения подвода теплоты от огня, должна соответствовать требованиям, предъявляемым к изоляции в соответствии с *6.15.5.2*.

В случае применения изоляции или огнезащитного покрытия величину поглощения теплоты определяют с допущением, что наружная температура защитной обшивки изоляции или иного наружного покрытия достигает температуры теплового равновесия, равной 904 °С. С учетом этой температуры и рабочей температуры внутри сосуда, а также толщины и удельной теплопроводности защитного покрытия необходимо определить среднюю скорость теплопередачи к содержимому сосуда. При этом следует использовать среднее значение величины удельной теплопроводности изоляции, так как она возрастает с повышением температуры.

Для изолированных сосудов коэффициент влияния окружающей среды (см. таблицу 6) для изоляции определяется по формуле

$$F = \frac{k(904 - T_f)}{66570\delta_{ins}}, \qquad (12)$$

где k — удельная теплопроводность изоляции при средней температуре, Вт/м · К;

δ_{ins} — толщина изоляции, м;

T_f — температура содержимого сосуда при условиях сброса, °С.

Если устройство сброса давления проектируется с учетом эффективности применения изоляции (т. е. принимается, что $F < 1$) и при этом изоляция впоследствии удаляется, то размер проходного отверстия устройства сброса давления следует определить повторно с использованием значения коэффициента влияния окружающей среды $F = 1,0$ в целях обеспечения соответствия устройства новым условиям.

***6.15.6* Ограничение давления пара**

Перед определением потребности в сбросе давления для условий, вызванных пожаром, следует проанализировать положения, приведенные в *5.3.13* и *8.1.3*. В качестве защиты от огня, в частности

предусматриваемой для систем высокого давления, следует рассмотреть вариант использования технических средств снижения давления пара, приведенных в *6.20*. Следует учитывать, что клапан сброса давления не может обеспечить снижение давления; он только ограничит величину роста давления при аварийном режиме заданным значением. Для определения нагрузки системы ограничения давления пара при воздействии огня необходимо рассмотреть возможность возникновения пожара, охватывающего сосуд, в котором содержатся и жидкость, и пар. При этом необходимо принять во внимание вероятность того, что под воздействием огня температура несмачиваемой части поверхности сосуда достигнет значения, при котором прочность материала сосуда понизится. В этом случае клапан сброса давления не обеспечивает защиту сосуда от разрушения, в то время как система ограничения давления пара обеспечивает снижение давления до безопасного значения.

***6.15.7* Теплообменники с воздушным охлаждением**

6.15.7.1 Необходимо учитывать подвод теплоты к холодильникам и конденсаторам с воздушным охлаждением при воздействии пожара. Наряду с указаниями, приведенными в *6.15.7.1—6.15.7.4*, следует учесть специфические условия в случае каждой рассматриваемой ситуации в отдельности. Поверхность теплопередачи теплообменников с воздушным охлаждением в отличие от кожухотрубных теплообменников непосредственно подвергается прямому воздействию огня. На теплообменники в качестве охлаждающей среды предусмотрена подача воздуха с температурой окружающей среды; следовательно, при нагревании воздуха в условиях пожара теплообменники в течение короткого периода времени полностью утрачивают способность обеспечения процессов охлаждения и конденсации.

Считая, что теплообменники необходимо рассматривать как сосуды в *6.15.2.2*, при расчете нагрузки сброса давления для определения значения площади воздействия пожара следует принимать площадь смачиваемой поверхности трубок без изоляции, подверженных воздействию излучения при пожаре. Следует принимать площадь поверхности трубок без изоляции, а не площадь поверхности оребренных трубок, так как большая часть конструкции оребрения трубок разрушится в начальный период воздействия огня. Подводом тепла за счет конвективной теплопередачи допускается пренебречь. Следует учитывать, что определение площади смачиваемой поверхности трубок без изоляции, подверженных воздействию излучения при пожаре, зависит от месторасположения теплообменника относительно пламени возможного пожара и от охлаждаемого флюида, находящегося в теплообменнике. Как правило, требуется рассмотреть только ту часть неизолированной поверхности теплообменника с воздушным охлаждением, которая расположена в пределах зоны возможного воздействия огня при пожаре.

6.15.7.2 При определении огневых нагрузок допускается не учитывать площадь неизолированной поверхности теплообменников (охладителей газа) с воздушным охлаждением, входящих в состав систем охлаждения газа, т. к. при нарушении процесса охлаждения газа парообразование отсутствует и трубки теплообменников, как правило, выходят из строя в результате перегрева.

6.15.7.3 Допускается не учитывать площадь неизолированной поверхности конденсаторов с воздушным охлаждением, обеспечивающих как частичную, так и полную конденсацию, при соблюдении двух условий:

- трубки конденсаторов являются самодренирующимися;
- в схеме не предусмотрен регулирующий клапан или насос, соединенный непосредственно с выходом жидкости из конденсатора, которые препятствовали бы дренированию жидкости во время пожара.

Исключение необходимости учета этой площади объясняется тем, что в случае пожара процесс конденсации прекращается и весь оставшийся конденсат свободно стекает самотеком в сборник, расположенный ниже по технологической схеме.

Если указанные выше условия не выполняются, то при определении огневых нагрузок конденсатор следует рассматривать как охладитель жидкости согласно *6.15.7.4*.

6.15.7.4 Важно учитывать, что для охладителей жидкости и конденсаторов, не охваченных в *6.15.7.3*, в качестве площади смачиваемой поверхности принимают площадь неизолированной поверхности трубок, расположенных в зоне возможного воздействия огня при пожаре и на расстоянии не выше 7,6 м от уровня поверхности, на которой в течение длительного времени может поддерживаться горение (например, от палубы/платформы со сплошным настилом). Для трубок охладителей, расположенных выше 7,6 м от уровня поверхности, на которой в течение длительного времени может поддерживаться горение, площадь смачиваемой поверхности принимают равной нулю для агрегатов с принудительной вентиляцией (трубки экранируются от воздействия теплового излучения) и расчетной площади трубного пучка (определяется как произведение длины на ширину) — для агрегатов с приточно-вытяжной

вентиляцией. При вычислении величины теплопоглощения под воздействием огня следует использовать уравнения (*5*) и (*6*), при этом коэффициент, показывающий, какая часть площади смачиваемой поверхности от общей площади поверхности подвержена воздействию пожара, принимается равным 1,0.

6.15.7.5 В качестве решений по минимизации негативных последствий пожара следует принимать во внимание, что при пожаре, как правило, возникает необходимость в сбросе давления с предельно большими нагрузками сброса, особенно в случае с охладителями жидкости с воздушным охлаждением. Устройство сброса давления с необходимой площадью проходного сечения в случае пожара должно обеспечить сброс всего содержимого такого охладителя жидкости в течение нескольких секунд. Необходимо учитывать, что по окончании сброса содержимого охладителя жидкости поверхность трубок не будет смачиваться, в результате чего при контакте с огнем трубки выйдут из строя из-за перегрева.

При рассмотрении сценария пожара не следует определять размер проходного сечения устройств сброса давления для трубопроводов. Вместо устройств сброса давления для уменьшения последствий воздействия огня на трубопроводы должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению защиты от огня, оптимальному расположению оборудования и др. Аналогично необходимо учитывать, что при рассмотрении сценария пожара вместо применения устройств сброса давления необходимо рассмотреть различные варианты уменьшения последствий пожара и для теплообменников с воздушным охлаждением:

a) теплообменники с воздушным охлаждением не следует располагать над оборудованием, содержащим или транспортирующим большие объемы ЛВЖ. К данному оборудованию относятся:

1) насосы, теплообменники, уравнительные емкости, ребойлеры и накопители,

2) к трубопроводам, расположенным на эстакадах, данное требование допускается не применять;

b) необходимо разработать мероприятия, исключающие возможность возникновения пожара пролива под установленным на палубе/платформе со сплошным настилом теплообменником с воздушным охлаждением (наличие дренажных систем, установка комингсов);

c) теплообменники с воздушным охлаждением следует размещать либо на внешних границах технологической установки, либо на максимально возможном удалении от другого оборудования, заполненного жидкостью;

d) если приведенные выше критерии по расположению теплообменников с воздушным охлаждением не могут быть выполнены, следует:

1) рассмотреть вариант использования автоматической системы орошения водой для охлаждения трубок на случай пожара,

2) в качестве альтернативных данному варианту рассмотреть необходимость и возможность применения средств технологического отключения теплообменников с воздушным охлаждением от емкостей, содержащих большие объемы жидкости. Предпочтительным способом технологического отключения является использование дистанционно или автоматически управляемых клапанов. Допускается также технологическое отключение, выполняемое вручную, при условии, что клапаны расположены на участке, доступном при пожаре;

e) при невозможности обеспечения оперативного технологического отключения теплообменников с воздушным охлаждением от емкостей, содержащих большие объемы ЛВЖ или ГЖ [например, при расположении в соответствии с технологической схемой теплообменника с воздушным охлаждением между ректификационной колонной и сборником орошающей фракции (флегмы)] следует предусмотреть возможность свободного дренирования теплообменника с воздушным охлаждением непосредственно в ректификационную колонну или сборник орошающей фракции, что сводит к минимуму площадь смачиваемой поверхности, подверженной воздействию огня.

6.16 Струйное горение

Защита от воздействия струйного пожара достигается путем использования средств, к которым не относятся устройства сброса давления, т. к. при повреждении, возникающем из-за локального перегрева, применение устройства сброса давления неэффективно.

Следует учитывать, что для струйного горения сложно прогнозировать месторасположение участков контакта с пламенем. Струйное горение создает более высокие относительно пожара пролива тепловые нагрузки на смачиваемые и несмачиваемые поверхности сосуда вследствие высоких температур пламени (внутри струйных пожаров мгновенные локальные потоки теплоты достигают величины до 300 кВт/м^2), при этом от скорости струи огня зависит площадь поверхности, заливаемой водой для пожаротушения при срабатывании системы водяного орошения и/или использовании лафетных стволов.

Необходимо принять к сведению, что струйное горение может возникать при выбросе в атмосферу ГЖ/ЛВЖ под давлением. При этом оборудование может быть повреждено из-за интенсивного локального перегрева участка его металлической стенки, вызванного воздействием на него пламени струйного горения. Повреждение оборудования может произойти и без роста давления в оборудовании до значения давления настройки устройства сброса давления, что является следствием локального характера нагрева, при котором температура основной части объема жидкости повышается незначительно. Следовательно, необходимо учитывать, что устройство сброса давления (т. е. устройство защиты от превышения давления) может не предотвратить повреждение сосуда при контакте с пламенем струйного горения.

Необходимо принять во внимание, что при проектировании систем защиты от струйных пожаров основное внимание следует уделять не системе ограничения и сброса давления, а предотвращению возможных утечек, что обеспечивается проведением соответствующего технического обслуживания и/или применением таких систем минимизации последствий, как системы защиты от огня, системы ограничения давления, изоляция утечек, а также соответствующим размещением или минимизацией количества оборудования и/или трубопроводов, и противоаварийных мероприятий. Следует учитывать, что применение защиты от огня обеспечивает увеличение времени противостояния пожару (контакт с пламенем может привести к повреждению сосуда менее чем через 5 мин, в зависимости от толщины и материала стенки сосуда), но может не предотвратить повреждение, так как существует вероятность разрушения огневой защиты в результате практически мгновенного действия пламени струйного горения. Системы ограничения давления рассматриваются в *6.20*. Следует отметить, что в отличие от пожара пролива струйный пожар можно полностью «погасить» посредством отсечения источника струйного пожара (в качестве которого может выступать, например, труба, имеющая течь, сосуд или другое оборудование) и посредством снижения давления в этом источнике.

6.17 Открытие клапанов с ручным управлением

Нижеперечисленные положения необходимо применять к случаям несанкционированного открытия клапанов ручного управления, которое приводит к росту давления в сосуде. Пропускная способность устройства сброса давления, установленного на сосуде, должна обеспечивать прохождение потока среды с расходом, равным расходу через открытый клапан. Пропускную способность клапана ручного управления необходимо определять при прохождении потока среды в его полностью открытом положении при давлении в сосуде в условиях сброса. В случае если через клапан проходит мгновенно испаряющаяся жидкость или флюид, который вызывает испарение содержимого сосуда, то допускается использовать эквивалентные значения объема или теплосодержания. В определенный момент времени необходимо рассматривать несанкционированное открытие только одного клапана ручного управления.

6.18 Отказ электроснабжения

6.18.1 Общие положения

Следует учитывать, что для определения требований к сбросу давления, вызванному прекращением подачи электроэнергии, необходимо выполнить анализ работы установки или системы, позволяющий определить, на каком оборудовании отражается отказ электроснабжения и как отказ этого оборудования влияет на процесс эксплуатации установки.

Требуется учесть положения, приведенные в *5.3.5* и *5.3.6*.

Следует отметить, что наличие резервного оборудования, при необходимости автоматически вводимого в эксплуатацию, обеспечивает увеличение времени нахождения установки в действующем состоянии до максимума, сведение к минимуму нарушений ее работы и, как следствие, выполнение заданных показателей производства продукции. При этом необходимо учитывать, что построение самой схемы электроснабжения, очередность работы ее компонентов и непосредственно сами компоненты не обеспечивают ее полную надежность и безотказность функционирования, следовательно, не являются критерием при выборе отдельных величин требуемого сброса.

6.18.2 Анализ отказа электроснабжения

Отказ электроснабжения следует анализировать по следующим направлениям:

- прекращение подачи электроэнергии в локальном масштабе для одной единицы оборудования;
- промежуточное или частичное прекращение подачи электроэнергии на один распределительный центр, один центр управления электродвигателями и т. д.;

- полное прекращение подачи электроэнергии на все механизмы с электроприводами одновременно.

Влияние прекращения подачи электроэнергии в локальном масштабе следует рассматривать в случаях, когда оно отражается на отдельном оборудовании, таком как насосы, вентиляторы и клапаны с электрическим приводом. После восстановления штатного режима работы оборудования требования к сбросу давления следует определять исходя из положений, приведенных в соответствующих разделах настоящего стандарта.

Необходимо учитывать, что промежуточное или частичное прекращение подачи электроэнергии может оказать более серьезное влияние по сравнению с двумя другими видами прекращения подачи электроэнергии.

Полное прекращение подачи электроэнергии требует дополнительной проработки с целью выполнения анализа и оценки комбинированного влияния отказа нескольких единиц оборудования. Требуется учесть возможность одновременного открытия клапанов сброса давления в нескольких системах, особенно если сброс производится в закрытую систему.

6.19 Отказ технологического оборудования

6.19.1 Требования *по защите технологического оборудования от отказа*

Технологическое и подобное оборудование должно быть защищено посредством установки устройства сброса давления с достаточной пропускной способностью во избежание превышения давления в случае возникновения внутренней неисправности технологического оборудования, что определяет необходимость:

- установления характера и объемов возможного внутреннего повреждения;
- установления требуемой скорости сброса давления, если превышение давления на стороне низкого давления теплообменника и/или подключаемого оборудования возникает в результате повреждения;
- выбора устройства сброса давления с достаточным для предотвращения превышения давления быстродействием;
- правильного выбора места для размещения устройства сброса давления с целью обеспечения своевременного обнаружения превышения давления и реагирования на него.

Следует учитывать, что мероприятия по защите от превышения давления, предусматриваемые для теплообменника и подключаемых к нему трубопроводов, не исключают необходимость проведения анализа опасностей технологического процесса с целью рассмотрения и учета возможных последствий влияния утечки в любом промежуточном потоке на технологический процесс.

Данные положения определяются условиями, возникающими при разрушении трубок теплообменника, и не учитывают химическую реакцию, протекающую в случае смешения флюида высокого давления с флюидом низкого давления. В случае, если теплообменник содержит химически активные вещества, необходимо разработать технические решения по предупреждению повышения давления, создаваемого при протекании химической реакции, больше скорректированного давления гидроиспытания на стороне низкого давления теплообменника (см. *3.56* и *5.3.2*).

6.19.2 Рассмотрение воздействия давления

Полное разрушение трубки, содержащей большое количество флюида с высоким давлением, следует считать маловероятным, но возможным событием. Малая утечка может, с малой вероятностью, привести к превышению давления в теплообменнике во время эксплуатации, при этом необходимо учитывать, что такая утечка на стороне низкого давления при нахождении ее в закрытом (отсечном) положении может привести к превышению давления. Следует считать маловероятным, что причиной потери герметичности на стороне низкого давления с последующим выбросом в атмосферу является разрушение трубки в случае, когда давление на стороне низкого давления (включая системы, предшествующие и последующие по технологической схеме) во время разрушения трубки не превышает скорректированное давление гидроиспытания (см. *3.56* и *5.3.2*). При проектировании допускается принимать значение давления, отличное от скорректированного давления гидроиспытания, при условии проведения соответствующего детального технического анализа, подтверждающего малую вероятность потери герметичности. Максимально возможное давление в системе вместо расчетного давления допускается использовать в качестве давления на стороне высокого давления в каждом конкретно рассматриваемом случае при наличии большой разницы между расчетным и рабочим давлением для стороны высокого давления теплообменника.

Сброс давления в случае разрушения трубки не требуется, если давление на стороне низкого давления теплообменника (включая системы, предшествующие и последующие по технологической схеме) не превышает вышеуказанные критерии. Риски выхода из строя теплообменника при разрушении трубки возможно минимизировать посредством принятия следующих технических решений:

- увеличения расчетного давления на стороне низкого давления теплообменника (включая системы, предшествующие и последующие по технологической схеме);
- и/или при прохождении потока через разрушенную трубку заданное значение давления не будет превышено, и/или при этом будет обеспечиваться сброс давления.

6.19.3 **Определение требуемого расхода при сбросе давления**

Следует учитывать, что в процессе эксплуатации внутреннее повреждение может варьироваться от бесконечно малой утечки до полного разрушения трубки. При определении требуемого расхода во время сброса давления для установившегося потока следует исходить из следующих положений:

- повреждение трубки представляет разрыв одной трубки;
- предполагается, что последствия повреждения трубки проявляются с наружной (противоположной трубному пучку) стороны трубной решетки;
- предполагается, что флюид высокого давления протекает как через остаток разрушенной трубки в трубной решетке, так и через более длинную часть трубки.

Вместо приведенного выше подхода допускается использовать упрощенное предположение, при котором рассматриваются два выходных конечных участка трубки, т. к. в этом случае получают бóльшие значения расхода потока при сбросе давления, чем при подходе, рассматривающем длинную открытую трубку и остаток трубки в трубной решетке. Динамический подход требует выполнения анализа, по результатам которого определяют необходимость выбора повреждения в виде частичного (не по полному проходному сечению трубки) разрушения трубки в качестве основного принципа для проектирования. При определении скорости сброса давления необходимо учесть количество жидкости, мгновенно испаряющейся либо в результате снижения давления, либо, в случае нагрева парообразующих флюидов, вследствие комбинированного действия, вызванного снижением давления и парообразованием при непосредственном контакте флюида со средой на стороне низкого давления, имеющей более высокую температуру.

Для флюидов, не проявляющих парообразующих свойств при прохождении через отверстие в поврежденной трубке, скорость сброса давления через отверстие в поврежденной трубке необходимо рассчитывать с использованием уравнений для несжимаемого потока. Для пара, проходящего через отверстие в поврежденной трубке, необходимо применять уравнения для сжимаемого потока.

Метод рассмотрения двухфазного потока следует использовать при определении скорости сброса давления через отверстие в поврежденной трубке для парообразующих жидкостей или двухфазных флюидов. В случаях мгновенного испарения флюида на стороне низкого давления теплообменника для потока, проходящего через участок трубки до отверстия (разрыва), вызванного ее повреждением, которое, по предположению, локализуется в районе трубной решетки, следует использовать методы расчета двухфазного потока. При выборе метода для расчета потока (однофазного либо двухфазного), проходящего через трубную решетку до отверстия в поврежденной трубке, следует учитывать толщину трубной решетки. При определении минимальной длины горизонтального участка трубопровода, требуемой для применения методов расчета двухфазного потока, руководствуются соответствующей технической справочной литературой.

Для определения требуемого размера проходного сечения устройства сброса давления применяют два подхода:

- анализ установившегося потока;
- динамический анализ.

При использовании метода установившегося потока требуемый размер проходного сечения устройства сброса давления следует определять исходя из рассмотрения потока газа и/или жидкости через отверстие в поврежденной трубке. Значение пропускной способности, обеспечивающее требуемое снижение давления в трубопроводе на стороне низкого давления, принимают согласно *6.19.5*.

Одномерную динамическую модель применяют, когда подход заключается в моделировании профиля давления и скачков давления, возникающих в теплообменнике, с момента разрушения (разрыва) трубки. Следует учитывать, что приведенные методы, как правило, включают динамическую модель сценария разрушения (разрыва) трубки и времени срабатывания устройства сброса давления, точность которого необходима при расчете значений давления в модели.

Анализ этого типа выполняют в дополнение к методу установившегося потока в случаях, когда в расчете получается большое различие между значениями расчетного давления на каждой из двух сторон теплообменника (например, 7000 кПа и более), особенно когда сторона низкого давления заполнена жидкостью, а сторона высокого давления — газом или флюидом, мгновенно испаряющимися при прохождении через отверстие в поврежденной трубке. Необходимо отметить, что при таких обстоятельствах переходные условия могут привести к превышению давления большему, чем давление испытаний, даже при наличии защиты в виде устройства сброса давления. В этих случаях необходимо предусмотреть применение дополнительных технических решений по защите от превышения давления.

6.19.4 **Устройства сброса давления и места их установки**

Следует учитывать, что конструкция трубопроводов в районе теплообменника и место установки устройства сброса давления играют важную роль в обеспечении защиты теплообменника. Требуется рассмотреть использование мембран предохранительных МПУ и клапанов сброса давления.

Устройство сброса давления устанавливают либо непосредственно на теплообменнике, либо в непосредственной близости на подключаемом к нему трубопроводе, что особенно важно, если сторона низкого давления теплообменника заполнена жидкостью. Следует учитывать, что в этом случае фронт резкого роста давления перемещается от места повреждения трубки до места установки устройства сброса давления тем дольше, чем более удаленно расположено устройство сброса давления. Дополнительно требуется определенное время на то, чтобы газ преодолел инерцию жидкости на стороне низкого давления и установился стабильный поток по линии сброса давления. Следует учитывать, что данный процесс может привести к большему переходному значению превышения давления в теплообменнике, действующему до тех пор, пока не сработает МПУ или клапан сброса давления.

При невозможности обеспечения защиты теплообменников (и подключаемых к ним трубопроводов) посредством установки устройств сброса давления (например, при наличии большой разности давлений между внутритрубной и межтрубной зонами) следует применять другие средства защиты [например, улучшенный состав металла, проведение более частых технических проверок и повышение расчетного давления на стороне низкого давления (включая трубопроводы, расположенные по схеме, как перед теплообменником, так и за ним, до сброса давления)].

Следует определить длительность интервала времени, необходимого для открытия устройства сброса давления. Время открытия устройства сброса давления рекомендуется подтвердить у его изготовителя и обеспечить, чтобы оно соответствовало требованиям, предъявляемым к системе.

6.19.5 **Влияние трубопроводов и технологических условий**

Для определения влияния трубопроводов либо при исключении необходимости установки устройства сброса давления, либо при снижении требований к сбросу давления следует рассмотреть трассировку трубопровода сброса и содержимого (жидкость или пар) на стороне низкого давления теплообменника. В случае если содержимое на стороне низкого давления теплообменника находится в паровой фазе, то в расчет принимают полную пропускную способность входных и выходных трубопроводов при условии отсутствия в составе входных трубопроводов обратных клапанов или другого оборудования для предотвращения обратного потока. В случае если сторона низкого давления теплообменника заполнена жидкостью, то эффективная пропускная способность системы трубопроводов при сбросе давления, которую необходимо учитывать, должна быть определена исходя из объемного расхода жидкости, заполнявшей сторону низкого давления теплообменника до разрушения трубки. Необходимо учитывать пропускную способность при сбросе давления, которая определяется ускорением жидкости, заполняющей сторону низкого давления теплообменника.

В случае если в системе трубопроводов, соединенных со стороной низкого давления теплообменного оборудования, установлены клапаны, требуется учесть их влияние на пропускную способность системы трубопроводов при сбросе давления в случае превышения давления. Клапаны, предназначенные только для отсечения теплообменного оборудования от технологического процесса, допускается считать полностью открытыми. При определении пропускной способности, обеспечиваемой системой трубопроводов при сбросе давления, считают, что клапаны, используемые для регулирования расхода, находятся в положении, соответствующем минимальному расходу для конкретного процесса. Не следует принимать это допущение в случае, если клапан может закрываться автоматически при возникновении аварийной ситуации.

6.19.6 **Теплообменники типа «труба в трубе»**

Применяют два типа теплообменников «труба в трубе», при этом к первому из них относятся теплообменники, в которых в качестве внутренних трубок используются стандартные типоразмеры труб, а ко второму — теплообменники, в которых используются трубки с заданной толщиной стенки, как

правило, с утолщенными стенками. В агрегатах, в которых в качестве внутреннего канала или трубки используется труба определенного типоразмера, разрушение внутренней трубы в отличие от других в системе маловероятно. Поэтому нет необходимости рассматривать полное разрушение трубки в качестве сценария, требующего наличия устройства сброса давления. Следует учитывать возможность возникновения разрушения трубы по сварному шву. При проектировании необходимо рассматривать каждый случай в отдельности, выполняя техническую оценку того, относится ли рассматриваемый случай к разряду исключений или нет (например, в случаях применения трубок задаваемой толщины стенки следует определить, эквивалентны ли они стандартным трубам или нет).

6.20 Снижение давления пара

6.20.1 Общие положения

Системы ограничения и сброса давления применяют для уменьшения последствий утечки из сосуда посредством снижения расхода вытекающей среды и/или объема содержимого сосуда до возникновения повреждения сосуда. Как правило, системы ограничения и сброса давления используются для уменьшения вероятности повреждения в сценариях, включающих перегрев (например, пожар). В случае, если температура металла повышается под воздействием огня, экзотермической реакции либо неуправляемых реакций в технологическом процессе, температура металла может достигнуть значений, при которых возникает его механическое разрушение. Следует учитывать, что такой сценарий возможен, даже если давление в системе не превышает максимальное значение относительного превышения максимально допускаемого рабочего давления. В этом случае при снижении давления внутренние механические напряжения снижаются, благодаря чему сосуд может выдерживать определенную температуру в течение более продолжительного времени[1)]. Система ограничения и сброса давления должна обеспечить снижение давления, чтобы остаточное внутреннее давление создавало механические напряжения, не превышающие значения напряжения разрушения. В общем случае значения скорости снижения давления следует максимизировать в пределах суммарной пропускной способности факельной системы [т. е. сумма всех требуемых мгновенных значений скорости снижения и сброса давления должна приближаться к пропускной способности факельной системы/системы разрядки либо быть равной ей (см. *8.1*)].

В случае если для защиты сосуда и/или трубопроводов от пожара устанавливается система ограничения и сброса давления, то необходимость в наличии противопожарной защиты должна определяться пропускной способностью устройства сброса давления, типом, размером и интенсивностью пожара, наличием воды и оборудования для пожаротушения, типом и компоновкой дренажной системы. Следует учитывать, что необходимость в наличии противопожарной защиты также зависит от толщины стенки, материала сосуда/трубы и от определяющих критериев приемлемости для конкретной установки. При проектировании/составлении спецификации на систему ограничения и сброса давления следует учитывать следующие факторы:

- время, прошедшее до разрушения стенки сосуда (время, необходимое для перехода персонала в безопасное место; время, необходимое для проведения спасательных операций);
- давление разрушения стенки сосуда (распространение, разрыв на части);
- давление разрушения труб (распространение);
- полное высвобождение легко воспламеняющихся сред (распространение);
- мгновенную скорость утечки (резкое увеличение размера пожара во время эвакуации или спасения);
- потерю продукции, репутации и затраты на восстановление;
- повреждение внутреннего оборудования (например, тарелок, перегородок и др.), унос уплотнительных жидкостей или катализатора в систему ограничения и сброса давления, разрушение при охлаждении.

Следует учитывать, что приведенные факторы могут отличаться для различных установок, например, в зависимости от флюида — газ, газовый конденсат либо нефть, является ли флюид токсичным или нет и пр. Разрушение трубы считают более приемлемым по сравнению с разрушением стенки сосуда (разрыв на части и возможный взрыв при расширении паров кипящей жидкости).

В случае если снижение давления пара требуется как в целях защиты от воздействия огня, так и в технологических целях, то размер проходного сечения устройства давления следует определять исходя из большей потребности.

[1)] *Значение времени определяют при проектировании конкретного МПС.*

Необходимо обеспечить, чтобы система ограничения и сброса давления пара имела пропускную способность, достаточную для предотвращения снижения напряжения стенки сосуда до значения, при котором механическое разрушение стенки сосуда не происходит. В случае воздействия огня при пожаре пролива и при выполнении расчета подвода тепла по формуле (*5*) или (*6*) принято считать, что процесс снижения давления в оборудовании от исходного значения до уровня, эквивалентного 50 % от расчетного давления сосуда, должен быть не более 15 мин. В основе этого критерия лежит зависимость напряжения разрыва от температуры стенки, и он применяется к сосудам, изготовленным из углеродистой стали с толщиной стенки приблизительно *25* мм и более. Для сосудов со стенками меньшей толщины скорости снижения давления должны быть больше. Следует учитывать, что требуемая скорость снижения давления зависит от химического состава металла сосуда, толщины и температуры его стенки, исходной температуры стенки сосуда и интенсивности подвода теплоты. Наличие легких углеводородов, которые охлаждаются до низких температур при снижении давления, учитывают при разработке расчетных условий и условий сброса давления.

Необходимо отметить, что процесс снижения давления продолжается на протяжении времени действия аварийной ситуации. Следует обеспечить поддержание функциональной способности клапанов на протяжении времени действия аварийной ситуации либо их переход в полностью открытое состояние в случае аварии. В противном случае требуется обеспечить защиту от огня управляющего и исполнительного механизма клапана и/или иных мероприятий (например, размещение клапана, исполнительного механизма клапана и линий прохождения сигналов управления вне зоны пожара) в целях обеспечения соответствующей функциональной способности клапана во время пожара.

Аварийное снижение давления при пожаре следует рассматривать для крупногабаритного оборудования, эксплуатируемого при давлении 1700 кПа и больше. Влияние подвода теплоты на сосуды приведено в *6.15.2* и *6.20.2*. В случаях, когда система ограничения и сброса давления рассчитывается на снижение последствий утечки из сосуда, снижение давления необходимо рассматривать до значения давления, составляющего 690 кПа.

Следует учитывать, что в зависимости от требований, определяемых при проектировании, могут применяться критерии снижения давления, отличные от приведенных выше (например, при наличии воздействия химически активных веществ либо другого воздействия, способного привести к потере герметичности при чрезмерном повышении температуры, аварийное снижение давления следует предусматривать для оборудования, рассчитанного на более широкий диапазон давлений по сравнению с вышеуказанным диапазоном). Требования по определению параметров системы аварийного отвода паров и газов и величины роста температуры в химически активной системе приведены в *6.13*.

К мерам по минимизации последствий для оборудования, которое может подвергаться воздействию огня, относятся проектирование оборудования, расположение оборудования, защита конструкций от огня, проектирование дренажных систем, проектирование системы водяного пожаротушения, обеспечение способности к противоаварийным действиям, аварийное отсечение от технологического процесса и/или аварийное снижение давления. В процессе проектирования при определении соответствующих критериев аварийного снижения давления необходимо выполнить анализ эффективности мер по минимизации последствий от воздействия огня, специфичных для проектируемого объекта при его эксплуатации.

6.20.2 **Потоки пара**

6.20.2.1 В целях снижения давления в оборудовании, подверженном воздействию огня, пар необходимо отводить со скоростью, обеспечивающей компенсацию следующих процессов:

a) образования пара из жидкости в результате подвода теплоты от пламени;

b) расширения пара при снижении давления;

c) мгновенного испарения жидкости при снижении давления. Данный фактор применим, только если в системе содержится жидкость, температура которой равна или приближается к температуре насыщения.

Полная паровая нагрузка для системы, в которой необходимо снизить давление, может быть выражена в виде суммы нагрузок при компенсации вышеприведенных процессов для всего оборудования, в котором производится снижение давления пара. Следовательно, суммарную массу m, соответствующую полной нагрузке сброса при компенсации явлений, приведенных в перечислениях a)—c), определяют по формуле

$$\dot{m} \cdot t = \sum_{i=1}^{x} \left(q_{m,f} \cdot t \right)_i + \sum_{i=1}^{x} \left(q_{m,d} \cdot t \right)_i + \sum_{i=1}^{x} \left(q_{m,v} \cdot t \right)_i . \qquad (13)$$

Примечание — Переменные для формул, включенных в *6.20*, определены в *6.20.3*.

Произведение $\dot{m} \cdot t$ используется в связи с тем, что $\dot{m}$ — это расход среды в единицу времени, а $q_{m,v} \cdot t$ и $q_{m,d} \cdot t$ — массовые величины, не зависящие от времени (паровые нагрузки от изменения плотности и мгновенного испарения жидкости).

В случае, если система, в которой давление пара подлежит снижению, состоит из нескольких сосудов, необходимо рассчитать количество пара для каждого сосуда для всех трех случаев: a), b), c), особенно если при этом использованы различные значения относительной молекулярной массы, удельной теплоты (скрытой теплоты), толщины изоляции и температуры парообразования. Средняя относительная молекулярная масса и температура для выражения $\dot{m} \cdot t$ (общего количества пара, высвобожденного из всей системы в целом) должны быть рассчитаны исходя из отдельных значений относительной молекулярной массы и температуры паров компонентов, включенных в систему. Паровые нагрузки на систему ограничения и сброса давления для каждого слагаемого в формуле (*13*) приведены в *6.20.2.2, 6.20.2.3*.

6.20.2.2 Значение подвода теплоты к оборудованию при пожаре определяют согласно *6.15.2*. При этом следует учитывать, что для определения нагрузок для систем ограничения и сброса давления пара в условиях пожара могут быть использованы следующие допущения и ограничения:

- размеры предполагаемой зоны пожара зависят от характерных особенностей конструкции и размещения оборудования, позволяющих локализовать пожар в пределах заданного участка (см. *5.3.13*). Несмотря на то, что размеры предполагаемой зоны пожара могут варьироваться, следует учесть, что если пожар может быть локализован в пределах зоны площадью приблизительно 232 м^2, то его влияние не отразится на проектных параметрах основных коллекторов сброса, устанавливаемых в технологических зонах в ходе отвода потока при снижении давления в тот же коллектор сброса;

- в качестве средства уменьшения количества образующегося из-за воздействия огня пара следует использовать применение дополнительной изоляции либо увеличение толщины изоляции на отдельных сосудах;

- следует принять во внимание, что при пожаре прекращены поступление и отвод всех потоков в систему и из нее, в которой давление пара подлежит снижению, а также прекращена подача теплоты от всех внутренних источников, включенных в технологический процесс. Таким образом, парообразование зависит только от теплоты, поглощенной от пламени, и от удельной теплоты (скрытой теплоты) жидкости.

Для определения паровой нагрузки, возникающей из-за воздействия огня, следует учесть, что пожар длится на протяжении всего периода процесса снижения давления. Массу пара m_f, образовавшегося из-за воздействия огня, в течение времени снижения давления пара из i-го сосуда, входящего в состав системы, определяют по формуле

$$(m_f \cdot t)_i = t(Q/L)_i. \qquad (14)$$

Этот расчет повторяют для всех сосудов в системе.

6.20.2.3 Необходимо принять к сведению, что при выполнении расчета невозможно полностью отделить паровые нагрузки, обусловленные изменением плотности пара, от паровых нагрузок, обусловленных мгновенным испарением жидкости. В целях определения количества пара, образующегося в каждом из этих двух процессов, необходимо знать объем жидкости, находящейся в системе, и объем пара в ней, что включает всю жидкость и весь пар, находящиеся в любом напрямую соединенном оборудовании за пределами зоны пожара, которое не может быть отсечено при пожаре, а также всю жидкость и весь пар, находящиеся в оборудовании, расположенном в зоне предполагаемого пожара. Кроме того, что объем жидкости и объем пара зависят от проектируемой установки, при сравнении этих величин принимают следующие допущения:

- запас жидкости в колоннах фракционирования можно определить как сумму объемов заполнения нижней части колонны и тарелки, с которой производится отбор, и объема жидкости, удерживаемой на каждой тарелке, уровень которой равен высоте переливной отбортовки плюс 50 мм либо ее расчетному количеству, если оно известно;

- в качестве основания для определения объема среды в сосудах следует использовать рабочие уровни;

- в целях выполнения начальной упрощенной приближенной оценки для стандартных кожухотрубных теплообменников следует учитывать, что одна треть от общего объема корпуса теплообменника приходится на трубный пучок. В случае конденсаторов и теплообменников, в которых образуется пар,

необходимо принять во внимание, что пар занимает 80 % от их объема. Остальную часть объема занимает жидкость;

- всю находящуюся в теплообменниках жидкость, независимо от ее температуры, следует учитывать. Если в теплообменнике происходит образование пара, то следует принимать, что пар занимает 80 % от всего объема содержимого трубок, находящегося за пределами точки парообразования.

Только после определения объемов пара и жидкости в системе определяют долю каждого из них в нагрузке снижения давления пара.

Массу пара, удаляемого из заданного объема парового пространства *i*-го сосуда с целью компенсации уменьшения плотности пара с понижением давления, определяют по формуле

$$\left(q_{m,d} \cdot t\right)_i = 0{,}1205 \cdot V_i \left[\left(\frac{p \cdot M}{Z \cdot T}\right)_a - \left(\frac{p \cdot M}{Z \cdot T}\right)_b\right]_i, \qquad (15)$$

где нижний индекс «*a*» соответствует состоянию с более высоким давлением;

нижний индекс «*b*» соответствует состоянию с более низким давлением.

Примечание — Следует считать, что V_i в результате мгновенного испарения жидкости увеличивается незначительно. Этот расчет выполняют для каждого сосуда в системе, если свойства находящегося в них пара различны.

Расчет паровой нагрузки, создаваемой при мгновенном испарении жидкости, зависит от количества и физических характеристик жидкости, находящейся в системе, поэтому следует отметить, что ранее полученные данные также допускается использовать в этом расчете. В системах, содержащих жидкость в условиях насыщения, температуру жидкости необходимо понизить для получения требуемой величины снижения давления. Для снижения давления следует отводить пар с интенсивностью, равной интенсивности парообразования в результате подвода теплоты от пламени, в целях компенсации мгновенного испарения части жидкости. Без учета мгновенного испарения достигнуть требуемого снижения давления невозможно. При рассмотрении мгновенного испарения необходимо учитывать только тот объем жидкости, который находится при температуре насыщения жидкости или при близкой к ней температуре. Следует использовать два метода расчета необходимой скорости отвода пара для достижения снижения температуры в пределах временного интервала *t* до точки, в которой соответствующее давление пара равно требуемому конечному давлению. Первый метод применяется к относительно химически чистым[1)] веществам и к углеводородам с узким диапазоном[1)] кипения; второй метод относится к жидкостям, состоящим из смеси углеводородов с более широким диапазоном[1)] кипения. В случае химически чистых веществ и углеводородов с узким диапазоном кипения приблизительную оценку с запасом количества жидкости, мгновенно испаряющейся в *i*-м сосуде системы, определяют, приравняв количество теплоты пара, образовавшегося при мгновенном испарении, к количеству теплоты, потерянной средним количеством жидкости, по формуле

$$\left(q_{m,v} \cdot t\right)_i \cdot \lambda_i \approx \left[\left(q_{m,a} \cdot t\right) - \frac{Q_i \cdot t}{2\lambda_i} - \frac{\left(q_{m,v} \cdot t\right)_i}{2}\right] Cp_i \left(T_a - T_b\right)_i. \qquad (16)$$

Преобразовав формулу (*16*), получают формулу (*17*), определяющую количество мгновенно испаряющейся жидкости:

$$\left(q_{m,v} \cdot t\right)_i \approx \left[\left(q_{m,a} \cdot t\right)_i - \frac{Q_i \cdot t}{2\lambda_i}\right]\left[\frac{2Cp_i\left(T_a - T_b\right)_i}{2\lambda_i + Cp_i\left(T_a - T_b\right)_i}\right]. \qquad (17)$$

Примечание — Параметр $(q_{m,a} \cdot t)$ используют только для согласованности, и $q_{m,a}$ не имеет физического смысла.

При необходимости выполнения более точного расчета тот же подход следует применить в итерационной форме.

Формулу (*17*) не используют применительно к жидкостям, состоящим из смеси углеводородов с широким диапазоном кипения, т. к. свойства и состав жидкости изменяются при ее испарении. В отсутствие точных данных для флюида следует выполнить ряд упрощенных расчетов адиабатического

[1)] *Значения химической чистоты, диапазоны кипения определяют при проектировании конкретного МПС.*

мгновенного испарения при изменении давления от исходного до конечного значения, пренебрегая одновременным воздействием огня. Упрощенный расчет адиабатического мгновенного испарения — это итерационный подход выполнения повторных вычислений в соответствии с формулой (*18*), определяющей массовую долю пара при мгновенном испарении количества жидкости, изначально находившейся в системе, во время процесса требуемого снижения давления. При выполнении этого процесса следует учитывать, что пар, образующийся при мгновенном испарении, полностью отводится из системы, в которой производится снижение давления, до наступления следующего этапа. Поправка на влияние огня учитывается формулой (*19*), в которой используется среднее количество оставшейся жидкости (которое равно исходному количеству жидкости за минусом 50 % количества жидкости, испарившейся под воздействием огня на протяжении всего периода снижения давления), а не все количество жидкости, изначально находившееся в системе. Этим компенсируется исключение учета влияния эффектов испарения при пожаре на компонентный состав на каждой ступени мгновенного испарения.

Для определения приблизительного количества жидкости, испарившейся из смеси, необходимо наличие диаграммы фазового равновесия для заданной жидкости, которая обеспечивает решение графическим способом при итерационном подходе (из *n*-го количества вычислений) и определяется по формуле

$$\left(\Delta T_n\right)_i = \left[\frac{L_n\left(\Delta q_{m,v}\cdot t\right)_n}{\left(q_{m,L}\cdot t\right)_{n-1} - \left(\Delta q_{m,v}\cdot t\right)_n \left(Cp\right)_n}\right]_i . \qquad (18)$$

При этом массу испарившейся жидкости в процентном отношении следует принимать равной объему испарившейся жидкости. Принятое допущение, что на каждой ступени испарялась постепенно нарастающая часть жидкости (например, по 5 %), позволяет определить изменение температуры жидкости, используя формулу (*18*). Так как оставшаяся жидкость имеет температуру насыщения и давление для соответствующей линии 5 % испарения на фазовой диаграмме, а изменение температуры было определено с использованием формулы (*18*), изменение давления также известно. Итерационный процесс продолжается по нарастающей до того момента, как будет получено давление p_b в конце периода снижения давления. Массовая доля X_i, начальной жидкости в сосуде *i*, при давлении p_b определяется из фазовой диаграммы. Подстановка полученного значения X_i вместо последнего сомножителя в формуле (17) дает формулу (*19*) для определения массы мгновенно испаряемой жидкости в *i*-м сосуде системы в результате снижения давления при одновременном действии огня.

$$\left(q_{m,v}\cdot t\right)_i \approx \left[\left(q_{m,a}\cdot t\right)_i - \frac{Q_i\cdot t}{2L_i}\right] w_i . \qquad (19)$$

6.20.3 Обозначения, используемые в формулах

Ниже приведены переменные, используемые в формулах, приведенных в *6.20*:

C_p — средняя удельная теплоемкость жидкости, кДж/кг · К;

L — средняя удельная теплота (скрытая теплота) парообразования жидкости, кДж/кг;

m — масса жидкости или пара, кг;

$\dot{m}$ — массовый расход в единицу времени, кг/ч;

M — относительная молекулярная масса пара, безразмерная величина;

p — абсолютное давление, кПа;

q_m — массовый расход пара, кг/ч;

Q — суммарное поглощение тепла смачиваемой поверхностью (подвод тепла к смачиваемой поверхности), кДж/ч;

T — абсолютная температура жидкости или пара, К;

t — интервал времени, в течение которого производится снижение давления, ч (как правило, следует принимать равным 0,25 ч);

V — объем пара, м^3;

w — массовая доля исходной жидкости в системе, испарившейся в результате снижения давления, безразмерная величина;

Z — коэффициент сжимаемости, безразмерная величина;

Δ — выражает разность значений, например $\Delta T_n = T_{n-1} - T_n$;

λ — *удельная теплота (скрытая теплота) парообразования жидкости, кДж/кг.*

Индексы:

a — исходное состояние в начальной точке интервала времени снижения давления; следует принимать, что это состояние равновесия «насыщенный пар — жидкость» при соответствующих температуре и давлении;

b — состояние пониженного давления в конце интервала времени снижения давления;

d — обозначает отношение к изменению плотности пара при снижении давления;

f — обозначает отношение к процессу испарения под воздействием огня;

i — номер отдельного сосуда в системе, если в ее состав входит несколько сосудов и каждый требует отдельного рассмотрения по причине различающихся свойств содержащегося в нем флюида, способности изоляции выдерживать воздействие огня или других факторов влияния;

L — обозначает отношение к жидкости;

n — обозначает ступень итерационного процесса снижения давления при переходе из исходного состояния в состояние, при котором давление понижено;

n – 1 — обозначает (*n* – 1) ступень процесса снижения давления, предшествующую *n*-й ступени;

v — обозначает отношение к мгновенному испарению жидкости или к пару, образовавшемуся в результате снижения давления;

x — общее количество сосудов в системе, в которой производится снижение давления.

6.21 Выбор устройств сброса давления

6.21.1 Общие положения

Методики определения параметров проходного сечения устройств сброса давления должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.085.

6.21.2 Смесь «жидкость — пар» и образование фазы твердого вещества

В устройстве сброса давления, рассчитанном на проход жидкости, находящейся в термодинамическом равновесии с паром, либо флюида в смешанной фазе, пар образуется в результате мгновенного испарения флюида, проходящего через устройство сброса давления. Образование пара, как правило, ведет к снижению эффективной пропускной способности массового расхода потока через клапан. Унос жидкости происходит в результате вспенивания или неэффективного отделения пара от жидкости при парожидкостном потоке, что ведет к снижению расхода или эффекту запирания потока, возникающему в любой точке протекающего сжимаемого или мгновенно испаряющегося флюида, в которой располагаемое приращение перепада падения давления полностью компенсируется за счет ускорения процесса мгновенного испарения флюида, что исключает дополнительный перепад давления, необходимый для преодоления сопротивления участка трубопровода.

Определенные флюиды (например, двуокись углерода и сырой пропан) могут частично переходить в фазу твердого вещества при выпуске из устройства сброса давления.

6.21.3 Расположение устройства сброса давления в системе, в нормальных условиях содержащей жидкость

В случае если параметры проходного сечения клапанов или других устройств сброса давления рассчитаны на сброс пара, подведенного или образовавшегося в системе, во всех компонентах которой при нормальных условиях находится жидкость (см. *6.10, 6.12, 6.13,* и *6.20*), необходимо устанавливать это устройство сброса давления там, где оно будет сбрасывать пар, а не объемный эквивалент пара в жидком состоянии.

6.21.4 Устройства сброса давления

6.21.4.1 Следует учитывать, что соответствующие НД, регламентирующие расчет устройств сброса давления, ограничивают допускаемый диапазон давления настройки для различных типов устройств сброса давления.

6.21.4.2 К факторам, определяющим необходимость установки нескольких устройств сброса давления с различными значениями давлений настройки, следует отнести:

- параметры проходного сечения и величину утечек через клапан;
- требования, выдвигаемые к сосуду, работающему под давлением;
- характеристики давления на входе клапана сброса давления;
- реактивную нагрузку при сбросе;
- диапазон требуемых скоростей сброса давления в различных нештатных ситуациях.

При выполнении расчета параметров проходного сечения клапанов сброса давления необходимо рассмотреть возможные источники превышения давления, определить расход потока при сбросе и выбрать требуемое значение площади проходного сечения. Величину потока при сбросе следует определять как результат влияния одного либо одновременного влияния нескольких факторов, что определяет трудность прогнозирования потока и, как следствие, необходимость выбора завышенных параметров проходного сечения клапанов сброса давления. При невозможности получения требуемых параметров проходного сечения установкой одного стандартного клапана сброса давления для обеспечения сброса давления с требуемой скоростью следует использовать несколько клапанов сброса давления. Колебания давления в сосуде, давление в котором регулируется, могут приближаться или входить в рабочий диапазон одного клапана сброса давления. При этом возникает непрерывная утечка, которая присутствует до тех пор, пока давление в системе не упадет на величину, достаточную для срабатывания пружины на закрытие клапана. Следует учитывать, что чем больше проходное сечение клапана, тем меньше подъем его запирающего элемента для пропуска потока с минимальным расходом и тем больше утечка при отдельно взятом значении подъема. Такая утечка, как правило, сопровождается вибрацией и повреждением седла клапана. Необходимо отметить, что воздействие приведенных процессов увеличивается при применении нескольких клапанов сброса давления с одинаковой величиной давления настройки; при этом применение нескольких клапанов сброса давления с различными давлениями настройки обеспечивает исключение возникновения этих процессов. В качестве клапана сброса давления с требуемой минимальной величиной давления настройки выбирают клапан минимального проходного сечения исходя из необходимой потребности в сбросе давления либо из необходимой величины относительно общей потребности сброса. Клапаны сброса давления с требуемой максимальной величиной давления настройки должны открываться только при необходимости сброса потока с расходом, соответствующим сумме значений проходных сечений всех клапанов сброса давления с различными давлениями настройки, установленными на данном сосуде.

6.21.4.3 В ходе рассмотрения процесса выпуска среды из нескольких клапанов сброса давления определяют результаты влияния противодавления при одновременном выпуске среды из всех клапанов при возникновении нештатной ситуации. Во время проектирования следует рассматривать процесс прохождения потока через все клапаны сброса давления одновременно, независимо от того, установлены ли клапаны с различными величинами давления настройки на одном сосуде или же на нескольких сосудах установлено несколько клапанов сброса давления, через которые также предусматривается сброс давления при возникновении аналогичной нештатной ситуации. Следует отметить, что суммарный расход определяет противодавление в системе. Любое повышение противодавления в системе, возникающее в этой нештатной ситуации, необходимо учитывать. В случае применения клапанов прямого действия важно принять во внимание их допускаемые пределы по величине противодавления. В этих пределах не следует рассматривать изменения противодавления, вызванные потоком, возникающим в результате открытия одного клапана перед другим в качестве статического противодавления на другие клапаны.

6.22 Динамическое моделирование

Метод динамического моделирования используют при проектировании системы ограничения и сброса давления для определения величин повышения давления в переходном режиме, приведенных в *6.19*, либо для определения требуемых скоростей сброса давления для отдельных устройств сброса давления. Стандартные методы определения нагрузок сброса давления, как правило, обеспечивают запас, что ведет к завышенным расчетным характеристикам систем ограничения и сброса давления и факельных систем. Динамическое моделирование обеспечивает альтернативный метод более точного определения нагрузки сброса и описывает процессы, протекающие во время сброса давления.

Применение динамического моделирования необходимо при проектировании факельных систем (см. *8.1.4.2*).

7 Выбор систем ограничения и сброса давления

7.1 Общие положения

Проектируемые системы утилизации должны обеспечить отведение флюида, сброшенного при снижении давления, в место, где его возможно безопасно утилизировать. Все компоненты системы утилизации по размеру, номинальному давлению и материалу должны соответствовать расчетным ус-

ловиям эксплуатации. Раздел 7 устанавливает общие принципы и проектно-конструкторский подход к определению и выбору типа системы утилизации.

7.2 Свойства среды, влияющие на конструкцию системы

7.2.1 Физические и химические свойства

Относительная плотность, температура плавления, температура кипения, температура вспышки, концентрационные пределы распространения пламени, температура самовоспламенения веществ приведены в ГОСТ 31610.20-1.

Необходимо учитывать все фазовые переходы: как испарение жидкости, так и конденсацию пара, — происходящие с флюидом при снижении давления или в результате охлаждения. В результате самоохлаждения испарение парообразующих жидкостей может быть неполным, если не предусмотрены технические средства подвода теплоты, необходимой для процесса испарения.

Следует предусмотреть технические решения по предотвращению возможности смешивания химических веществ, способных вступить в реакцию в факельных коллекторах. Необходимо отметить, что поступление реакционно-активных веществ в факельный коллектор вызывает рост давления на факеле, что приводит к нарушению целостности факельных коллекторов. Вещества, которые при смешивании с водой вступают в активную реакцию (такие, как алкилы, натрий, калий и др.), направляют в отдельные коллекторы, не содержащие воды.

Необходимо предусмотреть технические решения по исключению процесса смешивания воды с другими веществами, если существует возможность образования твердых частиц в факельной системе. При возможности образования льда флюиды, содержащие воду, направляют по отдельному коллектору на факельный сепаратор (см. также *7.6.2.4* и *8.2.3*).

7.2.2 Свойства, влияющие на физиологию, и вредные свойства

Для определения надлежащего типа системы утилизации следует учитывать свойства отводимого из систем ограничения и сброса давления вещества, в том числе и вредные, влияющие на физиологию.

7.2.3 Стоимость улавливания

Экономически-инженерная оценка должна определить, оправдывает ли стоимость улавливаемого вещества использование системы улавливания. В случае, если использование системы улавливания оправданно или требуется для обеспечения соблюдения норм экологической безопасности, см. *8.4* для руководства. Для предупреждения потери ценного технологического вещества давление настройки устройства сброса давления должно превышать нормальное рабочее давление на величину, обеспечивающую заданный перепад давления.

7.3 Сброс в атмосферу

7.3.1 Общие положения

Потоки паров, образующиеся в результате сброса давления, допускается безопасно отводить непосредственно в атмосферу при условии соблюдения норм экологической безопасности. Выбор соответствующих проектных параметров должен обеспечить требуемый уровень безопасности процесса при выбросе паров в атмосферу.

Следует учитывать, что утилизация паров путем их выброса в атмосферу имеет преимущества по сравнению с альтернативными методами утилизации из-за простоты, надежности и экономичности. При этом способ утилизации выбросом паров в атмосферу должен обеспечить исключение создания потенциальных опасностей, таких как формирование горючих смесей *на уровне палуб/платформ МПС*, воздействие на персонал токсичных паров или коррозионно-активных химических веществ, воспламенение сбрасываемых потоков в точке выброса, высокие уровни шума и загрязнения воздуха.

7.3.2 Формирование горючих смесей

7.3.2.1 Целью пункта *7.3.2* является определение требований при проектировании свечей рассеивания, предназначенных для выброса потоков с индивидуальных устройств сброса давления непосредственно в атмосферу.

Для определения возможных опасностей горючих смесей, образующихся в результате выброса углеводородов в атмосферу, физическое состояние сбрасываемого вещества имеет первостепенное значение, т. к. процесс при выбросе паров полностью отличается от процесса при выбросе жидкости. Следует учитывать, что между этими двумя пограничными процессами находятся процессы с участием жидкостно-паровых смесей, в которых формируются жидкостная пыль или аэрозоли. При анализе ри-

ков, связанных со сбросом в атмосферу, важно учитывать, в каком физическом состоянии находится сбрасываемое вещество (пар, туман, жидкость).

7.3.2.2 Потоки углеводородов, выбрасываемые в атмосферу и состоящие полностью из паров, по мере смешивания с воздухом за выходным отверстием образуют смеси, находящиеся в диапазоне воспламеняемости. Следует учитывать, что в случае, когда отдельные клапаны сброса давления осуществляют выброс в вертикальном направлении через индивидуальные свечи рассеивания (газоотводы), зона наличия пожароопасной концентрации ограничена определяемой областью над уровнем выброса. При выходе паров из индивидуальных свечей рассеивания клапанов сброса давления с высокой скоростью реактивные силы струи выброса являются доминирующими. В этом случае интенсивность захвата воздуха струей выброса обеспечивает растворение выпускаемых газов до уровня меньше нижнего предела воспламенения еще до того, как выброс выйдет за пределы области с доминирующим влиянием струи, при условии, что число Рейнольдса *Re* отвечает критерию по формуле

$$Re > \left(1{,}54 \cdot 10^4\right)\left(\frac{\rho_j}{\rho_\infty}\right), \qquad (20)$$

где Re — число Рейнольдса у газоотводного отверстия;

ρ_j — плотность газа у газоотводного отверстия;

ρ_∞ — плотность воздуха.

Примечание — Формула (20) может быть неверной, если скорость струи менее 12 м/с или если отношение скорости струи к скорости ветра менее 10.

В случае если выброс производится с низкой скоростью и число Рейнольдса не отвечает критерию формулы (*20*), интенсивность захвата воздуха струей выброса низкая, и доминирующее влияние на выброс оказывает ветер, т. е. условия для рассеивания выбросов в атмосфере определяют степень разбавления выпускаемых газов воздухом и расстояние, в пределах которого может возникнуть пожароопасная концентрация. При этих условиях пожароопасные смеси могут возникнуть *на уровне палуб/платформ МПС* и/или у удаленных источников возгорания. Полная оценка требует рассмотрения следующих показателей:

- скорости и температуры выходящего газа;
- относительной молекулярной массы и количества выходящего газа;
- доминирующих метеорологических условий, особенно характерных неблагоприятных условий;
- наличия близлежащих *МПС;*
- высоты, на которой выброс выходит в атмосферу.

Следует отметить, что быстрое рассеивание вызывает процесс турбулентного смешивания, являющийся результатом рассеивания энергии высокоскоростной струи газа. При обеспечении клапаном сброса давления прохождения потока, близкого или равного его полной пропускной способности, скорости сброса через отдельные свечи рассеивания в атмосферу превышают 150 м/с. В ходе выброса струй в воздух при отсутствии ветра газы со скоростями 150 м/с и больше обладают достаточной энергией в струе, чтобы вызвать турбулентное смешивание с воздухом и оказать воздействие на рассеивание в соответствии с формулой

$$\frac{q_{m,y}}{q_{m,o}} = 0{,}264\frac{y}{d}, \qquad (21)$$

где $q_{m,y}$ — массовый расход смеси воздуха и сбрасываемых паров на расстоянии y от окончания (торца) свечи рассеивания;

$q_{m,o}$ — массовый расход устройства сброса давления, выражаемый в тех же единицах, что и $q_{m,y}$;

y — расстояние вдоль оси свечи рассеивания, на котором рассчитывается $q_{m,y}$;

d — диаметр свечи рассеивания, выражаемый в тех же единицах, что и y.

Формула (*21*) показывает, что расстояние от точки выхода y, измеренное вдоль оси свечи рассеивания, на котором поток сброшенных углеводородов разбавляется до своего нижнего предела воспламеняемости (т. е. массовой доли 3,0 %), составляет приблизительно 120 диаметров от окончания свечи рассеивания. В случае разбавления углеводородных паров воздухом до массовой доли, приблизительно равной 3,0 %, концентрация конечной смеси находится около или ниже нижнего предела воспламеняемости. Это значение варьируется от 3,0 % для метана до 3,6 % для гексана. В случае

принятия за основу объемной доли эти значения эквивалентны 5,3 % и 1,2 % соответственно. Следует учитывать, что для веществ, не обладающих горючими свойствами, близкими с горючими свойствами легких углеводородов, отстояние горючей смеси может отличаться от значения, равного 120 диаметрам. На основании приведенных данных о рассеивании отмечают, что при достижении необходимых скоростей выброса паров опасность накопления горючих смесей на высоте ниже уровня размещения точки выброса следует считать маловероятной.

Необходимо принять во внимание, что большая скорость сброса является характеристикой клапана сброса давления, когда он обеспечивает проход потока, соответствующий его расчетной пропускной способности, но при этом клапан сброса давления не обеспечивает прохождение потока, равного его полной пропускной способности.

Несмотря на то что первоначальный сброс при открытии пружинного клапана сброса давления может производиться с большой скоростью, кинетические силы достаточны для компенсации силы закрытия пружины до тех пор, пока поток не будет уменьшен приблизительно до 25 % от расчетной пропускной способности клапана. Уменьшенный расход может возникнуть по причине того, что условия, влияющие на сброс, изменены. Превышение давления возникает из-за минимального отклонения условий эксплуатации, что вызывает уменьшение расхода относительно номинальной пропускной способности клапана сброса давления. Вероятность возникновения таких процессов возможно минимизировать посредством применения двух или более клапанов сброса давления и ступенчатых величин давлений настройки для обеспечения их поочередной работы. Использование общей свечи рассеивания для нескольких клапанов сброса давления может обеспечить сброс с малой скоростью при условии срабатывания только одного клапана. Необходимо обеспечить безопасное рассеивание паров, сбрасываемых клапанами сброса давления через их индивидуальные свечи рассеивания, даже при работе клапанов с 25 %-ной нагрузкой от их полной пропускной способности, что соответствует уровню закрытия клапанов. Пока минимальное значение, заданное формулой (*20*), больше, в выбросе преобладает струя, и он растворяется, находясь за пределами диапазона воспламеняемости в пределах области распространения струи. Следует учитывать, что для большей части выбросов скорость потока газов превышает 30 м/с даже при расходе от клапанов сброса давления, составляющем 25 % от номинального.

Максимальное подветренное вертикальное расстояние от выхода струи до концентрации нижнего предела воспламеняемости равно коэффициенту расстояния, умноженному на $(d_j)\sqrt{\rho_j / \rho_\infty}$, *м.*

Осевое расстояние до концентраций нижнего и верхнего предела воспламеняемости равно коэффициенту расстояния, умноженному на $\left[(d_j)\sqrt{\rho_j / \rho_\infty}\right]$, *м.*

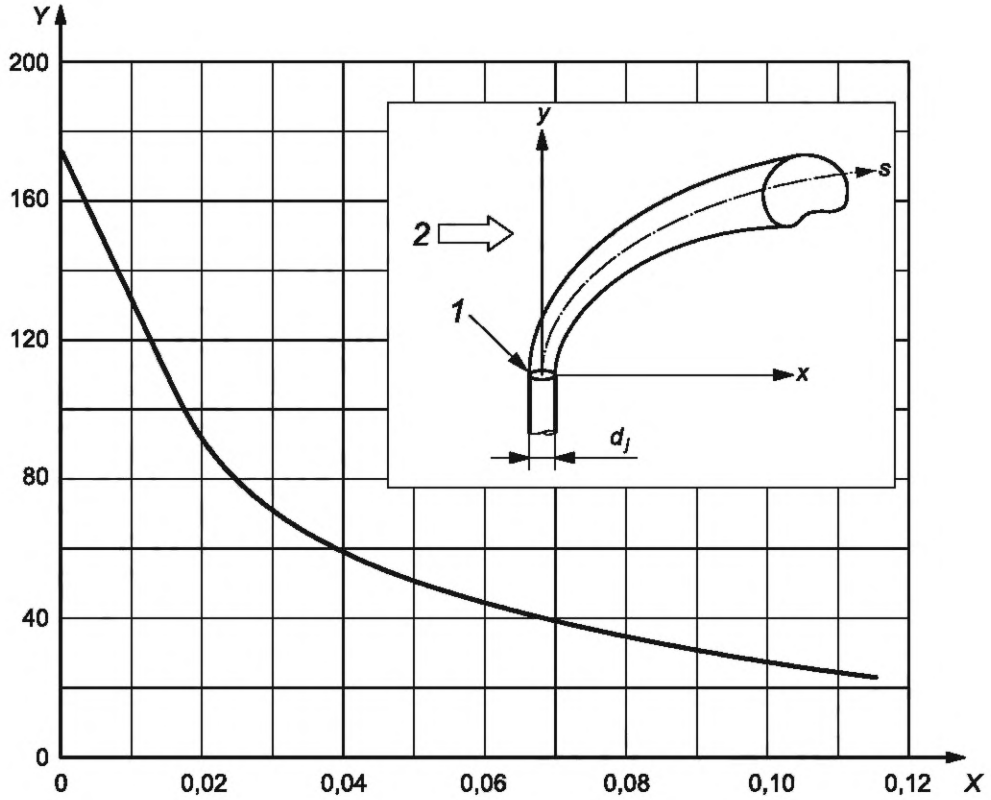
Рисунки *1, 2* и *3* показывают пределы воспламеняемости в вертикальном, горизонтальном направлениях и вдоль основной оси струи выброса и применимы как к однокомпонентным, так и к многокомпонентным углеводородным струям любых молекулярных смесей между метаном и гептаном.

Свечи рассеивания, производящие выброс паров от клапанов сброса давления вертикально вверх в атмосферу, располагают на расстоянии по горизонтали не менее 15 м от любых сооружений или оборудования *МПС*, расположенных выше, чем точка выброса, с целью предотвращения поступления к ним горючих паров.

7.3.2.3 Следует учесть, что туманы являются следствием конденсации, следующей за выбросом паров. Мелкодисперсные аэрозоли, связанные со сбросными потоками, содержащими жидкости, рассматриваются в *7.3.2.4*. Конденсированные туманы являются мелкодисперсными; диаметр большинства капель составляет менее 10 мкм, и только небольшое количество капель превышает 20 мкм. Механически распыленные аэрозоли не содержат большого количества капель менее 100 мкм в диаметре.

Объемы конденсирующихся паров при их выбросе в атмосферу зависят от состава потока, атмосферной температуры и скорости выброса. Как правило, принимают допущение, что если самая низкая атмосферная температура ниже точки росы сбрасываемого углеводорода, то произойдет конденсация паров в большом объеме. Этот подход не учитывает двух процессов, связанных с выбросом паров. В процессе снижения давления паров при прохождении через клапан сброса давления пары нагреваются, и тенденция к немедленной конденсации сводится к минимуму в обогащенной зоне у точки выброса. Процесс разбавления воздухом легких компонентов, присутствующих в выбросах из клапанов сброса давления, стремится понизить точку росы отдельных компонентов до температуры ниже температуры окружающей среды.

Следует отметить, что большее количество выбросов не конденсируется вне зависимости от относительной молекулярной массы, несмотря на то, что углеводороды с высокой молекулярной массой и диаметром капель от 10 до 20 мкм могут конденсироваться.



X — отношение скоростей u_∞/u_j; *Y* — коэффициент, учитывающий расстояние от центра струи по вертикали $y/(d_j)\sqrt{\rho_j/\rho_\infty}$, безразмерная величина; u_∞ — скорость ветра, м/с; u_j — скорость выхода струи, м/с; ρ_j — плотность флюида внутри выхода оголовка, кг/м^3; ρ_∞ — плотность окружающего воздуха, кг/м^3; d_j — внутренний диаметр оголовка (диаметр выхода струи), м; *y* — вертикальное расстояние, м; *x* — горизонтальное расстояние, м; *S* — расстояние вдоль центральной линии струи от наивысшей точки оголовка, м; *1* — оголовок свечи рассеивания; *2* — ветер (поперечный поток)

Рисунок *1* — Максимальное подветренное расстояние по вертикали от выхода струи до нижнего предела воспламеняемости для нефтяных газов

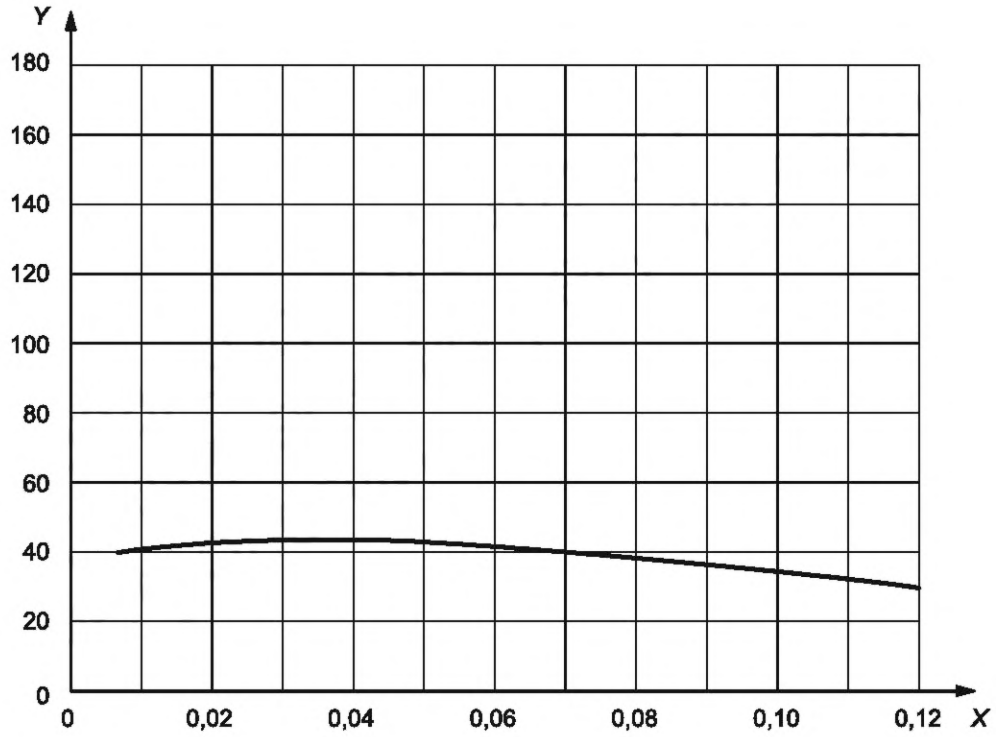
В случаях, при которых пары, сбрасываемые через клапаны сброса давления, конденсируются, важно учитывать влияние процесса конденсации на образование горючей атмосферы. При этом туманы из ЛВЖ распространяют пламя в воздухе при воспламенении, даже если ЛВЖ при температуре окружающей среды не образуют большого объема паров. Необходимо учитывать:

- что туманы из ЛВЖ могут представлять опасность даже при температурах меньше своей точки росы;

- нижние пределы воспламеняемости и скорости горения для легковоспламеняющихся сконденсировавшихся туманов и соответствующих им паров одинаковы;

- энергия воспламенения, требуемая для зажигания тумана в воздухе при температурах и давлениях окружающей среды, в 10 раз больше требуемой для зажигания паров.

В случаях, при которых выбросы паров от клапанов сброса давления конденсируются, процесс коалесценции (слипания) приводит к образованию капель, которые оседают, а не рассеиваются в виде тумана, подобно парам. Следует считать, что парциальное давление углеводородов, при котором расчетная кривая адиабатического смешивания с воздухом пересекается с кривой точки росы, указывает на границу области, в которой возникновение процесса коалесценции маловероятно. Результаты процесса конденсации при парциальном давлении углеводородов, равном 34 кПа или менее, следует рассматривать как мелкодисперсные туманы без коалесценции. В отсутствие коалесценции воздействием гравитации следует пренебречь, т. к. скорость свободного падения углеводородных частиц диаметром 10 мкм составляет около 3 мм/с, следовательно, даже при слабом ветре выброс от расположенной на высоте точки выброса пройдет большое расстояние, прежде чем достигнет *уровня поверхности палуб/платформ МПС*.



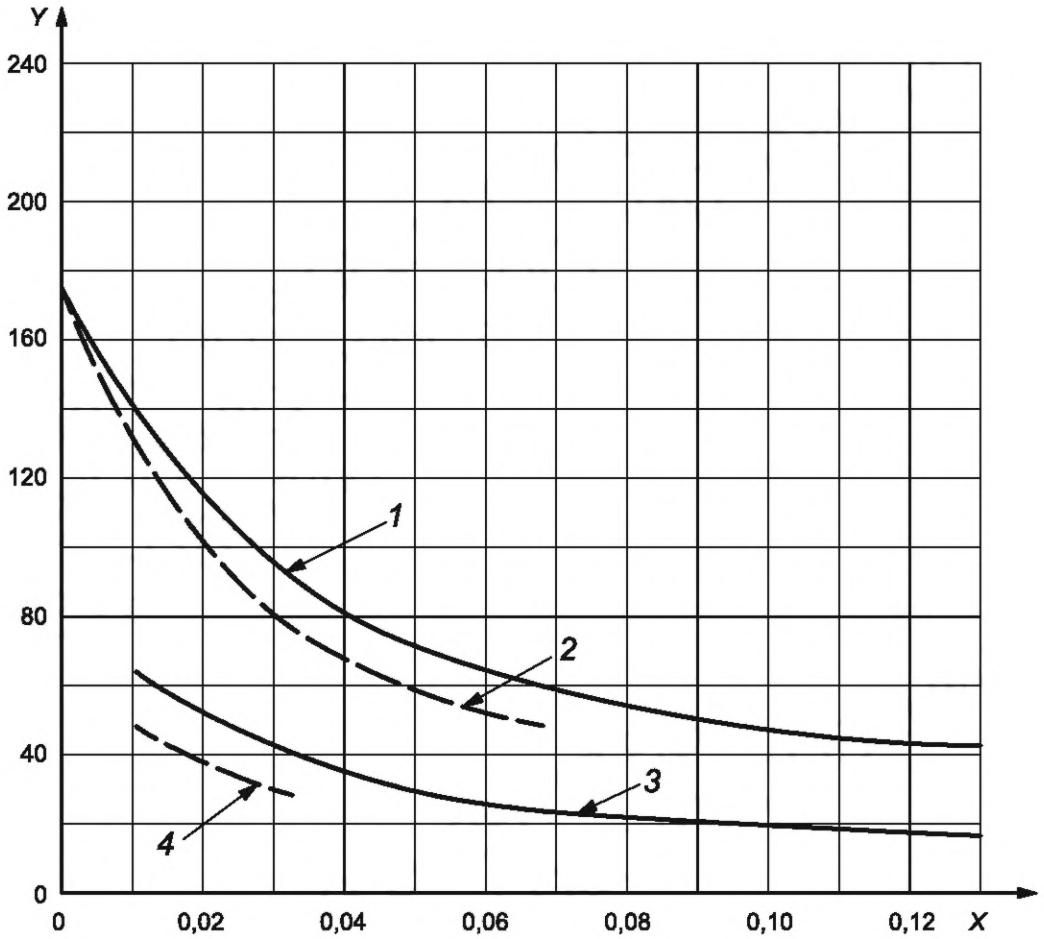
X — отношение скоростей u_∞/u_j; Y — коэффициент, учитывающий расстояние от центра струи по горизонтали $\left[x/(d_j)\sqrt{\rho_j/\rho_\infty}\right]$, безразмерная величина

Примечание — Для определения других переменных см. рисунок 1.

Рисунок 2 — Максимальное подветренное горизонтальное расстояние от выхода струи до нижнего предела воспламеняемости для нефтяных газов

На основании вышеизложенных факторов касательно характеристик рассеивания и горения тумана учитывают, что, пока конденсат остается в мелкодисперсной форме и находится в воздухе, характеристики воспламеняемости и рассеивания смеси необходимо рассматривать так, как будто она полностью находится в паровой фазе. Малый размер капель допускает для определения величины концентрации на различных расстояниях от точки выброса применять методы, приведенные в *7.3.2.2*. Для того чтобы туман стал воспламеняемым, он должен содержать такие же массовые доли углеводородов, как и необходимые для обеспечения воспламеняемости паров, следовательно, пока минимальное число Рейнольдса для выброса превышает значение, требуемое формулой (*20*), граница зоны воспламеняемости для тумана будет находиться в тех же пределах, что и для паров. При этом следует учитывать, что процесс конденсации может стать причиной загрязнения воздуха. При рассмотрении только процессов воспламеняемости углеводородов уровень риска взрыва будет не более, чем при отсутствии процесса конденсации паров.

7.3.2.4 Необходимо учитывать, что в отличие от выбросов паров или тумана, которые быстро рассеиваются при отводе в атмосферу с высокими скоростями, выбросы жидкостей оседают *на уровне палуб/платформ и/или других поверхностей МПС*, а наличие капель жидких углеводородов определяет возможность образования воспламеняемой атмосферы. Важно принимать во внимание высокий уровень риска взрыва или воспламенения в случае выброса большого количества жидких углеводородов в атмосферу, когда температура окружающей среды равна или выше температуры воспламенения жидкости. Теоретически жидкости, которые имеют температуру воспламенения выше максимальной температуры окружающей среды, не испаряются в объеме, достаточном для создания воспламеняемой атмосферы. При этом масштабное распыление капель жидких углеводородов может стать причиной создания аварийной ситуации с соответствующими последствиями. Следует учитывать возможность возникновения пожаров в случае контакта жидкости с трубопроводами и/или оборудованием, имеющими высокую температуру наружных поверхностей. Все потоки сброса жидкостей необходимо утилизировать, используя один из методов, приведенных в *7.6*.



X — отношение скоростей u_∞/u_j; *Y* — коэффициент, учитывающий подветренное расстояние от центра струи по горизонтали $S/(d_j)\sqrt{\rho_j/\rho_\infty}$, безразмерная величина; *1* — нижний предел воспламеняемости, холодная струя; *2* — нижний предел воспламеняемости, горячая струя; *3* — верхний предел воспламеняемости, холодная струя; *4* — верхний предел воспламеняемости, горячая струя

Примечание — Для определения других переменных см. рисунок *1*.

Рисунок *3* — Осевое расстояние до концентраций нижнего и верхнего предела воспламеняемости для нефтяных газов

Для минимизации возможности выброса ЛВЖ все клапаны сброса давления, производящие сброс паров в атмосферу, должны быть расположены таким образом, чтобы вход клапана соединялся с паровой областью сосудов или трубопроводов. Следует предусмотреть дополнительные технические решения по обеспечению безопасности, например, при сбоях (некритических отказах) в работе оборудования уровни жидкостей могут повышаться и переполнять емкости, частично или полностью заполненные парами в режиме нормальной эксплуатации. Вероятность такого нарушения технологического процесса возможно уменьшить посредством размещения клапанов сброса давления в точке технологической системы, где вероятность образования жидкости на входе клапана сброса давления мала (и ей следует пренебречь). В качестве других технических решений защиты по высокому уровню жидкости, достигающему входа клапана сброса давления, допускается использовать сигнализацию по высокому уровню или другие КИПиА.

Необходимо проводить анализ случаев превышения давления в любой системе, содержащей ЛВЖ, в состав которой включены клапаны сброса давления, производящие сброс газов в атмосферу. Следует определить все возможности, позволяющие жидкости получить доступ в клапан сброса давления, и предусмотреть технические решения по его предотвращению.

***7.3.3* Воздействие токсичных паров или коррозионно-активных химикатов**

7.3.3.1 С учетом того, что токсичные пары, как правило, могут быть вредными для вдыхания при высоких концентрациях, большая их часть не представляет опасности для персонала при условии их сброса через клапаны сброса давления в удаленном месте.

При наличии в сбрасываемом потоке токсичных веществ важно учитывать возможность возникновения их максимальной концентрации в местах, где возможно присутствие персонала. Конструкции *МПС*, установленные на высоте и попадающие в зону распространения потока, могут быть подвержены воздействию высоких концентраций токсичных веществ.

Случаи, при которых токсичные пары могут быть сброшены в атмосферу, требуют проведения соответствующего анализа. Токсичность паров варьируется для различных веществ, что в первую очередь требует определения максимальной допустимой концентрации. Исходя из продолжительности вероятного воздействия максимально допустимая концентрация токсичных веществ может варьироваться *для различных районов/зон МПС*, и большие концентрации могут создавать меньший риск в местах, с которых может быть произведена быстрая и безопасная эвакуация, в отличие от тех мест, где персонал обязан оставаться в силу выполнения своих служебных обязанностей или где отсутствует возможность быстрой эвакуации. Следующей по важности считается вероятная длительность выброса. Аварийные ситуации, вызывающие превышение давления в оборудовании, необходимо взять под контроль в течение 5—10 мин. Следует учитывать, что длительность аварийной ситуации варьируется в зависимости от конкретного технологического процесса и используемого оборудования. При этом период от 10 до 30 мин должен обеспечить взятие под контроль любой аварийной ситуации за исключением случаев природных катаклизмов.

Необходимо определить реальное воздействие выброса на отдельно взятого человека. В случае, когда токсичные выбросы имеют большое число Рейнольдса, они отвечают критериям рассеивания/растворения для выбросов, характеризующихся импульсом струи выброса, как приведено в *7.3.2.2*. Сбрасываемые вещества в выбросе будут растворены до уровня концентраций в интервале от 30:1 до 50:1, прежде чем влияние импульса струи прекратится. При дальнейшем рассеивании выброса в условиях отсутствия воздействия струи следует учитывать, что сбрасываемые вещества уже были рассеяны до как минимум указанного уровня концентраций, основываясь на котором проводят оценку уровня концентраций сбрасываемых веществ *на уровне палуб/платформ и других поверхностей МПС*.

7.3.3.2 Следует учитывать, что определенные химические вещества, такие как фенолы, являющиеся жидкими при условиях окружающей среды, могут быть опасны для персонала в случае их сброса через клапаны сброса давления в атмосферу. В случае если технологические системы содержат такие химические вещества, сброс в атмосферу не является безопасным, если клапаны сброса давления не могут быть установлены в местах, где воздействие выброса таких веществ на персонал исключено. Положения, приведенные в *7.3.2.4*, касающиеся предотвращения выбросов жидкостей, применимы и к коррозионно-активным веществам.

***7.3.4* Воспламенение сбрасываемого потока в точке выброса**

7.3.4.1 Возможность случайного воспламенения исходящего потока горючих паров из клапана сброса давления или газоотвода рассматривают в соответствии с положениями, приведенными в *7.3.4.2—7.3.4.5*.

7.3.4.2 Необходимо учитывать возможность наличия внешних источников воспламенения, таких как открытое пламя, горячие поверхности и невзрывозащищенное электрооборудование, установленное в прилегающей зоне. В случае выбросов из клапанов сброса давления, характеризующихся импульсом струи, точки выброса посредством моделирования процесса рассеивания должны быть расположены таким образом, чтобы границы области воспламенения не достигали указанных источников воспламенения. При выбросах, имеющих малую скорость и направляемых ветром, границы области воспламенения могут протянуться на большие расстояния от точки выброса. В таких случаях требуется предусмотреть возможность воспламенения от временных источников (например, сварочные работы).

7.3.4.3 Следует учитывать возможность воспламенения сбросов из открытых атмосферных газоотводов посредством молний. За исключением аварийных выбросов, связанных с перебоями питания, которые могут возникнуть во время гроз, вероятность разряда молнии, происходящего одновременно с открытием клапана сброса давления, считают пренебрежимо малой. Периодические выбросы в течение длительных периодов и постоянные выбросы (например, при утечке через клапаны сброса давления) повышают вероятность воспламенения молнией.

7.3.4.4 Необходимо отметить, что при выбросах с большой скоростью, производимых из газовых скважин в атмосферу, образуются статические разряды, достаточные, чтобы вызвать воспламенение.

Следует учитывать, что зона конденсации в струе устьевого газа имеет тенденцию к образованию высокого уровня[1)] заряда, хотя воспламенения и не происходит. При этом следует учитывать, что другая теория, относящаяся к воспламенению из-за статического электричества, предполагает, что газовый поток через систему трубопроводов в процессе отвода газа наводит статический заряд на любые твердые или жидкие частицы в потоке внутри трубопроводной системы, контактирующие со стенками труб. При этом по достижении потоком газа торца выходного газоотводного отверстия существует вероятность возникновения статических разрядов либо посредством полного электрического пробоя (искровой разряд), либо посредством частичного электрического пробоя (коронный разряд). Вероятность воспламенения от статического электричества очень мала из-за малой величины роста заряда в струе и надлежащей изоляции свечи рассеивания, имеющей заземление. Данное положение относится к выбросам паров углеводородов.

7.3.4.5 Следует считать, что потоки с высоким содержанием[2)] водорода восприимчивы к воспламенению статическим электричеством из-за электростатических разрядов на торце выходного отверстия газоотвода. Следует учитывать, что возникновение электростатических разрядов на свече рассеивания возможно предотвратить посредством установки тороидального кольца на выходном отверстии газоотвода, которое уменьшает скорость выходящего потока, устраняя тем самым причину турбулентности на выходном отверстии газоотвода.

Воспламенение водорода на выходе из газоотводов в атмосферу может быть вызвано химической реакцией между водородом и оксидами железа, т. к. при контакте потока, содержащего частицы оксида железа FeO или железа Fe, которые входят в соприкосновение с кислородом в атмосфере, возникает экзотермическая реакция, которая может обеспечить достаточно энергии для воспламенения водородно-воздушной смеси. Необходимая для воспламенения водородно-воздушной смеси энергия составляет 0,017 миллиджоуля (мДж) (примерно 5 % от энергии, необходимой для воспламенения метано-воздушной смеси). При этом, если соотношение площади поверхности к массе достаточно, может быть достигнута температура, достаточная для воспламенения. По причине широкого диапазона взрывоопасности водорода (объемная доля от 4 % до 75 %) воспламеняющиеся атмосферы формируются близко к точке выброса, что в совокупности с низкой энергией воспламенения водорода повышает вероятность воспламенения.

Следует учитывать, что сбросные потоки с температурой выше температуры самовоспламенения на стороне выхода клапана сброса давления могут самопроизвольно воспламениться при контакте с воздухом, если до формирования воспламеняемой паровоздушной смеси не происходит достаточного охлаждения. По этой причине высокотемпературные потоки следует отводить в закрытые системы или охладитель. При соответствующем расположении свечи рассеивания воспламенение следует считать допустимым. При этих условиях следует оценивать влияние теплового излучения (см. *7.3.4.7*).

7.3.4.6 В случае если определенное количество газа накапливается, а затем воспламеняется, возможен выброс энергии в виде взрыва, что впоследствии вызовет нарушения процесса сброса в атмосферу. При использовании свободных выбросов, характеризующихся импульсом струи, как и в случае с нормальным устройством ограничения и сброса давления, существует малая вероятность формирования облаков паров больших объемов[3)], что необходимо проверить посредством моделирования процесса рассеивания и его последствий. При этом следует учитывать, что потенциальная опасность этого процесса связана с общим количеством смеси углеводородов с воздухом, аккумулируемой в границах зоны воспламеняемости за точкой выброса. Для импульсных выбросов возможно определить их общий объем. В типовом случае зона воспламеняемости составляет от 40 до 120 диаметров за точкой выброса, но может варьироваться в зависимости от плотности и соотношений скорости струи к скорости ветра. Смесь в этой зоне может содержать в среднем около 6 % углеводородов, что соответствует 3,0 с истечения выброса. Объем смеси в пределах диапазона воспламеняемости в любой момент времени всегда будет относительно малым по сравнению с общим объемом выпускаемого газа.

В случае если скорость выброса не достигает величины, необходимой для возникновения импульсной струи, и рассеивания не происходит, могут образоваться облака паров. Аналогичным образом накопление в ограниченном пространстве даже относительно малого количества легко воспламеняющегося газа ведет к возникновению опасных ситуаций. В этих случаях следует предусмотреть мероприятия, позволяющие избежать ограничения распространения сброшенных газов в пространстве, так как

[1)] *Значение уровня определяют при проектировании конкретного МПС.*

[2)] *Значение определяют при проектировании конкретного МПС.*

[3)] *Значение объема определяют при проектировании конкретного МПС.*

такое ограничение определяет увеличение давления при случайном воспламенении. Оценка данного пространственного ограничения должна учитывать близость конструкций и/или высокую плотность размещения оборудования, создающих такое пространственное ограничение.

7.3.4.7 Следует отметить, что при отводе большого количества воспламеняемых веществ потенциальное выделение теплоты является достаточным условием для обязательного рассмотрения влияния теплового излучения на персонал и оборудование несмотря на то, что воспламенение при выбросе от устройств ограничения и сброса давления маловероятно. После определения допустимых уровней теплового излучения следует рассчитать требуемое расстояние от мест воздействия до точки выброса с учетом *7.4.2.3*.

***7.3.5* Избыточные уровни шума**

Уровни шума, производимого газами в точке выброса в атмосферу, должны быть приближенно определены в соответствии с *8.3.14.6*. Поскольку аварийный выброс, как правило, производится редко и в течение короткого промежутка времени, шум допускается не считать предметом нормативного ограничения.

Допустимую интенсивность и длительность шума следует оценивать в зонах нахождения обслуживающего персонала. Если два или более клапана сброса давления осуществляют выброс в атмосферу одновременно, необходимо определить их совместное влияние. Для определения уровня шума, связанного с выбросом в атмосферу, руководствуются *8.3.14.6*.

***7.3.6* Загрязнение воздуха**

Нормативные требования, касающиеся загрязнения воздуха, обеспечивают исключения для выбросов, имеющих место только при аварийных условиях. Концентрации потоков выбросов следует контролировать несмотря на то, что допустимые объемы периодических или аварийных выбросов могут быть выше, чем для длительных или постоянных выбросов.

7.4 Сброс давления путем сжигания

***7.4.1* Общие положения**

Целью применения утилизации сжиганием на факеле является преобразование горючих, токсичных или коррозионно-активных газов и паров в процессе горения в менее опасные соединения.

Выбор типа факела и специальных особенностей конструкции факельного ствола зависит от нескольких факторов:

- наличия свободного пространства;
- характеристик факельного газа, а именно состава, количества, величины давления;
- экономических ресурсов, включая как начальные инвестиции, так и эксплуатационные расходы;
- воздействия на *жилые зоны МПС* (соответствие санитарным нормам и правилам, в том числе учет влияния оптического и шумового факторов).

Конструкция механической части факела, вопросы эксплуатации и технического обслуживания должны соответствовать требованиям [3] и учитывать положения [4] и [5].

***7.4.2* Характеристики горения**

7.4.2.1 Следует считать, что пламя — это газообразная среда, в которой происходит взаимодействие горючего и окислителя, выделяется тепло и развиваются высокие температуры.

Выделяют следующие основные типы пламени факела:

- диффузионное пламя, которое характерно для традиционных факелов и возникает при воспламенении струи топлива, выпускаемой в воздух;
- газовоздушное пламя, возникающее при предварительном смешивании топлива и воздуха перед воспламенением.

Факел считают устойчивым, если при установившемся режиме подачи смеси он стабилизируется вблизи выхода из факельного оголовка и не меняет своего положения в пространстве, что является результатом взаимодействия скорости пламени и противодействующей ей скорости истечения газовоздушной смеси, выходящей из факельного оголовка. При скорости истечения газовоздушной смеси больше скорости пламени явление «проскок пламени» не произойдет. При большой скорости выхода из факельного оголовка газовоздушная смесь не успевает прогреться до необходимой температуры, и произойдет срыв пламени факела, сопровождающийся прекращением горения горелки.

Допустимая скорость выхода факельного газа из факельного оголовка зависит от состава сбросного газа, конструкции факельного оголовка и давления сбрасываемого газа, и данные параметры взаимосвязаны. Факельные оголовки, как правило, должны включать устройство стабилизации пламени или другие средства, обеспечивающие стабильное горение пламени.

7.4.2.2 При работе факельной установки необходимо обеспечить стабильное горение в широком интервале расходов газов и паров, бездымное сжигание постоянных, периодических и аварийных сбросов, а также безопасную плотность теплового потока, предотвращение попадания воздуха через верхний срез факельного ствола и проскока пламени, *в соответствии с требованиями [3].*

При сбросе углеводородных газов и паров (за исключением некоптящих газов) предусматривают решения, обеспечивающие их бездымное сжигание. Увеличение полноты сгорания достигается:

- подачей воздуха или водяного пара (количество пара определяется расчетом исходя из условия обеспечения бездымного сжигания постоянных сбросов);
- использованием факельных оголовков кинетического сжигания с устройствами забора воздуха;
- регулированием соотношения скорости сброса к скорости звука, при котором обеспечивается интенсивное смешение с воздухом и необходимая полнота сгорания (рекомендуемое соотношение более 0,2);
- другими решениями, обеспечивающими бездымное сжигание сбросов.

Технические решения, обеспечивающие бездымное сжигание сбрасываемых газов и паров, обосновывают в проектной документации.

Бездымность обеспечивается оптимальным соотношением газ/воздух, достигаемым выполнением требований ГОСТ Р 53681:

- высоким давлением газа;
- большими поверхностями газовых потоков.

Бездымность сжигания обеспечивается при постоянных и периодических сбросах, составляющих до приблизительно 10 % максимального сброса. При использовании принудительной подачи воздуха (или пара) эта величина может быть увеличена до 20 %. Большие величины сбросов следует считать аварийными, не гарантирующими бездымного сжигания.

7.4.2.3 Факельная установка должна обеспечивать безопасную плотность теплового потока в защитной зоне и на поверхности расположенного вокруг оборудования. *Безопасные зоны и безопасные уровни теплового излучения следует определять в соответствии с требованиями [3]—[5].*

При оценке воздействия теплового излучения основным критерием поражения считают интенсивность теплового излучения. При анализе воздействия теплового излучения важно различать случаи постоянного и периодического или аварийного сброса.

Следует обеспечить, чтобы конструкция факельной системы и схема расположения оборудования минимизировали необходимость присутствия персонала и количество оборудования, устанавливаемого в местах высокой интенсивности теплового излучения.

Критерии воздействия интенсивности теплового излучения на персонал указаны в таблице 8.

Таблица 8 — Степень поражения персонала в зависимости от интенсивности излучения

Степень поражения	*Интенсивность излучения, кВт/м^2*
Без негативных последствий в течение длительного времени	*1,4*
Безопасно для человека в брезентовой одежде	*4,2*
Непереносимая боль через 20—30 с *Ожог 1 степени через 15—20 с* *Ожог 2 степени через 30—40 с*	*7,0*
Непереносимая боль через 3—5 с *Ожог 1 степени через 6—8 с* *Ожог 2 степени через 12—16 с*	*10,5*

Время воздействия до достижения болевого порога приведено в таблице *9*.

Таблица *9* — Время воздействия, необходимое для достижения болевого порога

Интенсивность излучения, кВт/м^2	Время до достижения болевого порога, с
1,74	60
2,33	40

Окончание таблицы 9

Интенсивность излучения, кВт/м^2	Время до достижения болевого порога, с
2,90	30
4,73	16
6,94	9
9,46	6
11,67	4
19,87	2

При определении высоты факельной установки необходимо учитывать солнечное излучение (поток солнечной прямой радиации, определяемой в 11—12 ч) как при постоянных сбросах, так и при периодических или аварийных сбросах.

Прямая солнечная радиация, учитываемая при определении предельно допустимой плотности теплового потока от пламени, принимается по таблице 10 в зависимости от географической широты [6].

Таблица 10 — Поверхностная плотность потока солнечной прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, Вт/м^2, в июле для 11—12 ч

Параметр	*Значение*								
Географическая широта, град.	*36*	*40*	*44*	*48*	*52*	*56*	*60*	*64*	*68*
Плотность потока прямой солнечной радиации для 11—12 ч, Вт/м^2	*849*	*788*	*761*	*733*	*719*	*691*	*663*	*628*	*607*

В конструкции грузовых кранов или других высотных конструкций МПС, подверженных воздействию теплового излучения факела, следует учитывать влияние излучения на возможность безопасной эвакуации персонала.

Необходимо также рассмотреть эффект теплового излучения на персонал, который может быть подвержен его воздействию в границах МПС или за ее пределами на судах обеспечения.

При выполнении оценки теплового излучения необходимо рассмотреть влияние факелов, одновременно горящих рядом друг с другом.

Оборудование, как правило, может безопасно выдерживать большие плотности теплового потока, чем установленные для персонала. В случаях применения материалов и сред, чувствительных к перегреву, как, например, материалы с низкой точкой плавления (например, алюминий), теплочувствительные потоки, пространства с горючими парами, электронное или электрическое оборудование, необходимо оценить последствия воздействия на них теплового излучения.

Критерии повреждения тепловым излучением различных категорий оборудования представлены в таблице 11.

Таблица 11 — Критерии повреждения тепловым излучением различных категорий оборудования

Категория оборудования	*Пороговое время воздействия ≥ 10 мин*
Технологические цистерны	*15 кВт/м^2*
Сосуды под давлением	*50 кВт/м^2*

Расчет плотности теплового потока от пламени, минимального расстояния и высоты факельного ствола необходимо выполнять согласно [2]. Альтернативным подходом определения теплового излучения пламени на интересующую точку является рассмотрение пламени как имеющего один центр излучения и использование эмпирического уравнения. Формулу (22) используют как для факелов с дозвуковыми, так и с близкими к скоростям звука скоростями сжигания при условии использования корректирующего коэффициента *F*.

$$D = \sqrt{\frac{\tau \cdot F \cdot Q}{4\pi K}}, \qquad (22)$$

где D — минимальное расстояние от центра пламени до рассматриваемого объекта, м;

τ — коэффициент передачи через атмосферу излученного теплового потока (см. расчет в *D.3.6.2*);

F — коэффициент излучения пламени;

Q — тепловыделение (низшая теплотворная способность), кВт;

K — плотность теплового потока на расстоянии D, кВт/м^2.

Данные по коэффициенту F при сгорании газообразного топлива указаны в таблице *12*. Эти данные применимы только к излучению от пламени факелов с дозвуковыми скоростями сжигания. Если в пламени присутствуют капли углеводородной жидкости с размерами, большими 150 мкм, то значения в таблице *12* следует увеличить. Если пламя не является полностью бездымным, действующий общий коэффициент F может принимать значения меньше указанных в таблице *12*. Скорость выхода и конструкция факельного оголовка могут также оказывать влияние на коэффициент F.

Таблица *12* — Излучение от диффузного пламени горения газообразной среды

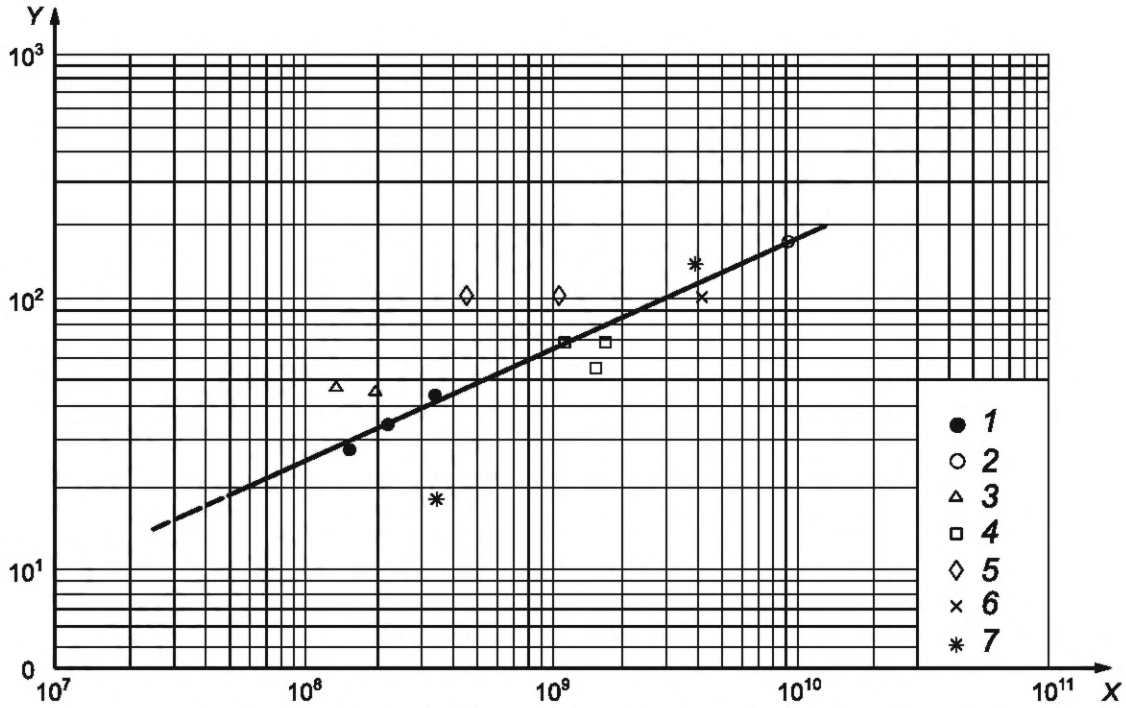
Газ	Диаметр горелки, см	Доля излученного тепла	Газ	Диаметр горелки, см	Доля излученного тепла
Водород	0,51	0,095	Метан	0,51	0,103
	0,91	0,091		0,91	0,116
	1,90	0,097		1,90	0,160
	4,10	0,111		4,10	0,161
	8,40	0,156		8,40	0,147
	20,30	0,154	Природный газ (95 % CH_4)	20,30	0,192
	40,60	0,169		40,60	0,232
Бутан	0,51	0,215			
	0,91	0,253			
	1,90	0,286			
	4,10	0,285			
	8,40	0,291			
	20,30	0,280			
	40,60	0,299			

Коэффициент F определяют как корреляционный параметр, определяющий соотношение между определенными методиками выполнения расчета и эмпирическими данными. Поэтому коэффициент F' из одного метода не следует применять к длине пламени, рассчитанной по другому методу.

В приложении *D* представлены два метода рассмотрения уровней излучения. В пункте *D.2* представлен метод, использующий рисунок *4* для определения расчетной длины пламени. Ветер наклоняет пламя в сторону по направлению ветра. Влияние ветра определяют по рисунку *5*, на котором указана зависимость горизонтального и вертикального смещения пламени от скорости ветра и скорости выброса газа из факельной установки. Центр излучения пламени расположен в центре прямой линии, проведенной между факельным оголовком и концом пламени.

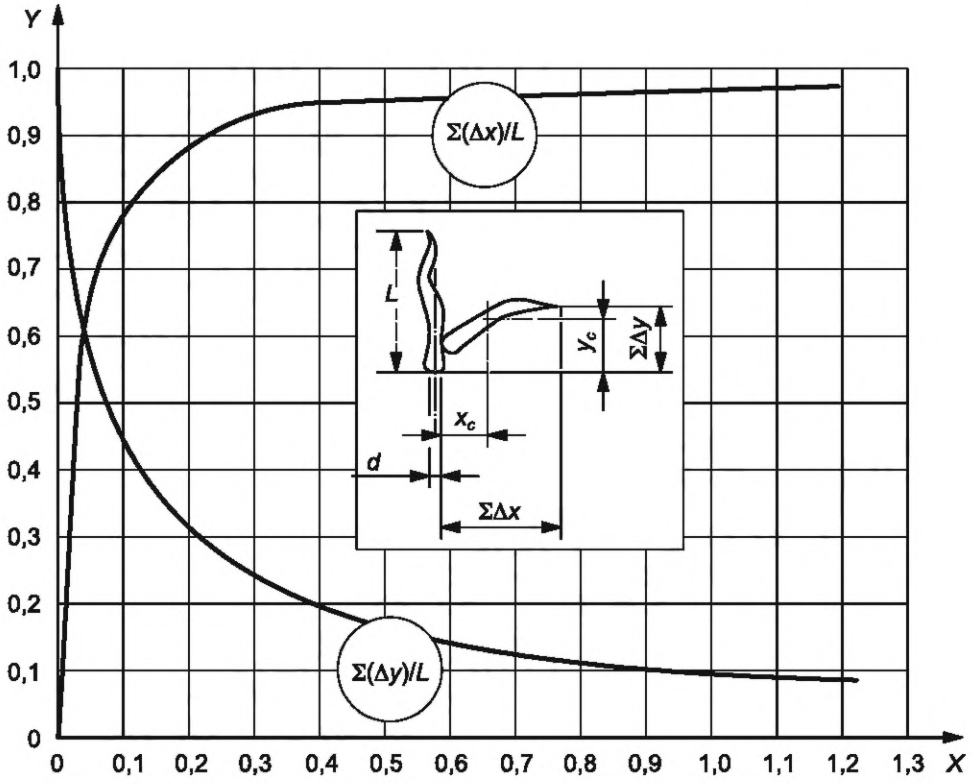
Рисунок *4* следует использовать только для факелов с дозвуковыми скоростями сжигания газа; для факелов со скоростями сжигания, близкими к скорости звука, необходимо согласование изготовителя факельных оголовков.

Расположение центра пламени очень важно при исследовании уровней излучения. Длина пламени варьируется вместе со скоростью и тепловыделением при сбросе. График на рисунке *4* охватывает относительно высокие скорости сброса различных смесей водорода и углеводородов.



X — количество тепла, выделяемое пламенем, Вт; *Y* — длина пламени (включая любой отрыв пламени), м; *1* — топливный газ (свеча Ø 508 мм); *2* — алжирская газовая скважина; *3* — установка каталитического реформинга — рециркулирующий газ (свеча Ø 610 мм); *4* — установка каталитического реформинга — газ, выходящий из реактора (свеча Ø 610 мм); *5* — установка дегидрогенизирования (свеча Ø 305 мм); *6* — водород (свеча Ø 787 мм); *7* — водород (свеча Ø 762 мм)

Рисунок *4* — Зависимость длины пламени от тепловыделения. Промышленные размеры и выбросы



X — отношение $\Sigma(u_\infty/u_j)$; *Y* — отношение $\Sigma\Delta y/L$ или $\Sigma\Delta x/L$; u_∞ — боковая скорость ветра; u_j — скорость выхода струи

Примечание — Вставка показывает геометрию пламени в спокойном воздухе и при боковом ветре.

Рисунок *5* — Зависимость отклонения пламени от скорости ветра и скорости струи газа

В пункте *D.3* представлен другой подход расчета вероятного влияния излучения, использующий метод Бржустовского (Brzustowski) и Соммера (Sommer). Принципиальным отличием между этими методами является расположение центра пламени. Кривые и графики, необходимые для упрощения расчетов, включены в приложение *D*.

***7.4.3* Методы сжигания**

7.4.3.1 Утилизацию горючих паров, ГГ и ЛВЖ сжиганием осуществляют в факелах.

Факел должен обеспечить бездымное горение при сжигании максимального потока сбрасываемого газа применением методов и технологий, приведенных в *7.4.2.2* и *7.4.3.2*.

7.4.3.2 Бездымная работа является главным требованием при проектировании факельных оголовков для факельной системы. Конструкция факельной установки должна обеспечить бездымную работу при определенном составе газа и/или при наличии определенных средств для ее обеспечения. Следует учитывать, что для обеспечения равномерного распределения воздуха для горения по всему пламени с целью предотвращения образования дыма требуется энергия для создания турбулентности и смешивания воздуха, поступающего в зону горения, с факельным газом при его воспламенении. Эта энергия может присутствовать в газах в форме давления или может быть введена в систему посредством другой среды (например, введение водяного пара под высоким давлением, сжатого воздуха или воздуха из нагнетателя низкого давления в газы по мере их выхода из факельного оголовка). Для создания условий, необходимых для бездымного сжигания конструкции факельных установок варьируются по сложности от простой открытой трубы с источником зажигания до интегрированных ступенчатых факельных систем со сложными системами управления.

Факельный оголовок должен обеспечить безопасное сжигание сбросного газа при максимально возможном расходе и соответствовать требованиям настоящего стандарта и ГОСТ Р 53681—2009 (подраздел 5.1). Простейшей конструкцией факельного оголовка является конструкция, называемая оголовком общего назначения или трубно-факельным оголовком, который, как правило, состоит из участка трубы, оборудованного устройством стабилизации пламени для обеспечения стабильности пламени при более высоких скоростях выхода (верхнюю часть, как правило, выполняют из нержавеющей стали для устойчивости к высоким температурам пламени), и пилотной (дежурной) горелки для зажигания газа. Эта конструкция не имеет специальных средств для предотвращения образования дыма, и, следовательно, ее не следует использовать при условии необходимости бездымной эксплуатации за исключением случаев, когда отводимые на факел газы, такие как метан или водород, не склонны к образованию дыма. Факельные оголовки этого типа должны включать устройства стабилизации пламени (для повышения устойчивости пламени при высоких скоростях потока) и одну или более пилотную (дежурную) горелку (в зависимости от диаметра оголовка).

Для защиты пламени от ветрового воздействия следует устанавливать устройства ветровой защиты в соответствии с ГОСТ Р 53681—2009 (подраздел 5.4). Для предупреждения повреждения факельного оголовка от касающегося пламени следует устанавливать стабилизатор факельного оголовка в соответствии с ГОСТ Р 53681—2009 (подраздел 5.5).

На факельных оголовках большого диаметра, как правило, следует дополнительно устанавливать внутреннюю огнеупорную облицовку с целью сведения к минимуму возможного теплового разрушения, вызванного внутренним горением при низких скоростях потока (обратное горение).

Факельные оголовки, использующие водяной пар для обеспечения стабилизации пламени и бездымной работы оголовка, обеспечивающие управление процессом формирования дыма при сбросе большого количества углеводородных газов, должны соответствовать ГОСТ Р 53681—2009 (пункт 5.1.2). Водяной пар под давлением должен подаваться в зону пламени для создания турбулентности и/или для наддува воздуха в зону пламени.

Данный процесс улучшает распределение воздуха, что позволяет воздуху быстро вступать в реакцию с факельными газами для исключения условий обогащения топливом, которые приводят к образованию дыма. Другим фактором, способствующим бездымной работе, следует принимать взаимодействие между водой и газом, при котором монооксид углерода и водяной пар вступают в реакцию с образованием диоксида углерода и водорода, который легко сгорает.

Необходимое количество пара зависит от состава факельного газа, расхода и давления пара, а также конструкции факельного оголовка, приведенных в таблице *13*. Подача водяного пара должна обеспечиваться от парового коллектора с давлением от 700 до 1000 кПа, допускается использовать водяной пар с давлением 200 кПа.

Таблица *13* — Предполагаемые расходы при подаче водяного пара

Сжигаемый на факеле газ	Массовое соотношение пар/углеводородный газ*
Парафины	
Этан	0,10—0,15
Пропан	0,25—0,30
Бутан	0,30—0,35
Пентан плюс	0,40—0,45
Олефины	
Этилен	0,40—0,50
Пропилен	0,50—0,60
Бутен	0,60—0,70
Диолефины	
Пропадиен	0,70—0,80
Бутадиен	0,90—1,00
Пентадиен	1,10—1,20
Ацетилены	
Ацетилен	0,50—0,60
Ароматики	
Бензол	0,80—0,90
Толуол	0,85—0,95
Ксилол	0,90—1,00
* Ориентировочное количество водяного пара, которое рекомендуется подавать в газы, сжигаемые на факеле для обеспечения бездымного горения.	

При этом следует учитывать, что следствием использования пара с более низким давлением является снижение его эффективности в условиях бездымной работы факельного оголовка при малых скоростях факельного газа.

Необходимо предусмотреть мероприятия по исключению возможности замерзания конденсата в факельной системе.

Факельные оголовки с внутренней подачей пара/воздуха, использующие паровоздушную смесь для обеспечения более полного смешения сбросного газа с воздухом, должны соответствовать ГОСТ Р 53681—2009 (подраздел 5.2).

Воздух высокого давления следует использовать для предотвращения образования дыма, *особенно в арктических условиях или низкотемпературных климатических районах, где пар может замерзнуть и закупорить факельный оголовок/факельный ствол.* Для сжатого воздуха следует применять методы, подобные применяемым для пара. Подачу воздуха необходимо обеспечить с давлением 689 кПа, а требуемая его масса ориентировочно на 200 % больше требуемой для пара, т. к. сжатый воздух не вызывает реакции конверсии между водой и факельным газом, происходящей в случае с паром. *Факельные оголовки с подачей вспомогательного (дополнительного) воздуха необходимо применять для обеспечения бездымного горения при отсутствии источника водяного пара или в случае недопустимости вступления в реакцию отводимого/факельного газа и воды согласно ГОСТ Р 53681—2009 (подраздел 5.3).*

Воду под высоким давлением следует использовать для регулирования процесса дымообразования, особенно при необходимости утилизации наличия больших объемов отводимой воды или соляного раствора. При этом для сжигания на факеле 0,45 кг факельного газа требуется 0,45 кг воды с давлением

от 350 до 700 кПа. *Следует учитывать, что в холодном климате требуется защита от замерзания,* а из-за сложности регулирования потока воды при низких скоростях сжигания на факеле, как правило, требуется ступенчатая система нагнетания и распыления воды.

Система подачи воздуха низкого давления должна обеспечить создание турбулентности в зоне пламени посредством нагнетания воздуха низкого давления в факельный оголовок по мере воспламенения газа, обеспечивая, тем самым, равномерное распределение воздуха по всему пламени. Воздух с давлением от 0,5 до 5,0 кПа необходимо подавать соосно с факельным газом на факельный оголовок, где они смешиваются. Дополнительное количество воздуха, подаваемого воздухонагнетателем для обеспечения бездымной эксплуатации, как правило, составляет от 10 % до 30 % от стехиометрического количества воздуха для насыщенных (предельных) углеводородов и от 30 % до 40 % от стехиометрического количества воздуха для ненасыщенных (непредельных) углеводородов.

Следует учитывать, что система высокого давления не требует вспомогательных сред для обеспечения бездымного сжигания на факеле, т. к. эта система использует энергию давления, имеющуюся в самом факельном газе (как правило, это минимальное давление от 35 до 140 кПа у факельного оголовка), для устранения перенасыщения топливом и образующегося по этой причине дыма по всему пламени. При отводе факельного газа под высоким давлением в атмосферу в зоне пламени должна быть создана турбулентность, обеспечивающая равномерное распределение воздуха по всему пламени. Используемые отдельные факельные горелки имеют относительно малую пропускную способность, а конструкции более крупных систем могут потребовать объединения определенного количества горелок в один манифольд. Поддержание требуемого давления факельной горелки при малых потоках факельного газа является очень важным и, как правило, требует применения ступенчатой системы для пропорционального регулирования посредством количества работающих факельных горелок в зависимости от объема поступающего на факел газа.

Допускается, чтобы ступенчатые факелы обеспечивали резервирование на случай отказов системы посредством включения в систему байпасных линий или аварийных газоотводов. Для обеспечения безопасности необходимо предусмотреть наличие у регулирующих клапанов байпасных линий, которые должны быть оборудованы МПУ.

Все приведенные выше технологии бездымного сжигания предназначены для факельного оборудования, используемого для сжигания экзотермических факельных газов, т. е. газов, имеющих высокую теплотворную способность, как правило, больше 74,5 МДж/м^3 для факелов, не использующих вспомогательные среды, и 112 МДж/м^3 для факелов, использующих вспомогательные среды для самостоятельного поддержания горения без добавления вспомогательного топлива. При этом необходимо принять во внимание, что эндотермические газы сжигают в системах термического сжигания с применением факелов специальной конструкции, которые используют вспомогательный газ для сжигания факельных газов. При малом расходе газа, как правило, достаточно обогащения факельных газов добавлением вспомогательного газа в факельном коллекторе для увеличения низшей теплотворной способности смеси. В других случаях следует учитывать возникновение необходимости применения манифольда нагнетания вспомогательного газа, устанавливаемого по периметру факельного оголовка для формирования пламени вокруг выхода газов из факельного оголовка. Добавление вспомогательного газа требуется при содержании в факельных газах аммиака, большого количества углекислого газа и малого количества сероводорода.

Вспомогательный газ высокого давления, при необходимости, следует использовать для предотвращения дымообразования посредством вовлечения внешнего воздуха в пламя факела и образования турбулентности для поддержания горения. Как правило, методы инжекции (нагнетания) такие же, как для паровых факельных оголовков, но для снижения объема вспомогательного газа необходимо применять специальные факельные оголовки большой пропускной способности. В случае использования в качестве вспомогательного газа природного газа требуется от 0,5 до 0,75 кг вспомогательного газа на 1,0 кг факельного газа, состоящего из нормальных парафиновых углеводородов, таких как пропан и бутан. Давление при использовании природного газа в качестве вспомогательного, как правило, составляет 500 кПа, но оптимальным значением следует считать 1000 кПа.

7.4.3.3 При проектировании факельной системы необходимо руководствоваться требованиями настоящего стандарта и положениями [3]. Тип факельной системы и конструкция факельной установки должны выбираться проектной организацией в зависимости от условий ее эксплуатации, организации сбросов, свойств и состава сбрасываемых газов и обосновываться в проектной докумен-

тации. Проектируемая факельная система должна обеспечить сброс и последующее сжигание горючих газов и паров в случаях:

- срабатывания устройств аварийного сброса, предохранительных клапанов, ручного стравливания, а также освобождения технологических блоков от газов и паров в аварийных ситуациях автоматически или с применением дистанционно управляемой запорной арматуры;

- периодических сбросов газов и паров при пуске, наладке и остановках технологического оборудования.

Факельная система должна быть разделена на факельную систему высокого давления (рабочее давление выше 0,3 МПа), факельную систему низкого давления (рабочее давление до 0,3 МПа) и факельную систему сернистого газа (при наличии в технологическом процессе сернистого газа). Подводы газа (продуктов сброса) к факельным сепараторам высокого давления, низкого давления и сернистого газа необходимо группировать в коллекторы по рабочему давлению и выполнять раздельными для факельных систем высокого давления, низкого давления и сернистого газа соответственно.

В составе факельных систем применяют, как правило, высотные вертикальные факельные установки, где факельный оголовок монтируют на верхнем срезе факельного ствола, что снижает интенсивность теплового излучения на уровне поверхностей палуб/платформ и других конструкций МПС и улучшает процесс рассеивания продуктов сжигания газов в атмосфере.

Факельную установку на МПС необходимо располагать в противоположной стороне от жилого блока и с учетом преобладающего направления ветра.

7.4.3.4 Независимый трубный факельный оголовок (без подвода вспомогательных сред) следует применять в условиях отсутствия необходимости в подаче вспомогательных сред, обеспечивающих бездымное горение, а пилотные (дежурные) горелки и системы розжига пилотных (дежурных) горелок обеспечивают зажигание пламени факела.

Трубный факельный оголовок должен иметь механическое устройство или другой способ для установления и сохранения стабильного пламени. На выходе из факельного ствола газ должен изначально воспламеняться посредством взаимодействия с пламенем пилотной (дежурной) горелки (горелок). Как только пламя от пилотной (дежурной) горелки зажигается и стабилизируется, факел должен поддерживать стабильность пламени по всему проектному рабочему диапазону. Следует учитывать, что стабильность пламени трубного факела зависит от выбора скорости выхода газа.

Форма пламени, образуемая независимым факелом, зависит от состава сбросного газа и скорости выхода газа. При высоких скоростях[1)] выхода газа пламя использует энергию сбрасываемого газа для подсоса воздуха для горения, поступающего в зону горения, что создает короткое и прямое пламя, имеющее большее сопротивление ветровому сносу, а при низких скоростях[1)] выхода газа воздух перемещается к пламени (так называемое «парящее» пламя) благодаря подъемной силе нагретых продуктов горения. Следует отметить, что «парящее» пламя длиннее и более подвержено воздействию ветра, чем пламя при высоких скоростях[1)] выхода газа.

Необходимо принять во внимание, что низкие скорости выхода газа и пламя, поддерживаемое подъемной силой нагретых продуктов горения, предпочтительны для сжигания сбросного газа с низким теплосодержанием, а высокие скорости выхода газа предпочтительны для углеводородных сбросных газов с высоким теплосодержанием или для сбросных газов, богатых водородом. Вследствие высокой скорости пламени, широкого диапазона воспламенения, эффектов подъемной силы и шума, факелы для сжигания водорода требуют применения особых проектных решений.

На уровень шума в процессе сгорания сбросного газа на факеле влияет скорость выхода газа. Следует учитывать, что высокая скорость выхода газа может привести к росту турбулентности горения и росту величины уровня шума при горении. Максимальные уровни шума при горении возникают в случае работы факельного оголовка при скоростях выхода газа, приводящих к возникновению процесса неустойчивости горения.

Параметры выброса сбросного газа из факельного оголовка не должны превышать предельных значений гидравлического расчета факельной системы (т. е. интервалов допустимых пределов падения давления и скорости горения пламени). Газ должен воспламеняться и сжигаться в соответствии с проектными характеристиками пламени.

7.4.3.5 Гидравлический затвор при использовании в факельной системе должен обеспечить:

- предотвращение проскока пламени из факельного оголовка и распространения пламени по факельной системе;

[1)] *Значение скорости определяют при проектировании конкретного МПС.*

- поддержание избыточного давления в факельной системе для исключения протечек воздуха в факельную систему;

- возможность ступенчатого разделения между закрытым факелом и полно-проходным аварийным факелом;

- предотвращение попадания воздуха в факельную систему во время резких изменений температур или конденсации факельного газа, которые могут возникнуть, например, вследствие выброса факельного газа большого объема или после процесса пропаривания.

Гидравлические затворы должны быть расположены между факельным сепаратором и факельным стволом, и, как правило, объединены в основании факельного ствола. Размеры и технические характеристики гидравлического затвора должны обеспечить максимальный выброс паров. Необходимо, чтобы объем и высота колена гидравлического затвора исключали прорыв гидравлического затвора в результате образования вакуума в факельном коллекторе вследствие большого объема выброса факельного газа или после процесса пропаривания.

Для объектов, имеющих в факельном коллекторе криогенные продукты, рассматривают последствия воздействия холодного флюида на среду гидравлического затвора. Водные гидравлические затворы применять не следует, если существует вероятность блокирования факельной системы в результате образования ледовой пробки. Применяют альтернативные затворные жидкости, (например, смесь гликоля и воды). В качестве альтернативы используют такие методы, как нагревание затворной жидкости или дренаж гидравлического затвора в условиях низких температур.

7.4.3.6 В целях обеспечения безопасности факельной системы необходимо обеспечить ее продувку на этапе пуско-наладочных работ и последующую постоянную продувку с помощью неконденсирующегося бескислородного газа. Предварительная продувка должна обеспечить сброс всего имеющегося воздуха из факельной системы, а постоянная продувка — невозможность поступления атмосферного воздуха в факельный ствол через факельный оголовок в условиях низкого расхода. Для постоянной продувки, как правило, следует использовать подготовленный топливный газ с соответствующим требуемым расходом. При наличии гидравлического затвора у основания факельного ствола (см. *7.4.3.5*) процесс постоянной продувки допускается не применять, при этом требуется разработка особых конструктивных решений при проектировании факельной системы для обеспечения ее устойчивости в случае внутреннего взрыва, а также учета воздействия воздуха на затворную среду гидравлического затвора.

Следует учитывать, что воздух, находящийся в факельном стволе, может создать потенциально взрывоопасную смесь с поступающим факельным газом в условиях малого расхода факельного газа. Для снижения объема продувочного газа при постоянной продувке, требуемого для предотвращения поступления воздуха в факельный ствол, необходимо применять специальные защитные устройства, которые располагают в факельном оголовке или до факельного оголовка — в факельном стволе. В качестве специальных защитных устройств применяют:

- газостатический затвор. Данный тип затвора использует разницу относительной молекулярной массы продувочного газа и проникающего воздуха для формирования гравитационного затвора, который предотвращает поступление воздуха в факельный ствол. Отражающая цилиндрическая конструкция заставляет входящий воздух проходить через два поворота по 180° (один поворот вверх, другой вниз) перед поступлением в факельный ствол. При этом, если продувочный газ легче воздуха, продувочный газ аккумулируется в верхней части затвора и предотвращает просачивание воздуха в систему; если продувочный газ тяжелее воздуха, продувочный газ аккумулируется в нижней части затвора и предотвращает просачивание воздуха в систему. Этот затвор, как правило, понижает скорость прохождения продувочного газа через факельный оголовок до 0,003 м/с, что при использовании большинства химических составов продувочного газа обеспечивает ограничение уровня кислорода в трубопроводе, расположенном ниже защитного устройства, до менее чем 0,1 %. Для исключения проскока пламени внутрь факельного оголовка следует применять более высокие скорости продувочного газа (не менее 0,05 м/с). Следует учитывать, что два поворота на 180° в газовом затворе могут вызвать сбор жидкости в затворе (см. рисунок *6*), что обусловливает необходимость его дренирования. При применении факельных оголовков, имеющих огнеупорную облицовку, обломки облицовки могут заблокировать дренаж газового затвора, что создаст потенциально опасную ситуацию. Необходимо предусмотреть мероприятия по обеспечению свободного дренирования газового затвора и защите от замерзания при использовании в холодных климатических условиях;

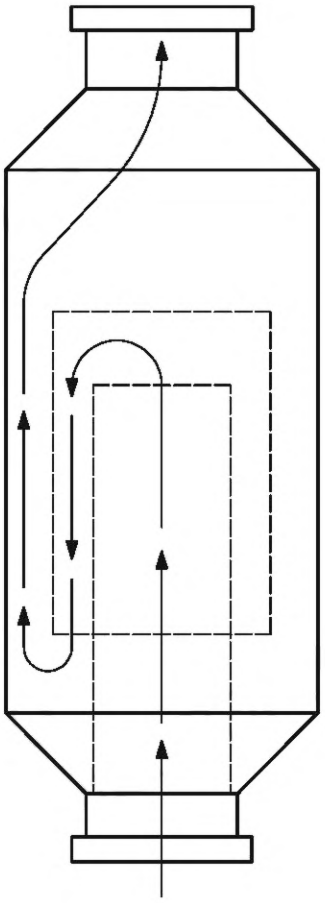


Рисунок *6* — Затвор для снижения потока газа для продувки. Газостатический затвор

- скоростной (газодинамический) затвор. Данный тип затвора работает на основании допущения, что просачивающийся воздух входит через факельный оголовок и охватывает внутреннюю поверхность факельного оголовка. Газодинамический затвор состоит из обечайки с опорным кольцом и внутренним устройством лабиринтных перегородок. Подачу продувочного газа осуществляют через отверстие в факельном стволе в межтрубное пространство затвора и факельного ствола, откуда через дросселирующие отверстия газ поступает в камеры затвора.

Воздух, как следствие, встречает сфокусированный поток продувочного газа и уносится из факельного оголовка. Такой затвор должен снизить скорость прохождения продувочного газа до 0,006 — 0,012 м/с, что поддерживает концентрацию кислорода ниже затвора на уровне от 4 % до 8 % и составляет приблизительно 50 % от предельной концентрации кислорода, требуемой для создания горючей смеси. Для исключения возникновения явления проскока пламени внутрь факельного оголовка применяют высокие скорости продувочного газа (не менее 0,05 м/с). Необходимо соблюдать меры безопасности, если поток отводимого газа содержит водород, этилен или другие газы с широкими диапазонами взрывоопасности. В таких случаях, чтобы избежать взрывоопасных смесей с воздухом, применяют более высокую скорость продувки. Каждая лабиринтная перегородка конструктивно должна обеспечить дренирование жидкостей во избежание коррозии и/или замерзания.

Без наличия затворов скорость продувки в факельном оголовке, требуемую для предотвращения просачивания воздуха в факельный ствол, необходимо определять при помощи методики, приведенной в *8.3.13.3*.

Примечание — Затворы, снижающие интенсивность продувки, не являются пламегасителями, то есть они не остановят обратный поток пламени. Они выступают как устройства сохранения энергии для снижения потока продувочного газа, требуемого для устранения просачивания воздуха в факельный ствол. В случае потери потока продувочного газа (подразумевая, что поток другого отводимого газа отсутствует) уровень кислорода ниже газодинамического затвора практически сразу же начнет повышаться. В случае газового затвора между моментом остановки потока продувочного газа и моментом начала повышения уровня кислорода ниже затвора существует временная задержка.

Следует учитывать, что газостатический и газодинамический затворы, как правило, не применяют на многоточечных, ступенчатых факелах. В ступенчатых системах трубопровод за устройством, отделяющим ступени, необходимо продувать неконденсирующимся инертным газом после каждого закрытия устройства, отделяющего ступени.

7.4.3.7 Для регулирования параметров пара (сжатого воздуха, воды и т. п.), обеспечивающих работу бездымных факелов, применяют следующие методы:

- ручное управление. Ручное управление, как правило, включает удаленное управление клапаном подачи пара обслуживающим персоналом, находящимся в зоне, с которой хорошо виден факел. Данный метод является приемлемым, если допускается краткосрочное образование дыма при резком увеличении факельных выбросов и обеспечен своевременный контроль за снижением расхода пара после возвращения к штатному режиму эксплуатации;

- видеоконтроль с ручным управлением. Используют те же принципы, что и в случае с ручным управлением, за исключением добавления системы видеоконтроля, позволяющей операторам в посту управления установкой контролировать и управлять паровым потоком более эффективно;

- систему упреждающего управления для давления, массового расхода или скорости. Посредством измерения объема факельного газа, идущего на факел, расход пара должен быть автоматически отрегулирован таким образом, чтобы компенсировать изменения расхода факельного газа. Данная система считается неэффективной, если состав газа, направляемого на факел, сильно варьируется со временем (другими словами, газы от парафинов до олефинов или ароматиков, водород или различные их смеси);

- систему обратной связи с использованием инфракрасных датчиков. Инфракрасные датчики следует использовать для обнаружения образования дыма в пламени и автоматического управления клапаном регулировки подачи пара для обеспечения бездымного сжигания. Недостатком данной системы является то, что инфракрасные волны поглощаются влагой и мощность сигнала обратной связи снижается в условиях дождя или тумана.

Следует учитывать, что при низких скоростях потока газа для сжигания на факеле параметры изменения давления или расхода так малы, что для обеспечения достаточного количества пара для бездымного сжигания требуется применение КИПиА высокой чувствительности. Следовательно, для получения необходимых эксплуатационных результатов необходимо обеспечить соответствующий выбор КИПиА, его регулировку и установку.

Регулирование параметров пара (или другой вспомогательной среды) применяют в случае необходимости обеспечения максимальной эффективности работы факельного оголовка, особенно при низких скоростях потока газа для сжигания на факеле. Следует считать, что факел с избыточной подачей пара имеет меньшую эффективность, чем факел, эксплуатируемый с оптимальной подачей пара. Избыточное количество пара увеличивает уровень шума, генерируемый факелом.

7.4.3.8 Устройство зажигания пламени пилотной (дежурной) горелки является частью факельной системы, где используют запальную смесь, представляющую собой смесь топливного газа и воздуха из фронта пламени, для зажигания пилотных (дежурных) горелок.

Запальная смесь заполняет линию розжига, ведущую от устройства зажигания пламени к пилотной (дежурной) горелке факела. Далее устройство зажигания пламени генерирует искру для зажигания запальной смеси и продвижения фронта пламени запальной смеси по трубопроводу розжига на розжиг пилотной (дежурной) горелки. Устройства зажигания пламени могут приводиться в действие вручную или автоматически для обеспечения повторного зажигания пилотной (дежурной) горелки при погасании пламени на пилотной (дежурной) горелке. Также следует использовать электронные системы розжига, не требующие распространения фронта пламени запальной смеси на розжиг пилотной (дежурной) горелки. Электронные системы розжига, как правило, обеспечивают воспламенение газа пилотной (дежурной) горелки непосредственно у самой горелки. Тип системы розжига факела необходимо выбирать проектной организации в зависимости от условий ее эксплуатации, основываясь на опыте применения однотипных установок, и он обосновывается в проектной документации. *Система розжига факела должна соответствовать требованиям настоящего стандарта и ГОСТ Р 53681—2009 (подразделы 5.8, 5.9)*.

Система контроля пламени должна подтвердить, что пилотные (дежурные) горелки находятся в горящем состоянии. Методы контроля пламени пилотных (дежурных) горелок включают термопреобразователи, устанавливаемые в районе наконечника пилотной (дежурной) горелки, а также удаленные акустические, оптические (инфракрасные или ультрафиолетовые) датчики. Тип системы контроля пламени выбирает проектная организация в зависимости от условий ее эксплуатации, основываясь на

соответствующем опыте применения, и обосновывает выбор в проектной документации. *Система контроля пламени должна соответствовать требованиям настоящего стандарта и ГОСТ Р 53681—2009 (подраздел 5.10)*.

Необходимые тип и количество, а также размещение предупредительных (пилотных) огней на факельной установке должны отвечать требованиям соответствующей НД. При этом предусматривают мероприятия по обеспечению возможности выполнения технического обслуживания предупредительных огней.

7.4.3.9 При необходимости отделения жидкости от газа и для сбора максимального объема жидкости, которая может быть сброшена в случае возникновения аварийной ситуации, факельные системы оборудуют факельными сепараторами.

Факельные сепараторы, как правило, располагают по ходу потока на основной факельной линии до факельного ствола или гидравлического затвора (при его наличии). При наличии оборудования или технологической установки, осуществляющих сброс больших объемов жидкости в факельный коллектор, следует предусмотреть установку факельных сепараторов, предназначенных для сбора жидкостей, сбрасываемых непосредственно с этого оборудования (технологической установки), что обеспечит применение основного факельного сепаратора меньшего объема.

Следует считать, что факел обеспечит сжигание газа с каплями жидкости малого диаметра. Факельный сепаратор должен обеспечить отделение капель жидкости более 300—600 мкм в диаметре для исключения возможности горения жидкости за пределами зоны пламени. В случае если до основного факельного сепаратора предусмотрено использование факельных сепараторов для отдельных установок, то эти сепараторы допускается рассчитывать на отделение капель жидкости диаметром более 600 мкм. Использование факельных сепараторов для отдельных установок эффективно снижает требования к размерам основного факельного сепаратора факельной установки и вспомогательного оборудования (см. *8.3.12*).

Следует принимать во внимание, что пропускная способность факельного сепаратора по жидкости должна основываться на величине объема жидкости, сбрасываемого в аварийной ситуации без превышения максимального уровня жидкости в факельном сепараторе. Необходимо, чтобы пропускная способность факельного сепаратора по жидкости учитывала любую жидкость, которая могла быть предварительно аккумулирована в сепараторе и не откачана из него. Время нахождения жидкости в сепараторе варьируется, но основным требованием является обеспечение наличия достаточного объема для аварийного сброса в течение 20—30 мин. Может потребоваться больший период времени нахождения жидкости в сепараторе в случае остановки потока на более продолжительное время.

В процессе определения размеров факельного сепаратора принимают к сведению, что случай максимального выброса паров не обязательно совпадает с максимальным объемом жидкости. Следовательно, объем факельного сепаратора следует определять, как для случая максимального выброса паров, так и максимального выброса жидкости.

7.4.3.10 Сжигание на факеле токсичных газов требует особого рассмотрения.

В зависимости от сжигаемых на факеле газов и используемой конструкции факельной установки минимальную допустимую низшую теплотворную способность принимают равной 7,5 — 11,2 МДж/м^3. В случае если значение низшей теплотворной способности уменьшается ниже данного диапазона, предусматривают использование факельной установки специальной конструкции (см. *7.4.3.2*).

Для обеспечения безопасной эксплуатации во время периодов отсутствия пламени на факеле необходимо произвести расчеты концентраций опасных компонентов на уровне поверхностей палуб/платформ и других горизонтальных поверхностей МПС, считая, что факел функционирует только в качестве газоотвода. При сжигании на факеле токсичных газов необходимо обеспечить надежный и постоянный контроль пламени пилотных (дежурных) горелок.

7.5 Сброс в систему низкого давления

7.5.1 Общие положения

Отвод сбрасываемой среды в ту же или другую систему с низким давлением следует считать безопасным и экономичным методом утилизации при условии, что принимающая сброс система рассчитана на дополнительную нагрузку.

7.5.2 Дренажная система

Сбросы жидкостей, не обладающих парообразующими свойствами, из устройств сброса давления следует отводить в дренажную систему при условии, что дренажная система имеет соответствую-

щую пропускную способность, отключаема от других систем и вентилируема. Не допускаются сбросы парообразующих, токсичных или горячих флюидов в дренажную систему.

***7.5.3* Технологические системы**

Схема технологического процесса технологической установки определяет наличие системы низкого давления, которая обеспечивает безопасный прием флюида, сброшенного из системы с высоким давлением. Следует учитывать, что данное положение применимо для жидких сбросов (например, жидкость, сбрасываемая с нагнетательной стороны насоса, отводимая к стороне всасывания насоса). Выбор типа используемого для сброса клапана сброса давления зависит от противодавления (постоянное, переменное или нарастающее) в системе с низким давлением.

7.6 Сброс жидкостей и конденсируемых газов

***7.6.1* Общие положения**

Выбор системы сброса жидкостей и конденсируемых паров, не рассмотренных в *7.3*—*7.5*, выполняют по *7.6.2*—*7.6.5*.

***7.6.2* Температура**

7.6.2.1 Проектирование оптимальной системы сброса жидкостей и конденсируемых паров для технологической установки производят, основываясь на схеме технологического процесса и технических характеристик применяемых устройств сброса давления. Проектные решения, связанные с изменениями температуры процесса, приведены для иллюстрации принципа разделения сбросов в *7.6.2.2*—*7.6.2.4* и не являются ограничивающими.

7.6.2.2 Жидкости, не обладающие парообразующими свойствами при температурах окружающей среды, допускается сбрасывать в отдельный закрытый сбросной коллектор и далее в дренажный резервуар, из которого жидкости возвращаются в технологический процесс. Парообразующие или не обладающие парообразующими свойствами жидкости альтернативно допускается сбрасывать в штатную закрытую систему утилизации. Из жидкости необходимо выделить газовую фазу в факельном сепараторе, из которого газовая фаза поступает на факел (см. *8.3.2.1*).

7.6.2.3 Горячие жидкости и пары необходимо охлаждать и конденсировать одним из следующих методов:

- устройства сброса давления, сбрасывающие горячие конденсирующиеся углеводородные пары или жидкости, соединяют трубопроводами с отдельным коллектором, оканчивающимся в охладительном сепараторе. Резкое охлаждение орошением жидкостью понижает температуру сбросного потока, а также вызывает конденсацию компонентов сбросного потока с меньшими парообразующими свойствами и уменьшает или предотвращает возможность выброса горячих конденсирующихся паров в атмосферу. Охладительный сепаратор представляет собой емкость, оборудованную для распыления охладительной жидкости в вертикальном направлении (сверху вниз) через горячие сбрасываемые пары по мере их прохождения через сепаратор с пониженной скоростью. В качестве охлаждающей жидкости, используемой в охладительном сепараторе для резкого охлаждения сбросного потока, применяют воду (газойль или другой флюид). После использования охлаждающую жидкость необходимо собирать в нижней части сепаратора для последующего удаления.

Одним из типов охладительных сепараторов является вертикальная емкость, имеющая внутренние перегородки, соединенная посредством конического перехода со свечой рассеивания или с факельным стволом. Конденсирующуюся углеводородную среду подают в охладительный сепаратор ниже внутренних перегородок. Воду вводят в охладительный сепаратор над внутренними перегородками с расходом, зависящим от температуры и объема углеводородной среды, подаваемой в охладительный сепаратор. Вода, протекающая по внутренним перегородкам, понижает температуру перегретых паров углеводородов, конденсирует и очищает пары от углеводородной жидкости и охлаждает углеводородную жидкость, аккумулированную в нижней части сепаратора. Несконденсированные пары и образовавшийся водяной пар поступают на свечу рассеивания или отводятся в факельную систему (см. приложение *Е*);

- погружную систему сброса в проектировании широко не используют. В случае ее использования следует учитывать возможность просачивания неконденсирующихся газов в атмосферу. Охлаждение горячей жидкости и конденсация паров путем сброса ее в большой объем холодной жидкости имеет ограниченное применение при сбросе в систему с низким давлением той же технологической установки. В отдельных случаях водяной пар смешивается со сбросами в больших объемах для того, чтобы сбрасываемый флюид потерял горючесть. Данный тип конструкции системы ограничения и сброса давления на установке, работающей с тяжелыми углеводородами, как правило, выполняет двойную

функцию: используется в качестве системы утилизации для устройств сброса давления и в качестве каплеотбойной или продувочной системы для емкостей.

Погружная система сброса является разгрузочной системой, оканчивающейся параллельными трубами, погруженными в сливную емкость, заполненную водой. В нижних частях труб имеются отверстия по всей их длине, что придает нисходящее движение сбрасываемому потоку для получения максимального смешивания, охлаждения и конденсации. Необходимо предусмотреть мероприятия для поддержания уровня жидкости в сливной емкости при нахождении разгрузочной системы в действии. Сброс из сливной емкости отводят в сепаратор, где нефть и конденсируемые пары удаляют из воды;

- использование кожухотрубчатых теплообменников или змеевиковых охладителей обеспечивает разделение охлажденного или конденсированного флюида. В дополнение к этому, змеевиковый охладитель (аварийный конденсатор с погружным змеевиком) используют для удаления части теплоты, что востребовано при авариях в случае отсутствия потока охлаждающей воды.

7.6.2.4 В процессе кипения жидкости при пониженном давлении произойдет ее охлаждение. Если равновесная температура низкая, следует применять трубопроводы и сепараторы, изготовленные из материалов, рассчитанных на низкую температуру флюидов, для исключения риска возникновения низкотемпературного разрушения. В таких условиях следует либо предусмотреть разработку полностью отделенной низкотемпературной системы, либо отделить часть системы до входа потока в сепаратор, где жидкость должна разделиться на фазовые составляющие. После чего, при необходимости, пары, отводимые из сепаратора, следует направить в другие системы утилизации при условии, что при отсутствии жидкости теплопоглощение (трубопроводной системы) из окружающей атмосферы исключит падение температуры до опасного низкого уровня.

***7.6.3* Вредные свойства**

Следует учитывать, что для безопасной утилизации веществ с токсичными, кислотными, щелочными или коррозионными свойствами может возникнуть необходимость в процессах химической нейтрализации, абсорбирования или применения специальной системы утилизации. При этом в определенных случаях разбавление приведенных выше веществ водой или воздухом до безопасного уровня может быть достаточной мерой.

***7.6.4* Вязкость и загустение**

При выборе системы устройств сброса давления для жидкостей и конденсируемых паров необходимо учитывать возможность образования высоковязких или твердых веществ. Конструкция системы ограничения и сброса давления для таких материалов может потребовать теплового обогрева клапанов сброса давления и сбросных линий. Образование смол, полимеров, кокса или льда, способных помешать безопасной эксплуатации системы ограничения и сброса давления, также необходимо учитывать при проектировании системы.

***7.6.5* Смешиваемость**

При проектировании системы ограничения и сброса давления необходимо принимать во внимание растворяющую способность или смешиваемость веществ с водой и предотвращение образования эмульсий.

8 Проектирование систем ограничения и сброса давления

8.1 Определение расчетной нагрузки системы

8.1.1 Общие положения

8.1.1.1 Определение расчетных нагрузок на систему ограничения и сброса давления представляет сложный процесс, требующий наличия данных по технологии, эксплуатации, КИПиА и т. д. Система ограничения и сброса давления объединяет в своем составе трубопроводы, технологические емкости и другое оборудование от выпускного отверстия устройства сброса давления до конечной точки сброса. Размеры системы ограничения и сброса давления могут влиять на эксплуатацию устройства сброса давления (т. е. на противодавление в клапанах сброса давления, снижение номинальных рабочих характеристик и т. д.).

8.1.1.2 Несмотря на то что требуемые расходы сброса от отдельных устройств сброса давления для единичного опасного сценария известны, необходимо определить комбинированное воздействие на систему ограничения и сброса давления, например:

- потеря охлаждающей воды и/или воздушного компрессора как результат отключения электропитания;

- потеря теплоты перегрева процесса от расположенного ниже по схеме колонного оборудования;

- потеря воздуха КИПиА может не вызвать отключение электропитания, однако потеря электропитания может напрямую вызвать потерю воздуха КИПиА (например, при отключении электропитания, поступающего на компрессор сжатого воздуха);

- воздействие на приборы КИПиА (благоприятное или неблагоприятное) может требовать комплексного анализа;

- влияние снижения нагрузки.

8.1.1.3 При определении расчетных нагрузок на систему ограничения и сброса давления следует применять следующие общие этапы:

- на первом этапе определяют требуемые нагрузки от сброса давления для нештатных ситуаций, приведенных в разделе *5* для каждого отдельного устройства сброса давления, осуществляющего сброс в систему ограничения и сброса давления. Учитывают нагрузки в системе ограничения и сброса давления от клапанов, регулирующих давление, или клапанов аварийного сброса давления;

- определяют, на какие системы, находящиеся под давлением, оказывается совместное воздействие от единичных нештатных ситуаций в соответствии с *8.1.2*;

- определяют максимальную нагрузку на систему ограничения и сброса давления во время таких нештатных ситуаций в соответствии с *8.1.3*;

- определяют расчетную нагрузку для системы ограничения и сброса давления в соответствии с *8.1.4*.

8.1.2 Нагрузки от систем, работающих под давлением

8.1.2.1 Нештатные ситуации, которые следует рассмотреть при определении требований к сбросу давления, приведены в разделе *5*. Для определения нагрузки на систему не требуется рассматривать случай одновременного появления двух или более нештатных ситуаций, не связанных между собой (например, как правило, не рассматривают клапан, непредумышленно закрытый одновременно с произошедшим отказом). Основное внимание при анализе уделяют инициирующим событиям и результирующим воздействиям.

8.1.2.2 Важно учесть случаи отказа вспомогательных систем, таких как электроснабжение или подача охлаждающей среды. Следует учитывать возможность частичного или полного отказа подачи электрического питания, пара, хладагента и воздуха КИПиА и влияние этих процессов на установку в целом. Необходимо принять во внимание случаи, при которых частичные отказы приводят к бóльшим нагрузкам, чем при полном отказе. После выполнения анализа последствий возможных отказов, при которых основное внимание уделяют отказу электрического и силового оборудования и, как правило, с учетом их результатов, выполняют проектирование, основанное на отказе одной электрической шины, учитывая, что потеря всего распределяющего электрического центра или входящей электрической линии может иметь определяющее значение при проектировании.

8.1.2.3 Следует учитывать взаимодействие вспомогательного оборудования (например, потеря электропитания может приводить к потере воздуха КИПиА, пара, теплоносителя и/или хладагента). Основной причиной для анализа отказа системы хладоносителя или теплоносителя является отказ всей системы энергопотребления. Отсутствие воздуха КИПиА следует рассматривать как неисправность установки в целом за исключением тех случаев, когда существуют условия, которые позволяют продолжать подачу воздуха, например такие как обеспечение электропитания от резервного источника или подача воздуха КИПиА от источника, состоящего из нескольких воздушных компрессоров. Требуется рассматривать отказ электронных или электрических КИПиА при отказе электроснабжения установки, учитывая при этом обеспечение надежной подачи резервного электропитания (например, источники бесперебойного питания).

8.1.2.4 Для определения комбинированных нагрузок от сброса давления под воздействием пожара оценивают вероятность максимального распространения пожара. В качестве определяющего подхода в отсутствие других преобладающих факторов при рассмотрении зоны, затронутой воздействием пожара, следует ограничиться площадью от 230 до 460 м^2. Детальный анализ может показать меньшую по площади зону, затронутую пожаром. Детальный анализ должен включать рассмотрение фактического размещения установок и оборудования, расположение источников горючих веществ, обеспечение дренажа и влияние воздействий преград.

8.1.2.5 Допускается принять, что установки, в которых обращаются только ГГ, образуют, как правило, локализованные пожары, по сравнению с теми, в которых обращаются ЛВЖ или ГЖ, образующие горящий пролив жидкости.

8.1.3 **Определение расчетной нагрузки для системы ограничения и сброса давления**

8.1.3.1 Максимальную потенциальную нагрузку следует рассчитывать для каждого основного режима суммированием отдельных нагрузок на систему, которые будут возникать при этих условиях. Для основного режима проектировщику необходимо определить нагрузки для каждой отдельной системы, включая, если это применимо, устройства сброса давления, клапаны аварийного снижения давления и/или другие регулирующие клапаны (например, клапаны регулирования давления со сбросом в систему ограничения и сброса давления). Системы с клапанами регулирования давления и/или клапанами аварийного сброса давления могут поддерживать давление ниже давления открытия устройства сброса давления. В таких случаях не следует включать нагрузку от устройства сброса давления в дополнение к нагрузке от клапанов регулирования давления и/или клапанов аварийного сброса давления на систему факела. В этих случаях суммарная нагрузка системы ограничения и сброса давления от клапана регулирования давления или клапана аварийного сброса давления может быть больше, чем нагрузка от устройства сброса давления (например, воздействие температуры в ребойлере при полном сбросе давления приводит к отсутствию нагрузки, но при этом клапан регулирования давления открывается при давлении, когда ребойлер еще может создать паровую нагрузку в системе ограничения и сброса давления).

8.1.3.2 Максимальный поток через клапан аварийного сброса давления или клапан регулирования давления ограничивается максимальным давлением перед клапаном в момент его первого открытия. Проектировщик должен определить максимальное давление, выполнив анализ сценариев, при которых открывается клапан аварийного сброса давления или клапан регулирования давления. Если сценарий рассматривает сосуды, в которых достигается давление настройки клапана сброса давления или полного сброса давления перед открытием аварийного клапана сброса давления или клапана регулирования давления, то значения этих давлений должны быть использованы как основополагающие для выполнения расчета. Если сценарий не предусматривает увеличения давления до открытия клапана аварийного сброса давления или клапана регулирования давления, то максимальное рабочее давление используют в качестве исходных данных для проектирования. Необходимо учитывать, что устройства сброса давления с функцией повторного закрытия не будут оказывать дополнительное воздействие по нагрузке на клапаны регулирования давления, подключенные к такому же сосуду или оборудованию.

8.1.3.3 Если пропускная способность клапана сброса давления паров больше нормального расхода паров в защищаемом оборудовании или если скорость сброса давления является суммируемым компонентом к нормальным потокам в оборудовании, то необходимо учесть процесс вовлечения в поток жидкости, что для системы ограничения и сброса давления от клапанов сброса давления определяет необходимость обеспечения сброса жидкости.

8.1.3.4 Расчет системы ограничения и сброса давления не обязательно следует основывать на максимальном массовом расходе из-за влияния свойств флюидов (например, поток, который приводит к максимальным потерям напора при протекании через систему, может не быть потоком с максимальным массовым расходом). Различные сценарии необходимо использовать в качестве основополагающих для проектирования отдельных компонентов, таких как сбросные трубопроводы, факельные сепараторы, факельный ствол и т. д.

8.1.4 **Уточнение расчетной нагрузки системы ограничения и сброса давления**

8.1.4.1 Существует несколько методов, которые могут быть применены для установления расчетной нагрузки системы ограничения и сброса давления, которая меньше, чем максимальная, определяемая в *8.1.3*. Использование методов, приведенных в *8.1.4.2* и *8.1.4.3*, требует выполнения соответствующего анализа.

8.1.4.2 Моделирование нагрузки в динамической системе ограничения и сброса давления позволит проектировщику прогнозировать время появления отдельных пиковых нагрузок в системе ограничения и сброса давления для определения гидравлических характеристик системы ограничения и сброса давления. При этом необходимо учитывать различные временные интервалы, т. к. пиковая нагрузка для различных частей системы ограничения и сброса давления может появляться в различное время. Моделирование нагрузки в динамической системе ограничения и сброса давления отличается от моделирования нагрузки индивидуальной динамической системы (как приведено в *6.22*), т. к. в первом случае учитывают временные интервалы нескольких сбросов давления, в то время как в последнем случае основной акцент делают на определении только пиковой нагрузки из одной системы без учета воздействия временных интервалов других нагрузок сбросов. В течение основного режима (сценария) (пожар или отказ вспомогательных систем) не во всех системах, работающих под давлением, достига-

ются условия для сброса давления единовременно, и не все системы способны выдерживать нагрузки в течение одинаковой продолжительности по времени. Моделирование нагрузки в динамической системе может потребовать большего количества детальных исследований, чем динамическое моделирование индивидуальной системы, т. к. комбинированная пиковая нагрузка для системы ограничения и сброса давления необязательно может возникать во время приложения пиковой нагрузки отдельной системы, работающей под давлением.

8.1.4.3 Следует принять во внимание, что предпосылки для снижения нагрузки включают в себя HIPS от превышения давления (см. приложение *А*), вмешательство оператора, управление основным процессом и т. д. Как указано в *5.2*, для снижения расчетных нагрузок на систему ограничения и сброса давления в определенных условиях допускается применять КИПиА. Решение по частичному снижению нагрузки посредством использования систем КИПиА должно учитывать количество и надежность применяемых систем КИПиА. Нормально функционировать будут системы с КИПиА и высокими значениями уровня полноты безопасности (SIL) (см. *3.54* и *3.68*), а не простые контуры отключения с КИПиА или контуры с КИПиА для управления основным технологическим процессом. Одним из методов, основанных на надежности системы КИПиА, является определение проектировщиком процентного отношения тех систем, которые не будут функционировать так, как рассчитано. Далее проектировщик определяет, какая система КИПиА может отказать. Как правило, следует считать, что отказывают системы КИПиА, которые характеризуются наиболее высокими нагрузками и/или противодавлениями на систему ограничения и сброса давления. Применяя этот метод, проектировщику, для обеспечения процесса проектирования, следует оценить возможность отказа нескольких систем КИПиА, воздействующих на общие коллекторы сброса.

8.1.4.4 Необходимо определить возможность и время обратной реакции, достаточное для вмешательства оператора, как фактор снижения нагрузок на систему ограничения и сброса давления. При этом проектировщик должен учитывать наличие других задач, которые могут быть возложены на оператора во время нарушения технологического процесса. Также следует учесть, что действия оператора уже могут быть направлены на управление процессом индивидуального сброса давления в систему ограничения и сброса давления (см. *6.4*), вместе с тем оператор должен реагировать на срабатывания сигнализации.

8.1.4.5 Причины для принятия мер по ограничению и сбросу давления в системе рассматривают и оценивают на предмет обеспечения надежности ее конструкции. Методом оценки необходимости снижения нагрузки от сброса давления в систему ограничения и сброса давления является количественная оценка эксплуатационных характеристик системы ограничения и сброса давления в целом. Этот метод учитывает вероятность нештатных ситуаций, связанных с превышением давления и надежностью защитных устройств, которые снижают или устраняют индивидуальные нагрузки от сброса давления. Этим количественным методом следует определять вероятностные нагрузки в системе ограничения и сброса давления, вероятностные гидравлические характеристики и вероятностные превышения давления в оборудовании.

8.2 Выбор схемы системы

8.2.1 Общие положения

8.2.1.1 Выбор системы ограничения и сброса давления следует выполнять после определения различных комбинаций нагрузок для всех нештатных ситуаций, а также соответствующего допустимого противодавления для всех устройств сброса давления. Факторы, влияющие на выбор системы ограничения и сброса давления, приведены в разделе *7*.

8.2.1.2 При выборе компоновки системы или систем ограничения и сброса давления необходимо учесть процессы, в которых через устройства сброса давления могут сбрасываться быстро вскипающие жидкости или в которых взаимодействие потоков сбрасываемых холодной жидкости и горячего пара может приводить к процессу испарения жидкости. Такие процессы зачастую обусловливают возникновение дополнительных паровых нагрузок (см. *7.6.2.4* для жидкостей, которые способны к самоохлаждению).

8.2.1.3 Специальные решения по проектированию системы ограничения и сброса давления приведены в приложении *В*.

8.2.1.4 В таблице *14* приведена информация, которую следует использовать для определения того, где требуемую скорость сброса давления и номинальную пропускную способность устройства сброса давления необходимо использовать в расчете выпускных трубопроводов и основного выпускного коллектора (при его наличии).

Таблица *14* — Исходные данные для проектирования выпускных трубопроводов (коллекторов) с устройствами сброса давления в системе ограничения и сброса давления

Устройство	Сбросной трубопровод/выпускной трубопровод	Основной параметр (при наличии)
Управляемый двухпозиционный клапан сброса давления (положения «открыто — закрыто»)	Номинальная пропускная способность клапана сброса давления	Требуемый расход сброса
Управляемый регулирующий клапан сброса давления	Требуемый расход сброса[a]	Требуемый расход сброса
Пружинный клапан сброса давления	Номинальная пропускная способность клапана сброса давления[b]	Требуемый расход сброса
Мембранное предохранительное устройство (отдельно установленное)	Требуемый расход сброса[c]	Требуемый расход сброса
С деформируемым штифтом (отдельно установленным)	Требуемый расход сброса[c]	Требуемый расход сброса

[a] Следует учитывать, что определенные типы клапанов сброса давления с управлением от пружины могут обладать регулируемой способностью. В этих случаях используют требуемый расход сброса.

[b] При проектировании механической и гидравлической частей системы следует учитывать, что внезапный расход при открытии может превысить требуемый расход сброса, особенно в тех случаях, когда пропускная способность устройства сброса давления больше.

[c] Если требуемый расход при сбросе давления используют для проектирования выпускного трубопровода (см. *3.8*), любые изменения процесса, которые повышают требуемый расход сброса давления, могут увеличивать противодавление более допустимых пределов.

8.2.2 Системы ограничения и сброса давления с одним устройством сброса давления

8.2.2.1 В случаях применения в системе ограничения и сброса давления одного устройства сброса давления или одного клапана сброса давления сбросной трубопровод выводят в атмосферу или в другую систему, которую эксплуатируют при низком давлении, или на местный (локальный) факел сжигания.

8.2.2.2 В случае если сбросной трубопровод подключают к системе с низким давлением, допустимое падение давления (противодавление) в системе ограничения и сброса давления, как правило, основывается на МДРД в оборудовании с низким давлением. Низкое противодавление (например, рабочее давление в оборудовании с низким давлением) может быть использовано, если установлено, что:

- ни одна из нештатных ситуаций, приводящая к нагрузке от сброса давления, не создает превышение давления в оборудовании с низким давлением;
- нагрузка (требуемая номинальная пропускная способность устройства), возникающая при сбросе от устройства сброса высокого давления, не приводит к превышению давления в оборудовании с низким давлением.

8.2.2.3 Следует обеспечить, чтобы каждое устройство сброса давления, через которое среда напрямую отводится в атмосферу, имело отдельный выпускной трубопровод, рассчитанный на относительно большую скорость[1)] выпуска; вместе с тем предусматривают, чтобы выпускной трубопровод был не меньше, чем выпускной патрубок устройства сброса давления. Противодавление этой системы должно включать все потери давления, такие как потери давления на выходе, потери на трение и потерю кинетической энергии.

8.2.2.4 Противодавление от управляемых двухпозиционных клапанов сброса давления, как правило, необходимо определять на основе номинальной пропускной способности клапана. Проект системы ограничения и сброса давления проверяют на соответствие таким требованиям. Управляемые регулирующие клапаны сброса давления создают нагрузки, которые эквивалентны номинальной пропускной способности для конкретного случая. Исходное проектирование системы ограничения и сброса давления следует выполнять, основываясь как минимум на данной номинальной пропускной способности.

[1)] *Значение скорости определяют при проектировании конкретного МПС.*

8.2.2.5 Как правило, номинальную пропускную способность используют для проектирования факельного коллектора, факельного оголовка и факельного сепаратора с пружинными предохранительными клапанами сброса давления. При этом учитывают возможность возникновения потока с бóльшим расходом, чем требуется, который влияет на работу оборудования, расположенного ниже по технологической схеме (например, через пружинные предохранительные клапаны сброса давления сбрасывается на 50 % или более его номинальной пропускной способности при заданном давлении настройки). Следовательно, исходный расход может быть больше, чем требуемая пропускная способность. В этом случае номинальную пропускную способность можно использовать как верхний предел расхода при проектировании находящихся ниже по схеме компонентов, таких как газосепараторы, термические окислители и гидравлические затворы.

8.2.2.6 Следует учитывать, что нерегулируемые пружинные предохранительные клапаны сброса давления пропускают через себя поток среды при номинальной пропускной способности.

8.2.2.7 Для МПУ или предохранительных устройств с деформируемым калиброванным штифтом/стержнем, установленных как отдельно стоящие элементы (т. е. не перед клапаном сброса давления), номинальную пропускную способность, как правило, используют для выбора диаметров трубопроводов и устройств сброса давления. В конструкции оборудования, расположенного ниже по технологической схеме, особенно газосепараторов и термоокислителей, следует учитывать большую нагрузку, которая может возникнуть из-за давления, имеющегося выше по технологической схеме, при котором срабатывают устройства сброса давления. При проектировании трубопроводов важно учитывать эту большую начальную пропускную способность.

***8.2.3* Система ограничения и сброса давления с несколькими устройствами сброса давления**

8.2.3.1 Для утилизации на факеле или свече рассеивания следует выполнять объединение сбросов из ряда устройств сброса давления или клапанов сброса давления. Требуется учитывать нагрузки в системе, ограничения по противодавлению, требования к материалам и другие проектные параметры в соответствии с *8.2.1* и *8.2.2*.

8.2.3.2 В системе ограничения и сброса давления с несколькими устройствами сброса давления, которая обслуживает одну установку, как правило, следует исключить взаимное влияние отдельных потоков сброса давления. Для принятия такого конструктивного решения необходимо наличие одного или нескольких условий:

- наличие коррозионно-активных веществ;
- различные величины значений давления в оборудовании, подключенном к системе ограничения и сброса давления;
- наличие потоков при сбросе давления, которые могут подвергать трубопроводы воздействию предельно высоких или предельно низких температур;
- наличие реакционно-активных веществ (см. *7.2.1*).

8.2.3.3 При определении компоновочных решений по выпускному коллектору, предназначенному для обеспечения приема сбросов от устройств сброса давления, требуется учитывать особые требования, которые подлежат выполнению при отдельных аварийных остановах или индивидуальном техническом обслуживании защищаемого оборудования. Как правило, не следует прокладывать выпускные коллекторы от устройств сброса давления из одной эксплуатационной зоны через другую зону, остановы оборудования для технического обслуживания в которых выполняются раздельно. Дополнительно к этому, как правило, предусматривают возможность для отсечения выпускных коллекторов, обслуживающих отдельные технологические зоны, от системы ограничения и сброса давления.

8.2.3.4 Системы ограничения и сброса давления с несколькими устройствами сброса давления, через которые проходят горючие пары, не допускается использовать для отвода воздуха или водяного пара в атмосферу в период запуска технологического оборудования. При подключении выпускных трубопроводов к системе ограничения и сброса давления с несколькими устройствами сброса давления необходимо предусмотреть технические решения, исключающие использование данных подключений для отвода воздуха в атмосферу с целью предотвращения образования в системе ограничения и сброса давления взрывоопасных смесей.

8.2.3.5 В системах ограничения и сброса давления с несколькими устройствами сброса давления в том числе предусматривают сброс из устройств сброса давления, расположенных на различных высотных уровнях МПС. Выпускные трубопроводы и коллекторы следует размещать так, чтобы выпускная труба от каждого устройства сброса давления не имела карманов для накопления жидкости. Как правило, не следует использовать факельный сепаратор, рассчитанный на эффективную сепарацию паров и жидкости при максимальном расходе, но при этом он должен обеспечить сбор максимального

объема переносимой жидкости, поступающей от любого устройства сброса давления, через которые могут сбрасываться жидкости. Необходимо исключить использование конденсатосборников или других устройств, требующих управления.

8.2.3.6 В случае если транспортируемые жидкости включают воду или углеводороды с относительно высокой точкой застывания, предусматривают технические решения по предотвращению возникновения процесса кристаллизации в системе. Для жидкостей с высокой вязкостью может потребоваться защита от низкой температуры окружающей среды, особенно на импульсных трубопроводах для КИПиА.

8.3 Проектирование элементов системы ограничения и сброса давления

8.3.1 Основные положения для проектирования трубопроводов систем ограничения и сброса давления

8.3.1.1 При проектировании трубопроводов системы ограничения и сброса давления следует:

- применять готовые секции трубопроводов, проектируемые для крупноблочного монтажа;
- применять системы коррозионного мониторинга для определения в процессе эксплуатации скорости коррозии на всех критических участках трубопроводов, определенных проектом;
- обеспечить установку средств системы защиты от электрохимической коррозии на всем протяжении трубопровода в количествах, определенных расчетами;
- применять, как правило, унифицированные конструктивные элементы и узлы.

8.3.1.2 Проектный (расчетный) срок службы трубопроводов системы ограничения и сброса давления указывают в проектной документации и в паспорте трубопровода.

8.3.1.3 Для труб, арматуры и деталей для соединения отдельных участков трубопроводов системы ограничения и сброса давления номинальные давления PN и соответствующие им пробные давления, а также рабочие давления необходимо определять по ГОСТ 356.

8.3.1.4 Толщину стенки труб и деталей для соединения отдельных участков трубопроводов системы ограничения и сброса давления следует определять расчетом на прочность в зависимости от расчетных параметров, коррозионных и эрозионных свойств рабочей среды по НД на сортамент труб.

При выборе толщины стенки труб и деталей для соединения отдельных участков трубопроводов необходимо учитывать особенности технологии их изготовления (например, гибка, сборка, сварка).

При расчете толщины стенок трубопроводов прибавку на компенсацию коррозионного износа к расчетной толщине стенки следует выбирать исходя из условия обеспечения проектного (расчетного) срока службы трубопровода и скорости коррозии.

8.3.2 Расчетные параметры для проектирования трубопроводов системы ограничения и сброса давления

8.3.2.1 За расчетное давление в трубопроводе системы ограничения и сброса давления следует принимать:

- наибольшее расчетное (разрешенное) давление для емкостного оборудования, с которым соединен трубопровод;
- в системах трубопроводов, защищенных предохранительными клапанами, — максимально возможное рабочее давление, возникающее при отклонении от нормального технологического режима и определяемое технологической частью проекта, с учетом противодавления при сбросе (кратковременное превышение расчетного давления при работе клапана не должно превышать 10 %);
- давление, которое в сочетании с соответствующей температурой может потребовать дополнительного увеличения толщины стенки.

Повышение давления в трубопроводах системы ограничения и сброса давления больше расчетного не допускается, что должно быть обеспечено установкой предохранительных устройств.

Выбор, установку и подключение предохранительных устройств выполняют в соответствии с требованиями настоящего стандарта, ГОСТ 12.2.085 и ГОСТ Р 59374.6.

8.3.2.2 За расчетную температуру в трубопроводе системы ограничения и сброса давления принимают, как правило, максимальную температуру среды (при отсутствии теплового расчета) в условиях одновременного воздействия давления согласно технологическому регламенту или согласно проекту на трубопровод системы ограничения и сброса давления.

8.3.2.3 Требования к расчету трубопроводов системы ограничения и сброса давления на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия приведены в ГОСТ 32569—2013 (раздел 9).

Трубопроводы системы, которые подвергают испытанию на прочность и плотность совместно с емкостным оборудованием, должны быть рассчитаны на прочность с учетом давления испытания емкостного оборудования.

8.3.3 **Классификация трубопроводов системы ограничения и сброса давления**

8.3.3.1 Классификацию трубопроводов системы ограничения и сброса давления выполняют в соответствии с ГОСТ 32569—2013 (раздел 5).

8.3.3.2 Трубопроводы системы ограничения и сброса давления должны быть классифицированы:

- в зависимости от класса опасности транспортируемого вещества (взрыво-, пожароопасность и вредность) — на группы среды;
- в зависимости от расчетных параметров рабочей среды (давления и температуры) — на категории.

8.3.3.3 Класс опасности технологических сред определяет проектировщик на основании классов опасности веществ, содержащихся в технологической среде, и их соотношений.

8.3.3.4 Категории трубопроводов системы ограничения и сброса давления определяют совокупность технических требований к конструкции, монтажу и объему контроля трубопроводов.

Категории трубопроводов системы ограничения и сброса давления для каждого трубопровода устанавливает и указывает в проектной документации проектировщик.

8.3.4 **Требования к конструкции трубопровода системы ограничения и сброса давления**

8.3.4.1 Конструкция трубопровода системы ограничения и сброса давления должна обеспечить возможность его полного опорожнения, очистки, промывки, продувки, ремонта, наружного и внутреннего осмотра, выполнения всех видов контроля, удаления из него воздуха при гидравлическом испытании и воды после его проведения.

Конструкция трубопровода должна соответствовать требованиям настоящего стандарта и ГОСТ 32569—2013 (раздел 6).

8.3.4.2 Номинальные диаметры DN трубопроводов системы ограничения и сброса давления определяют расчетом согласно НД с учетом условий их работы (например, пропускная способность, плотность транспортируемой среды, напора и т. д.).

8.3.4.3 Выбор типоразмеров трубопроводов системы ограничения и сброса давления производят на основании заданных технических параметров трубопровода и результатов выполнения соответствующих расчетов.

8.3.5 **Требования к материалам и полуфабрикатам для трубопроводов системы ограничения и сброса давления**

8.3.5.1 При выборе материалов трубопроводов системы ограничения и сброса давления необходимо учитывать:

- требования настоящего стандарта;
- назначение трубопровода;
- совместимость с другими материалами;
- механическую прочность, пластичность, упругость и ударную вязкость;
- необходимость особых технологий сварки и других типов соединения;
- необходимость специальных видов контроля, испытаний и контроля качества;
- заданные условия эксплуатации (расчетную нагруженность, минимальную и максимальную расчетные температуры, скорости и частоты изменения нагрузки), а также влияние температуры окружающей среды и морского климата;
- состав и характер рабочей среды (фазовый и химический состав, коррозионную активность, взрыво- и пожароопасность, токсичность, наличие примесей, приводящих к эрозионному износу и др.), с которой они будут эксплуатироваться;
- необходимость сохранения эксплуатационных характеристик после воздействия огня при пожаре.

8.3.5.2 Материалы и полуфабрикаты для трубопроводов системы ограничения и сброса давления должны соответствовать ГОСТ 32569—2013 (раздел 7).

8.3.5.3 Для изготовления трубопроводов и деталей трубопроводов системы ограничения и сброса давления следует применять основные материалы в соответствии с *ГОСТ 32569—2013 (пункт 7.1.6).*

8.3.6 **Требования к трубопроводной арматуре систем ограничения и сброса давления**

8.3.6.1 При включении арматуры в состав проектируемой системы ограничения и сброса давления необходимо:

- выбирать арматуру исходя из ее функционального назначения и показателей назначения;

- учитывать вероятность безотказной работы критически важной арматуры при оценке (анализе) риска системы.

8.3.6.2 Арматура должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.063, ГОСТ 31294, ГОСТ 32569—2013 (раздел 8).

8.3.6.3 Запорную арматуру с номинальным диаметром больше DN 400 требуется применять с редуктором или с приводом от внешнего источника энергии (электрическим, пневматическим, гидравлическим). Тип привода должен быть определен при проектировании.

Дистанционно управляемая арматура с электроприводом должна иметь дублирующее ручное управление. При выборе арматуры с электроприводом необходимо руководствоваться условиями безопасной работы с электрооборудованием и требованиями по взрывозащищенности.

В гидроприводе арматуры необходимо применять негорючие и незамерзающие жидкости, соответствующие условиям эксплуатации.

Быстродействующую арматуру с дистанционным приводом следует выбирать и применять в соответствии с требованиями безопасного ведения технологического процесса.

***8.3.7* Требования к размещению трубопроводов системы ограничения и сброса давления**

8.3.7.1 Компоновочные решения, принимаемые для систем ограничения и сброса давления, должны быть технологичны, эстетичны, обеспечивать работоспособность, надежность и безопасность их эксплуатации в течение проектного (расчетного) срока службы.

8.3.7.2 Прокладка трубопроводов систем ограничения и сброса давления должна обеспечить:

- возможность регулярного обслуживания технологического оборудования, находящегося в процессе эксплуатации;
- возможность использования предусмотренных проектом подъемно-транспортных средств и контроля за техническим состоянием трубопроводов;
- производство монтажных и ремонтных работ с применением средств механизации;
- выполнение всех видов работ по контролю, термической обработке сварных швов, испытанию, диагностированию;
- изоляцию, защиту трубопроводов от коррозии и статического электричества;
- предотвращение образования ледяных и других пробок в трубопроводе;
- наименьшую протяженность трубопроводов;
- исключение провисания и образования застойных зон;
- самокомпенсацию температурных деформаций трубопроводов за счет поворотов и изгибов трассы трубопроводов;
- беспрепятственное перемещение подъемных механизмов, оборудования и средств пожаротушения.

8.3.7.3 Трубопроводы систем ограничения и сброса давления необходимо прокладывать с уклонами, обеспечивающими их опорожнение при останове.

Уклоны трубопроводов систем ограничения и сброса давления следует принимать не менее:

- для легкоподвижных жидких веществ — 0,002;

- газообразных веществ по ходу среды — 0,002;

- газообразных веществ против хода среды — 0,003.

Для трубопроводов систем ограничения и сброса давления с высоковязкими и застывающими веществами величины уклонов необходимо определять исходя из конкретных свойств и особенностей веществ, протяженности трубопроводов и условий их прокладки (в пределах до 0,02).

Допускается прокладка трубопроводов систем ограничения и сброса давления с меньшим уклоном или без уклона при условии принятия технических решений для их опорожнения.

8.3.7.4 Расстояние между осями смежных трубопроводов систем ограничения и сброса давления и от трубопроводов *до корпусных конструкций МПС* как по горизонтали, так и по вертикали следует определять с учетом возможности сборки, ремонта, осмотра, нанесения изоляции, а также величины смещения трубопровода при температурных деформациях.

Расстояния между осями смежных трубопроводов и от металлических корпусных конструкций (переборок) в соответствии с ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.1).

Расстояние между нижней частью поверхности трубы или теплоизоляционной конструкцией и настилом палуб/платформ МПС должно быть не менее 100 мм.

8.3.7.5 В местах поворотов трассы трубопроводов систем ограничения и сброса давления необходимо учесть возможные перемещения, возникающие от изменения температуры стенок трубы, внутреннего давления и других нагрузок.

8.3.7.6 Проходы трубопроводов через металлические водогазонепроницаемые корпусные конструкции МПС необходимо выполнять путем установки в этих конструкциях вварных участков труб (стаканов). Проходы трубопроводов через металлические огнестойкие корпусные конструкции МПС следует выполнять через гильзы.

8.3.7.7 Гильзы не допускается использовать в качестве опор трубопровода систем ограничения и сброса давления.

Зазор между трубопроводом и гильзой (с обоих концов) заполняют негорючим материалом, допускающим перемещение трубопровода вдоль его продольной оси.

Конструкция гильз должна исключить проникновение взрывоопасных смесей в соседнюю зону или помещение.

Сварные соединения трубопроводов располагать внутри гильз не допускается.

8.3.7.8 Трубопроводы систем ограничения и сброса давления должны быть сварными и, как правило, без фланцевых или других разъемных соединений.

Применение фланцевых соединений допускается только в местах установки арматуры или подсоединения трубопроводов к оборудованию и на участках, где требуется периодическая разборка трубопроводов для проведения очистки и ремонта.

Фланцевые соединения следует размещать в местах, открытых и доступных для визуального наблюдения, обслуживания, разборки, ремонта и монтажа.

Фланцевые соединения трубопроводов с ГГ, ЛВЖ и ГЖ не допускается располагать над местами, предназначенными для прохода людей, и рабочими площадками.

8.3.7.9 При прокладке трубопроводов систем ограничения и сброса давления со взрывоопасными средами трубы с ЛВЖ должны быть расположены ниже труб с газом.

8.3.7.10 Прокладка трубопроводов систем ограничения и сброса давления с ГГ, ЛВЖ и ГЖ через жилые, административно-бытовые и служебные помещения, посты управления, а также через воздуховоды и вентиляционные шахты МПС не допускается.

8.3.7.11 Трубопроводы систем ограничения и сброса давления не должны перекрывать проходы, лазы, горловины, сточные осушительные колодцы и шпигаты.

8.3.7.12 Расположение трубопроводов систем ограничения и сброса давления должно обеспечивать удобство обслуживания арматуры и ремонта трубопроводов при минимальном количестве демонтируемых труб и элементов.

8.3.7.13 При проектировании трубопроводов систем ограничения и сброса давления, прокладываемых на переходных мостах между отдельными МПС (в составе объектов обустройства месторождения), необходимо учесть взаимные перемещения этих сооружений. После определения максимальных перемещений проектирование трубопроводов систем ограничения и сброса давления следует осуществлять с учетом компенсации таких перемещений.

***8.3.8* Требования к размещению трубопроводной арматуры систем ограничения и сброса давления**

8.3.8.1 Запорную арматуру с дистанционным управлением и ручным дублированием необходимо устанавливать на трубопроводах систем ограничения и сброса давления с ЛВЖ и ГЖ номинальным диаметром DN 400 и более.

8.3.8.2 Запорная арматура с ручным приводом номинальным диаметром более DN 500 на номинальные давления менее PN 16 включительно и номинальным диаметром более DN 350 на номинальные давления более PN 16 должна быть оборудована обводной (байпасной) линией для выравнивания давления по обе стороны запорного органа.

Номинальный диаметр DN обводной линии запорной арматуры определяют по ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.3).

8.3.8.3 Регулирующие клапаны, обеспечивающие параметры непрерывного технологического процесса, оборудуют обводной (байпасной) линией с запорной арматурой. При невозможности по условиям безопасности обеспечения регулирования технологического процесса в ручном режиме обводные линии оборудуют регулирующим клапаном.

8.3.8.4 Установка арматуры трубопроводов систем ограничения и сброса давления должна соответствовать требованиям технических условий на изготовление арматуры и ее эксплуатационной документации.

8.3.8.5 На трубопроводах систем ограничения и сброса давления, транспортирующих токсичные и взрывопожароопасные рабочие среды в емкостное оборудование, работающее под давлением, устанавливают обратные клапаны для предотвращения движения рабочих сред обратным потоком.

Последовательность установки обратного клапана и запорной арматуры и их количество должны обеспечить проведение внеочередных ревизий обратных клапанов без останова технологического процесса.

8.3.8.6 Для отключения оборудования систем ограничения и сброса давления с номинальным давлением PN 40 и выше на трубопроводах систем ограничения и сброса давления, транспортирующих рабочие среды токсичного действия, ГГ и ЛВЖ, устанавливают две единицы запорной арматуры с дренажной арматурой между ними номинальным диаметром DN 25, соединенной с атмосферой. На дренажной арматуре необходимо установить заглушки.

8.3.8.7 На трубопроводах систем ограничения и сброса давления, транспортирующих рабочие среды токсичного действия, ГГ и ЛВЖ с номинальным давлением менее PN 40, а также ГЖ, трудногорючие (ТГ) и негорючие (НГ) рабочие среды вне зависимости от давления, требуется установить одну единицу запорной арматуры и дренажную арматуру с заглушкой.

8.3.8.8 Арматуру следует устанавливать в местах с условиями, оптимальными для ее обслуживания при эксплуатации и ремонте, в том числе необходимо обеспечить расположение ручного привода арматуры на высоте не более 1,8 м относительно уровня настила палубы/платформы МПС, с которой производят управление арматурой, при частом использовании арматуры на высоте не более 1,6 м.

При необходимости расположения ручного привода арматуры на высоте большей, чем 1,8 м (1,6 м), следует устанавливать стационарные или переносные площадки обслуживания и лестницы.

***8.3.9* Требования к опорам и подвескам трубопроводов систем ограничения и сброса давления**

8.3.9.1 Конструкция и расположение опор и подвесок трубопроводов систем ограничения и сброса давления определяют в проектной документации.

Конструктивное исполнение опор и подвесок трубопроводов должно отвечать требованиям НД. При отсутствии необходимых по техническим параметрам стандартных опор и подвесок необходимо разработать их конструкцию.

Конструкция опор и подвесок трубопроводов должна обеспечить их крепление к металлоконструкциям МПС путем приварки.

8.3.9.2 Опоры и подвески должны быть рассчитаны на вертикальные нагрузки от массы трубопровода системы ограничения и сброса давления с транспортируемой средой (или водой при гидроиспытании), изоляции, льда (при возможном обледенении), а также нагрузки, возникающие при термическом расширении трубопровода, вибрации, землетрясении, волнении моря и т. д.

8.3.9.3 Расстояние от опор и подвесок до сварных швов трубопровода системы ограничения и сброса давления определяют в соответствии с ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.4).

8.3.9.4 Выбор материалов опор и подвесок трубопроводов систем ограничения и сброса давления осуществляют в соответствии с ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.4).

8.3.9.5 Опоры и подвески трубопроводов систем ограничения и сброса давления должны быть расположены по возможности ближе к арматуре, фланцам, тройникам и местам сосредоточения нагрузок, а также к местам поворотов трубопроводов.

Расположение опор и подвесок должно исключить возможность опрокидывания и разворота трубопроводов.

8.3.9.6 Выбор принятых конструктивных решений по трассировке трубопроводов систем ограничения и сброса давления, выбору типов и мест установки опор подтверждают расчетами на соответствие требованиям НД.

8.3.9.7 Для трубопроводов систем ограничения и сброса давления, подверженных вибрации, необходимо применять опоры с хомутом.

8.3.9.8 Подвески для трубопроводов подверженных вибрации допускается применять в качестве дополнительного способа крепления.

8.3.9.9 Для трубопроводов систем ограничения и сброса давления, транспортирующих сероводородсодержащие среды, следует применять подвижные и неподвижные опоры с хомутом.

8.3.9.10 Сварные соединения деталей опор с трубопроводом системы ограничения и сброса давления подвергают термической обработке.

8.3.9.11 Температурные деформации трубопроводов систем ограничения и сброса давления необходимо компенсировать за счет поворотов и изгибов трассы трубопроводов.

В случае невозможности ограничиться самокомпенсацией (например, на прямых участках значительной протяженности) на трубопроводах следует устанавливать П-образные компенсаторы или механические компенсаторы линейных расширений.

Технические требования к П-образным компенсаторам и их установке приведены в ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.6).

8.3.9.12 Для трубопроводов систем ограничения и сброса давления, которые в процессе эксплуатации подвергаются вибрации, должны быть разработаны технические решения по снижению вибрации.

Способы снижения и допустимые уровни вибрации трубопроводов, методы и средства ее контроля приведены в ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.7).

8.3.9.13 Требования к тепловой изоляции, обогреву трубопроводов систем ограничения и сброса давления приведены в ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.8).

8.3.9.14 Защиту от коррозии внутренней поверхности трубопроводов систем ограничения и сброса давления необходимо обеспечить исходя из химических и физических свойств рабочих сред, конструкции и материалов трубопроводов систем ограничения и сброса давления, условий эксплуатации и других факторов.

Выбор вида и системы защиты от коррозии наружной поверхности трубопроводов требуется выполнять в зависимости от способа и условий их прокладки, характера и коррозионной активности внешней среды, опасности электрокоррозии, вида и параметров транспортируемых рабочих сред.

Защита от коррозии трубопроводов производится согласно ГОСТ 32569—2013 (подраздел 10.9).

8.3.9.15 Требования к опознавательной окраске и маркировочным надписям на наружной поверхности трубопроводов систем ограничения и сброса давления, для изолированных трубопроводов — на наружной поверхности изоляции, приведены в ГОСТ 14202.

8.3.9.16 Трубопроводы систем ограничения и сброса давления должны быть защищены от статического электричества. Защиту трубопроводов от статического электричества выполняют в соответствии с НД.

Узлы заземления трубопроводов следует устанавливать не реже, чем через каждые 10 м по длине трубопровода.

8.3.9.17 Для трубопроводов систем ограничения и сброса давления сварочные материалы, типы сварных соединений и способы сварки в зависимости от свариваемого материала, диаметров и толщин стенок труб, а также конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварных швов выполняют согласно ГОСТ 32569—2013 (подраздел 12.1).

8.3.9.18 Термическую обработку сварных соединений трубопроводов систем ограничения и сброса давления осуществляют в соответствии с ГОСТ 32569—2013 (подраздел 12.2).

8.3.9.19 Контроль качества сварных соединений трубопровода системы ограничения и сброса давления проводят по ГОСТ 32569—2013 (подраздел 12.3) по категориям трубопровода в соответствии с 8.3.3.4.

8.3.9.20 Трубопроводы систем ограничения и сброса давления после окончания монтажных и сварочных работ, термической обработки (при необходимости) сварных швов, контроля качества сварных соединений неразрушающими методами, установки и окончательного крепления на опорах и подвесках требуется испытать на прочность и плотность и при необходимости подвергнуть дополнительным испытаниям на герметичность с определением падения давления.

Вид испытания (на прочность и плотность, дополнительное испытание на герметичность), способ испытания (гидравлический, пневматический) и величину испытательного давления трубопроводов систем ограничения и сброса давления определяют в соответствии с ГОСТ 32569—2013 (раздел 13).

***8.3.10* Дополнительные требования при проектировании впускных трубопроводов устройств сброса давления**

8.3.10.1 Впускной трубопровод устройства сброса давления со всеми фитингами и арматурой должен обеспечить проход потока среды от выпускного патрубка сосуда до впускного фланца устройства сброса давления.

При определении требуемой площади проходного сечения впускного трубопровода необходимо учитывать уменьшение его пропускной способности, связанное с установкой на впускном трубопроводе, устройств сброса давления, запорной арматуры и/или других элементов.

Впускной трубопровод устройства сброса давления должен быть минимальной длины, иметь минимальное число поворотов и разъемных соединений, быть самодренируемым.

Конструкция впускного трубопровода устройства сброса давления должна минимизировать вибрацию и исключить возникновение резонансных явлений.

8.3.10.2 Для управляемых клапанов сброса давления необходимо определить оптимальное расположение точек отбора давления с целью обеспечения точности измерения управляющего сигнала для обеспечения устойчивой работы клапана в условиях падения давления потока среды на его входе.

8.3.10.3 При расчете величины падения давления на входе в клапан сброса давления необходимо учитывать величину падения давления через МПУ (при наличии).

8.3.10.4 Устройство сброса давления устанавливают на минимально возможном расстоянии к источнику давления.

8.3.10.5 При проектировании впускного трубопровода устройства сброса давления дополнительно к основным нагрузкам, связанным с прохождением потока рабочей среды, необходимо учитывать действие тепловых нагрузок, реактивных сил, возникающих вследствие срабатывания клапанов сброса давления, вибрацию, собственную массу трубопровода, а также внешних нагрузок, возникающих при землетрясении, волнении моря и т. д.

8.3.10.6 Следует учитывать, что прочность впускного трубопровода меньше, чем прочность клапана сброса давления. Моменты, созданные нагрузками, приложенными к выпускному фланцу и реактивной силой сбрасываемых веществ, передаются изгибающими напряжениями и крутящими усилиями на впускной трубопровод.

***8.3.11* Дополнительные требования при проектировании выпускных трубопроводов устройств сброса давления**

8.3.11.1 Следует считать, что основным критерием для определения параметров выпускных трубопроводов устройств сброса давления и выпускного коллектора является то, что противодавление (которое может присутствовать или создаваться в любой точке системы) не должно снижать пропускную способность устройств сброса давления до величины, меньшей, чем объем сбрасываемой среды, который необходим для защиты сосудов от превышения давления.

8.3.11.2 Следует определить воздействие статического или динамического противодавления на эксплуатационные характеристики клапанов сброса давления.

8.3.11.3 При проектировании системы выпускных трубопроводов важно обеспечить, чтобы рост противодавления, вызванный проходом потока среды через рассматриваемый клапан сброса давления, не приводил к уменьшению пропускной способности до меньшего значения, чем требуется для другого клапана сброса давления, одновременно сбрасывающего давление.

8.3.11.4 В случае применения клапанов сброса давления прямого действия, систему выпускного коллектора следует рассчитывать таким образом, чтобы ограничивать рост противодавления не более чем на 10 % от давления настройки каждого клапана сброса давления, сбрасывающего давление. На давление настройки клапана сброса давления дополнительно воздействует противодавление от других клапанов сброса давления.

8.3.11.5 В случае применения уравновешенных клапанов сброса давления (сильфонных, поршневых или управляемых) допускается возникновение давления больших значений в выпускном коллекторе. Необходимо учитывать, что пропускная способность уравновешенных клапанов сброса давления начинает уменьшаться при достижении противодавлением уровня от 30 % до 50 % от давления настройки, что связано с дозвуковой скоростью потока и/или реакцией на высокое противодавление.

8.3.11.6 При расчете выпускных коллекторов следует определить связанную со сбросом давления нештатную ситуацию, которая вызывает максимальный рост противодавления.

Следует учитывать, что единичная нештатная ситуация со сбросом давления может оказывать влияние на несколько устройств сброса давления.

К нештатным ситуациям, связанным со сбросом давления, возможность возникновения которых необходимо учитывать, относят отказ в системе охлаждения, отказ в системе энергоснабжения и нарушение подачи воздуха КИПиА.

8.3.11.7 При проектировании опор и узлов крепления выпускных трубопроводов следует учитывать изменения расхода и температуры при сбросе потока, которые могут приводить к возникновению реактивных сил, особенно при наличии в системе жидкости.

8.3.11.8 Для определения диаметров выпускных трубопроводов в дополнение к критерию учета противодавления необходимо определить величины расхода сбросного потока.

8.3.11.9 Проектирование выпускных трубопроводов от отдельных клапанов сброса давления выполняют на основании их номинальной пропускной способности (см. таблицу *14*).

8.3.11.10 Выпускной трубопровод от управляемого регулирующего клапана сброса давления должен обеспечить требуемую скорость сброса при возникновении нештатной ситуации. При условии изменения технологического процесса, в результате чего требуемая скорость сброса будет больше

скорости сброса принятой при исходном проектировании, выполняют проверочный расчет выпускного трубопровода от управляемого регулирующего клапана сброса давления.

8.3.11.11 Максимальную скорость в выпускном трубопроводе следует рассчитывать с одним источником (с устройством сброса давления), так как только через один источник рабочая среда поступает в систему ограничения и сброса давления. Вследствие падения давления в выпускном трубопроводе максимальную скорость потока определяют в торцевой оконечности трубопровода каждого диаметра (в случае если диаметр трубопровода изменяется).

8.3.11.12 Системы общих выпускных коллекторов в установках с несколькими устройствами сброса давления, как правило, следует рассчитывать для наихудшего случая, при котором для расчета принимают суммарные требуемые пропускные способности (вместо номинальных пропускных способностей) всех устройств сброса давления, через которые рабочие среды могут одновременно удаляться в случае превышения давления.

Причины превышения давления приведены в разделе *5*.

Требуемая пропускная способность при сбросе давления для различных сценариев приведена в разделе *6*.

В случае если условия технологического процесса изменяются и требуют обеспечения большей требуемой суммарной пропускной способности от исходного расчетного значения, требуется повторно произвести расчет системы с общим выпускным коллектором.

8.3.11.13 При проектировании систем ограничения и сброса давления паров необходимо учитывать следующие ограничения по высокому противодавлению в дополнение к приведенным выше:

- номинальные давления фитингов, подвергающихся действию противодавления, не должны быть превышены;
- любой источник, который может снижать давление до приемлемой величины, одновременно должен обеспечивать сброс в выпускной коллектор при открытии клапана сброса давления;
- не допускается образование обратного потока от выпускного коллектора в любой связанный с этим коллектором технологический процесс.

8.3.11.14 Выбор диаметра выпускного трубопровода необходимо определять расчетами, связанными с параметрами потока флюидов, после определения требования к максимальному сбросу паров, а также определению максимально допустимого противодавления. При известных параметрах потока для определения диаметра выпускных трубопроводов можно использовать несколько методов, которые варьируются от рассмотрения изотермического потока до решений, связанных с адиабатическим подходом.

8.3.11.15 Следует считать, что поток паров в трубопроводах для отвода среды, сбрасываемой для снижения давления, характеризуется изменениями плотности и скорости, следовательно, поток необходимо классифицировать как сжимаемый.

На основе уравнений изотермического или адиабатического процесса разработано несколько методов определения диаметра выпускного трубопровода. Реальные условия потока в системах сброса давления находятся между изотермическим режимом и адиабатическим режимом.

Для большинства случаев следует использовать уравнения для изотермического процесса, при этом уравнения для адиабатического процесса, как правило, используют для других, менее распространенных, случаев применения (например, для низкотемпературных условий).

Диаметры трубопроводов для отвода среды рекомендуется задавать следующим образом, начав расчет у выпускного отверстия системы, где давление известно, и пересчитать всю систему в обратном направлении для перепроверки приемлемого противодавления на каждом устройстве сброса давления. Расчеты выполняют поэтапно для каждого участка трубопровода с постоянным диаметром. Изотермический процесс на основе числа Маха на входе описывают по формуле

$$\frac{f \cdot l}{d} = \frac{1}{Ma_1^2}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2\right] - \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2. \qquad (23)$$

Формула (*23*) может быть преобразована в формулу (*24*) для числа Маха на выходе

$$\frac{f \cdot l}{d} = \frac{1}{Ma_2^2}\left[\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2\right] - \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^2, \qquad (24)$$

где f — величина трения Муди, безразмерная величина;

l — эквивалентная длина трубы, м;

d — внутренний диаметр трубы, м;

Ma_1 — число Маха на входе в трубу;

Ma_2 — число Маха на выходе из трубы;

p_1 — абсолютное давление на входе в трубу, кПа;

p_2 — абсолютное давление на выходе из трубы, кПа.

Изотермическое число Маха на выходе из трубы определяют по формуле

$$Ma_2 = 3{,}23 \cdot 10^{-5} \left(\frac{q_m}{p_2 \cdot d^2} \right) \left[\frac{Z \cdot T}{M} \right]^{0{,}5}, \quad (25)$$

где q_m — массовый расход газа, кг/ч;

Z — коэффициент сжимаемости газа;

T — абсолютная температура, К;

M — относительная молекулярная масса газа.

На рисунке *7* приведено типовое графическое представление формулы (*23*). Рисунок *7* можно использовать для вычисления давления на входе p_1 применительно к участку линии с постоянным диаметром, в котором известно давление на выходе. Если система ограничения и сброса давления должна эксплуатироваться при высоком давлении, в некоторых частях системы поток может достичь скорости звука. В таких случаях следует провести проверку на предмет того, является ли поток критическим. Критическое давление на выходе из трубы может быть определено путем задания Ma_2 = 1,0 (поток на скорости звука) по формуле

$$P_{crit} = 3{,}23 \cdot 10^{-5} \left(\frac{q_m}{d^2} \right) \left[\frac{Z \cdot T}{M} \right]^{0{,}5}, \quad (26)$$

где P_{crit} — критическое абсолютное давление, кПа.

Если критическое давление меньше, чем давление на выходе из трубы то поток является дозвуковым. Если критическое давление больше, чем давление на выходе из трубы, то поток является сверхзвуковым и Ma_2 = 1. Поэтому давление на входе в трубу p_1 вычисляется из формулы (*23*) с p_2, равным критическому давлению.

8.3.11.16 Метод для определения диаметров линий сброса давления, использующий теоретический критический массовый расход, основанный на понятии идеального сопла и условиях адиабатического потока, а также предположении, что давление низкоскоростного источника, расположенного выше клапана по технологической схеме, известно.

Критический массовый расход для условий изотермического потока (т. е. где для пара $k = C_p/C_v$ = = 1,00 определяют по формуле

$$G_{ci} = 6{,}7 p_1 \left(\frac{M}{Z \cdot T_1} \right)^{0{,}5}, \quad (27)$$

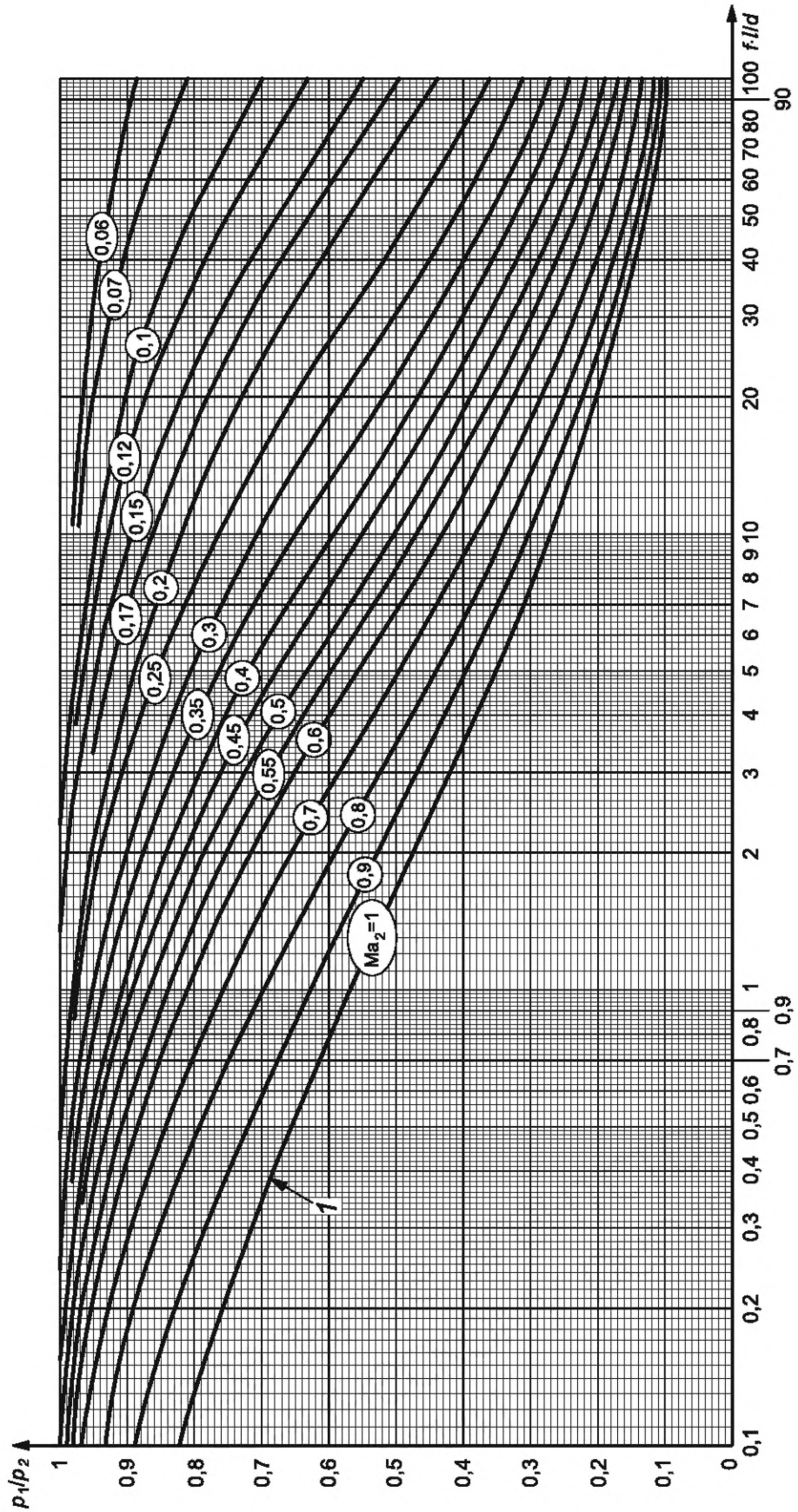
где G_{ci} — критический массовый расход, кг/с·м^2;

p_1 — абсолютное давление в источнике перед клапаном выше по технологической схеме, в котором среда проходит с низкой скоростью (см. рисунок *13*), кПа;

M — относительная молекулярная масса паров;

T_1 — температура перед клапаном выше по технологической цепочке, К;

Z — коэффициент сжимаемости.



1 — линия критического потока; p_1 — абсолютное давление на входе в трубу, кПа; p_2 — абсолютное давление на выходе из трубы, кПа; f — величина трения Муди, безразмерная величина; d — внутренний диаметр трубы, м; Ma_2 — число Маха на выходе из трубы

Рисунок 7 — Схема изотермического потока

Коэффициент сжимаемости следует принимать при условиях потока и, следовательно, он изменяется по мере того, как флюид перемещается по трубопроводу с падением давления, возникающим в результате этого процесса. Для учета этих изменений используют поэтапный расчет. Использование данного метода, как правило, позволяет получить точные результаты расчета для участков трубопроводов большой протяженности, применяя осредненный коэффициент сжимаемости для этих участков. В независимости от того, какая формула используется, фактический массовый расход G зависит от критического массового потока G_{Ci}, сопротивления трению N и отношения давлений за/перед элементом. Эти зависимости отображаются в виде графика на рисунке *8*. В области ниже диагональной линии на рисунке *8*, коэффициент G/G_{Ci} остается постоянным, что указывает на то, что был установлен поток со звуковой скоростью. Суммарное сопротивление трению для совместного использования с диаграммой выражается уравнением

$$N = \frac{f \cdot l}{d} + \sum K_i, \qquad (28)$$

где N — коэффициент сопротивления трению для трубопровода, безразмерная величина;

f — коэффициент трения Муди, безразмерная величина;

l — фактическая длина трубопровода, м;

d — диаметр трубопровода, м;

K_i — коэффициенты сопротивления фитингов (см. таблицы *15* и *16*), безразмерная величина.

При использовании коэффициента трения Фэннинга формула (*28*) принимает вид

$$N = 4\frac{f \cdot l}{d}.$$

В указанных методах принимается допущение, что в трубопроводе не существует расширений или сужений, а также не происходит изменение числа Маха при изменении проходного сечения трубопровода.

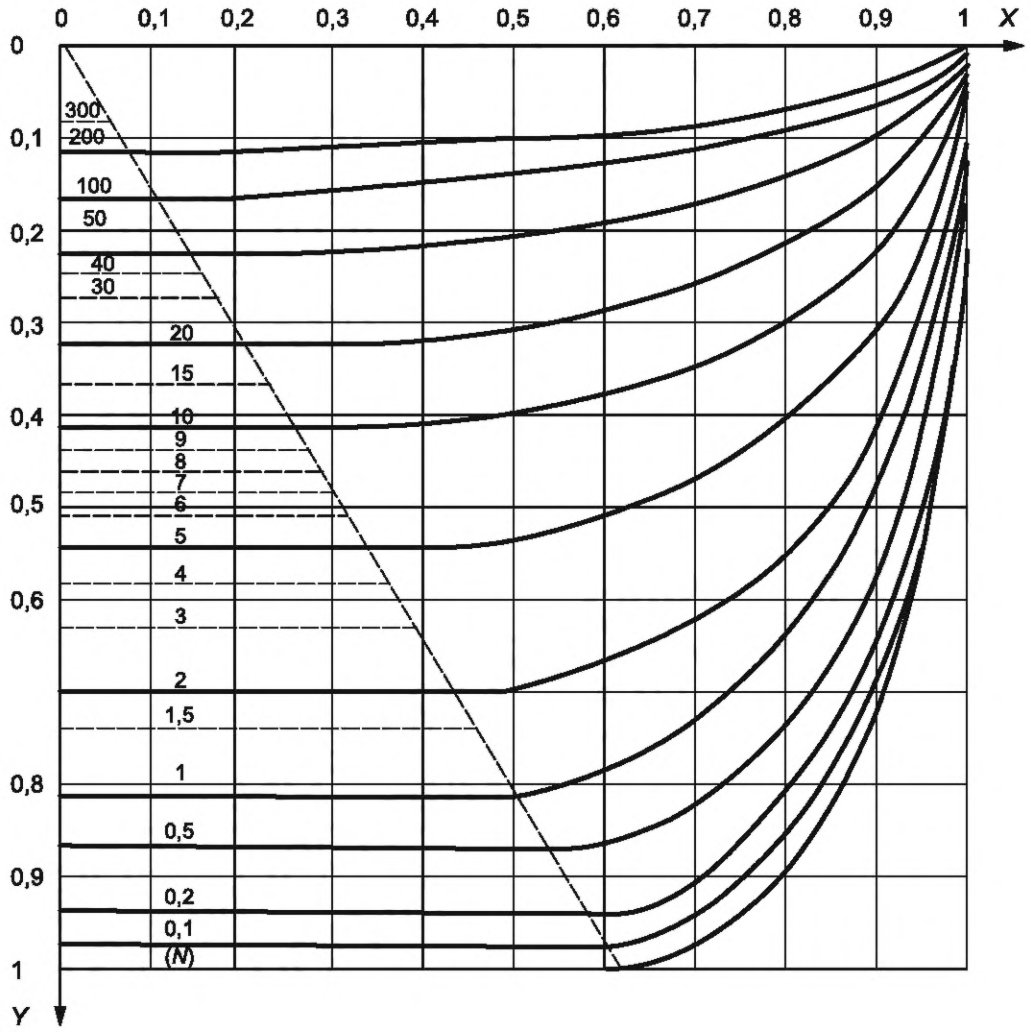
В большинстве систем ограничения и сброса давления проходящие по ним газы не являются идеальными. Для реальных газов отклонения от идеального газа выражаются через коэффициенты сжимаемости, которые в свою очередь связаны с приведенным давлением и приведенной температурой. Для углеводородных газов коэффициент сжимаемости составляет менее 1,0, если приведенная температура не превышает 2,0 и приведенное давление не превышает приблизительно 6,0. Так как большинство систем ограничения и сброса давления с устройствами сброса давления подпадают под такие ограничения, сжимаемость газов обычно составляет менее 1,0. Пока сжимаемость меньше, чем 1,0, падение давления рассчитанное для идеального газа, будет больше, чем падение давления, рассчитанное для такого же газа с учетом коэффициента сжимаемости.

Для большинства случаев падения давления, которые рассчитывают на основе принятого допущения о том, что идеальные газы находятся в условиях изотермического потока, превышают те падения давления, которые рассчитывают при помощи более точных методик. При проектировании системы ограничения и сброса давления, как правило, для определения параметров трубопровода применяют методику, основанную на потоках идеального газа при изотермических условиях. При этом для процессов, характеризующихся высоким давлением или высокой либо низкой температурой, следует учитывать их возможное воздействие, приводящее к отклонению характеристик, принимаемых для потока идеального газа.

При необходимости выполнения более точного расчета падения давления, в том числе включающего воздействие неидеальных сред, как правило, требуется применять последовательный или поэтапный подход. Следует также отметить, что для идеальных газов отношение удельных теплоемкостей равно показателю адиабаты и не зависит от давления. Для неидеальных газов это является приближенным значением. Точные расчеты падения давления следует основывать на использовании показателя адиабаты реального газа, с учетом ее зависимости от давления.

В любом методе расчета важно предусматривать, чтобы в суммарное сопротивление трению были включены длина трубопровода и эквивалентная длина всех фитингов, клапанов, потери при расширении и сужении трубопровода, а также другие сопротивления потоку. Сопротивление трения фитингов и некоторых других элементов в системе трубопроводов можно также выражать через коэффициенты. В таблицах *15* и *16* приведены типовые коэффициенты для трубопроводных фитингов и переходов (расширения и сужения).

Коэффициент трения *f* вводится во все расчеты падения давления. При высоких скоростях потока газов, которые обычно доминируют при проектировании систем ограничения и сброса давления, коэффициент трения приближается к постоянной величине, которая зависит только от диаметра трубопровода и шероховатости внутренней поверхности трубы.



X — p_3/p_1 (p_2/p_1 применять только для участков выше диагональной пунктирной линии); где p_3 — давление в емкости, в которую производится сброс из трубопровода (101 кПа — при выбросе в атмосферу), кПа; p_1 — давление у источника с низкой пропускной способностью выше по технологической схеме, кПа; p_2 — давление в трубопроводе на выходе или в любой точке на расстоянии *L* ниже по технологической схеме от источника, кПа;

$$Y - G/G_{ci}.$$

Примечание 1 — Формула (27) основана на адиабатическом потоке и *k*-значении пара (определяется отношением (G_p/G_v), приближающемся к 1,00. Для адиабатического потока и с паром k = 1,40, критический массовый расход на 12,9 % выше, чем аналогичный массовый расход, определенный по формуле (*27*).

Примечание 2 — Площадь ниже диагональной пунктирной линии представляет собой поток со звуковой скоростью.

Рисунок *8* — Адиабатический поток сжимаемых флюидов с k = 1,00 (т. е. изотермический поток) через трубы при падении высоких давлений

Для рисунка *8* используется следующая последовательность действий:

a) определяют *N* (количество величин скоростного напора) по формуле (*28*);

b) определяют p_3/p_1 или p_2/p_1;

c) определяют G_{ci} по формуле (*27*);

d) зная значение *N*, а также p_3/p_1 или p_2/p_1, получают G/G_{ci} из рисунка *8*;

e) определяют G, кг/с·м^2;

f) определяют фактический расход W, кг/с, по формуле

$$W = G \cdot A_p,$$

где A_p — площадь поперечного сечения трубы, м^2.

Таблица *15* — Типовые *K*-коэффициенты для фитингов трубопроводов

Фитинг	*K*	Фитинг	*K*
Запорный клапан, открытый	9,7	Отвод 90° из двух сегментов	0,59
Типовой клапан сброса давления, открытый	8,5	Резьбовой тройник (поток через основную линию)	0,50
Угловой клапан, открытый	4,6	Изготовленный тройник (поток через основную линию)	0,50
Обратный поворотный клапан, открытый	2,3	Врезка ответвления (поток через основную линию)	0,50
Отвод 180° с закрытой резьбой	1,95	Отвод 90° из трех секторов	0,46
Резьбовой или изготовленный тройник (поток поворачивает в ответвление)	1,72	Отвод 45° из одного сегмента	0,46
Отвод 90° из одного сегмента	1,72	Приварной отвод 180°	0,43
Сварной тройник (поток поворачивает в ответвление)	1,37	Отвод 45° с резьбой	0,43
Отвод 90° со стандартной резьбой	0,93	Приварной тройник (поток через основную линию)	0,38
Отвод 60° из одного сегмента	0,93	Приварной отвод 90°	0,32
Боковое ответвление 45° (поток поворачивает в ответвление)	0,76	Приварной отвод 45°	0,21
Плавно закругленный отвод 90°	0,59	Задвижка, открытая	0,21
Предохранительная мембрана МПУ, докритический поток	1,5		
Примечание — *K* может изменяться в зависимости от номинального диаметра трубопровода. Значения, приведенные выше, являются типовыми.			

Таблица *16* — Типовые коэффициенты для переходов (сужение и расширение)

Сужение или расширение	*K* — коэффициенты для различных значений d/d'[a]				
	0	0,2	0,4	0,6	0,8
Сужение (стандартное)	—	—	0,21	0,135	0,039
Сужение (резкое)	0,5	0,46	0,38	0,29	0,12
Расширение (стандартное)	—	—	0,90	0,50	0,11
Расширение (резкое)	1,0	0,95	0,74	0,41	0,11
[a] d — внутренний диаметр узкого торца перехода; d' — внутренний диаметр широкого торца перехода.					

В качестве предварительного рассмотрения, как правило, необходимо принять коэффициенты или эквивалентную длину фитингов, компенсаторы расширений и т. д. С учетом фактического расположения данные элементы могут добавить условную длину трубопровода, эквивалентную 100 % или более физической длины трубы.

При достижении на протяженных участках трубопровода газовым потоком скорости, соответствующей пределу критического потока, как правило, считают экономически выгодным увеличение диаметра данного участка трубопровода поэтапно или постепенно по нарастающей. В целом требуется выполнить расчет падения давления для каждого участка трубопровода одного диаметра. Параметры

проходного сечения трубопровода, непосредственно соединенного с устройством сброса давления, должны быть не меньше, чем параметры проходного сечения выпускного фланца.

8.3.11.17 Для системы, транспортирующей флюиды смешанной фазы (пар, а также быстро вскипающие жидкости или не вскипающие жидкости), определение размеров трубопроводов следует выполнять методом, основанным на принимаемом допущении о гомогенном равновесном потоке, т. е. имеющем одинаковую скорость и одинаковую температуру как в фазе жидкости, так и в фазе паров. В случае единого диаметра в горизонтальном трубопроводе соотношения сжимаемого потока, приведенные в формуле (*29*), могут быть использованы для определения падения давления в системах с многофазным потоком

$$\frac{C_1 \cdot f \cdot l}{d} = \frac{C_2 \cdot p_R \cdot \rho_R}{G^2}\left\{\frac{\eta_1 - \eta_2}{1-\omega} - \frac{\omega}{(1-\omega)^2}\ln\left[\frac{(1-\omega)\eta_1 + \omega}{(1-\omega)\eta_2 + \omega}\right]\right\} + \ln\left[\frac{(1-\omega)\eta_1 + \omega}{(1-\omega)\eta_2 + \omega}\left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)\right], \quad (29)$$

где l — суммарная эквивалентная длина трубопровода, имеющего диаметр d (включая фитинги), м;

d — внутренний диаметр трубопровода, мм;

f — коэффициент трения Фэннинга, принимаемый постоянным по всей длине трубопровода;

p_R — абсолютное давление при нормальных условиях, кПа;

ρ_R — плотность при нормальных условиях, кг/м^3;

G — массовый расход в трубопроводе, кг/чс · мм^2. Для выпускных трубопроводов, идущих от клапанов сброса давления, G определяют как отношение пропускной способности клапана сброса давления к площади поперечного сечения трубопровода. Для коллекторов G определяют как отношение требуемой нагрузки от потока сброса к площади поперечного сечения трубопровода;

η_1 — p_1/ρ_R, безразмерная величина;

η_2 — p_2/ρ_R, безразмерная величина;

p_1 — абсолютное давление на входе в трубопровод, кПа;

p_2 — абсолютное давление на выходе из трубопровода, кПа;

ω — коррелирующий параметр [см. формулу (*31*)];

C_1 — постоянная величина, равная 2000;

C_2 — постоянная величина, равная 0,01296.

Как и в случае с газами давление на выходе из трубопровода p_2 зависит от того, дросселируется или нет поток на выходе из трубы. Давление на выходе из трубопровода p_2, имеющего постоянный диаметр, больше давления на выходе из дросселируемого трубопровода и критического давления при дросселировании, определяемого по формуле

$$p_c = C_3 \cdot G\sqrt{\frac{\omega \cdot p_R}{\rho_R}}, \quad (30)$$

где p_c — абсолютное критическое давление дросселирования, кПа;

C_3 — постоянная величина, равная 8,784.

Определение других символов (величин) является таким же, как и для формулы (*29*).

Если давление на выходе из трубы (например, атмосферное давление или другое известное давление) меньше, чем p_c, тогда поток дросселируется. В этом случае следует заменить p_2 на p_c при определении величины η_2, используемой в формуле (*29*). В противном случае поток не дросселируется, и давление на выходе трубы следует использовать как p_2 в формуле (*29*).

Ниже приведена методика выбора условий для расчета параметра ω, необходимого для применения в формулах (*29*) и (*30*).

Этап 1. Выполняют изоэнтальпийное дросселирование, начав с условий сброса давления до максимального ожидаемого противодавления p_B. Как правило, включая сброс давления многофазного потока, потребуется установка уравновешенного сильфонного клапана сброса давления или управляемого клапана сброса давления, поэтому для первого приближения принимают значение p_B от 30 % до 50 % от давления настройки клапана сброса давления. Принимают допущение, что это давление будет новым принятым давлением ρ_R, после чего определяют плотность многофазной смеси. Данное значение плотности является новой принимаемой плотностью ρ_R.

Этап 2. Выполняют изоэнтальпийное дросселирование на основе условий сброса давления до 50 % от принятого давления p_R на этапе 1 или атмосферного давления в зависимости от того, какое из них больше. Назначают этому давлению обозначение p и плотность многофазной смеси при этом давлении ρ.

Этап 3. Далее следует определить значения ω по формуле

$$\omega = \frac{(\rho_R/\rho)-1}{(p_R/p)-1} = \frac{(v/v_R)-1}{(p_R/p)-1}, \quad (31)$$

где v — удельный объем, м^3/кг;

v_R — удельный объем при принятом допущении, м^3/кг.

Этап 4. Если наблюдается большое падение давления, следует повторить этапы 2 и 3 для получения дополнительных значений ω. Используют значения ω, p_R и ρ_R, которые наиболее близко соответствуют рассчитанным давлениям на каждом участке трубопровода.

Формулы (*29*), (*30*) и (*31*) используют для расчета давления выше по технологической схеме (т. е. давление на входе p_1) или максимальной эквивалентной длины трубопровода, допустимой для конкретного устройства сброса давления. Если применяют формулы для определения давления выше по технологической схеме, тогда:

a) определяют ω, используя формулу (*31*) и поэтапные руководящие указания, приведенные выше;

b) определяют G и критическое давление p_c, используя формулу (*30*);

c) если p_c превышает давление на выходе p_2, тогда принимают допущение, что $p_2 = p_c$; в противном случае используют p_2 непосредственно в формуле (*29*).

Далее $\eta_2 = p_2/p_R$;

d) необходимо определить коэффициент трения Фэннинга;

e) необходимо решить уравнение (*29*) методом подбора η_1, тогда $p_1 = (\eta_1 \cdot p_R)$;

f) определяют подходит ли выбранное устройство сброса давления для рассчитанного p_1.

При использовании уравнения для определения максимальной допустимой эквивалентной длины трубопровода для определенного типа клапана сброса давления, следует:

a) рассчитать максимальное допустимое противодавление для определенного типа клапана сброса давления [например, 10 % от давления настройки для клапана сброса давления прямого действия, 30 % от давления настройки для большинства уравновешенных сильфонных клапанов сброса давления (без снижения номинальных характеристик)], 50 % от давления настройки для клапанов, работающих от исполнительного механизма (без снижения номинальных характеристик). Задают уставку для данного противодавления, равного p_1;

b) определить ω, используя формулу (*31*) и поэтапные руководящие указания, приведенные выше:

c) определить G и критическое давление p_c, используя формулу (*30*);

d) если p_c превышает давление на выходе p_2, принять, что $p_2 = p_c$, или использовать p_2 непосредственно в формуле (*29*). Тогда $\eta_2 = p_2/p_R$;

e) определить коэффициент трения Фэннинга;

f) решить уравнение (*29*) непосредственно для l.

8.3.11.18 При проектировании механической части системы ограничения и сброса давления следует выполнять требования, соответствующие требованиям проектирования систем трубопроводов, по которым перемещаются технологические флюиды. При этом в ходе проектирования выпускных трубопроводов от устройств сброса давления, следует учитывать возможность воздействия широкого диапазона изменения температур и давлений, а также гидравлического удара, вызываемую широким диапазоном условий эксплуатации. Дополнительно необходимо учитывать, что в различные периоды времени по системе ограничения и сброса давления могут транспортироваться различные среды.

Следует принимать во внимание напряжения, которые воздействуют на выпускной трубопровод системы ограничения и сброса давления, возникающие в результате теплового расширения или сжатия при вводе холодных или горячих сред, а также осевой нагрузки, оказываемой флюидом сброса. В системах ограничения и сброса давления температуры могут изменяться в диапазоне от отрицательных (криогенных) до положительных (нескольких сотен градусов) значений. При проектировании выпускного трубопровода необходимо учитывать воздействие осевых нагрузок и тепловое расширение.

Поддержание в выпускных трубопроводах допустимых уровней напряжений во всем диапазоне температур, как правило, обеспечивают применением соответствующих конструкций крепления трубопроводов и конфигурацией их трассировки.

Следует учитывать напряжения, возникающие в выпускных трубопроводах, изготовленных из углеродистой стали, при условии их охлаждения ниже температуры перехода к хрупкому состоянию. Охлаждение может быть вызвано поступлением холодных веществ или самоохлаждением, которое происходит при понижении давления низкокипящих жидкостей. Для снятия напряжений с целью уменьшения риска возникновения хрупкого излома трубопроводов из углеродистой стали в системах сварных трубопроводов в качестве дополнительной меры применяют процесс термообработки. При возможном понижении температуры ниже минус 46 °С для линий сброса давления применяют материалы, которые сохраняют пластичные свойства при минимальной рабочей температуре.

При выполнении проектирования выпускного трубопровода необходимо провести анализ возможного совместного воздействия как тепловых, так и механических напряжений на устройства сброса давления. Нагрузки, прикладываемые к такому устройству сброса давления, следует регулировать (компенсировать) при помощи использования креплений, опор, а также мероприятий, учитывающих изменяющиеся условия эксплуатации выпускных трубопроводов.

Выпускной трубопровод, который не имеет крепления на индивидуальной отдельной опоре и поддерживается выходным патрубком устройства сброса давления, будет создавать напряжения в соединенных с ним устройствах сброса давления и во впускном трубопроводе. Выпускные трубопроводы, включая короткие выпускные патрубки, должны быть закреплены на опорах, располагаемых с учетом равномерного распределения нагрузок от выпускных трубопроводов. Деформации, вызывающие механические повреждения в первую очередь, как правило, происходят во впускном трубопроводе. При этом следует учитывать возможность возникновения деформаций и на более низких уровнях по технологической схеме, которые могут привести к неисправности устройства сброса давления и утечке из него. Следует учитывать напряжения, которые возникают в выпускных трубопроводах в результате действия реактивных сил, появляющихся во время сброса среды через устройства сброса давления, и при необходимости обеспечить крепление и/или ограничение перемещений выпускных трубопроводов, подключаемых к устройствам сброса давления.

При проектировании выпускных трубопроводов необходимо учитывать ударные нагрузки (гидравлический удар), которые возникают либо из-за внезапного сброса сжимаемого флюида в систему трубопроводов, либо из-за ударного динамического воздействия жидкости в местах изменения направления потока. Следует принимать во внимание возможность появления реактивных сил при каждом изменении направления потока среды в выпускном трубопроводе.

8.3.11.19 При проектировании опор и креплений выпускных трубопроводов учитывают:

- возможные комбинации условий сброса давления, которые должен выдерживать трубопровод; диапазон перепада температур, определяющих условия сброса, с учетом изменений температуры окружающей среды; параметры на входе, применительно к тепловому расширению, возникающему при сбросе;
- возможную величину и источники формирования жидкостных пробок;
- наличие клапанов, через которые могут сбрасываться большие объемы газа высокого давления и которые могут приводить к возникновению ударных нагрузок (гидравлическому удару), место их расположения.

При определении координат точек установки креплений выпускных трубопроводов необходимо, чтобы перемещения выпускного коллектора, а также результирующие усилия и моменты не воздействовали на корпуса или выпускные патрубки устройств сброса давления. При выбросе среды через устройство сброса давления в атмосферу необходимо проверять конфигурацию сбросной трубы на предмет наличия реактивных сил, возникающих при выпуске среды, с целью предотвращения возникновения чрезмерных напряжений.

8.3.11.20 Необходимо исключить возможность образования карманов в выпускных трубопроводах.

8.3.11.21 При прохождении через устройства сброса давления вязких веществ или веществ, переходящих в твердую фазу при охлаждении до температуры окружающей среды, выпускной трубопровод оборудуют тепловой изоляцией и/или системой обогрева.

8.3.11.22 Необходимость применения тепловой изоляции и/или обогрева выпускных трубопроводов определяет проектировщик.

8.3.11.23 При проектировании:

a) следует обеспечить, чтобы выпускные трубопроводы от отдельных устройств сброса давления подключались к выпускному коллектору сверху для предотвращения попадания жидкостей, протекающих или образующихся в коллекторе, в выпускные трубопроводы каждого из клапанов сброса давления;

b) выпускные трубопроводы, которые идут от отдельных клапанов сброса давления, расположенных на уровне выше выпускного коллектора, должны дренироваться в коллектор. По возможности следует избегать расположения устройств сброса давления ниже уровня выпускного коллектора в закрытых системах. Выпускные трубопроводы от отдельных устройств сброса давления, которые необходимо разместить ниже выпускного коллектора, прокладывают с постоянным подъемом к верхней точке входа в коллектор; при этом следует предусмотреть технические решения по предотвращению накопления жидкости на стороне сброса из этих устройств сброса давления;

c) следует обеспечить уклон величиной 21 мм не более чем на каждые 10 м длины выпускных трубопроводов и коллекторов, учитывая величину прогиба трубопровода между опорами;

d) при сбросе среды от отдельных устройств сброса давления в атмосферу должна быть предусмотрена возможность дренирования в дренажную систему опасных стоков (как правило, номинальным диаметром трубопровода DN15) выпускного трубопровода (в его самой низкой точке) для исключения накопления в нем жидкости;

e) подключение выпускных трубопроводов допускается производить под углом (например, под углом 45° или 30°) к оси выпускного коллектора. Основными причинами для применения данного способа подключения являются:

1) минимальное падение давления (включая потери скоростного напора),
2) уменьшение реактивных сил. Так как выпускные трубопроводы, как правило, рассчитывают на скорости сброса близкие к звуковым, потери давления, или противотоки, вызванные изменением скоростей при сбросе, могут приводить к возникновению больших реактивных сил, что может стать определяющим фактором при анализе системы;

f) следует учитывать необходимость использования запорной арматуры для разделения системы выпускных коллекторов на участки, в целях обеспечения безопасности и/или выполнения технического обслуживания. При этом запорную арматуру оборудуют устройствами, обеспечивающими ее блокировку. При невозможности применения запорной арматуры следует рассмотреть возможность установки технологических поворотных заглушек. При размещении на выпускных трубопроводах отсекающей запорной арматуры или заглушек, следует исключить возможность отключения работающего оборудования от системы ограничения и сброса давления. Конструкция отсекающей запорной арматуры, устанавливаемой в системе выпускных коллекторов, должна обеспечить невозможность ее отказа в закрытом положении. Следует предусмотреть проектные решения по исключению возможности воздействия факельного газа на персонал при сбросе давления, который может произойти при установке заглушек в факельной системе, если не предусмотрено применение отсекающей арматуры. При работе выпускного коллектора в условиях вакуума (при естественной тяге на свече рассеивания) воздух может втягиваться в выпускной коллектор, что определяет возможность образования взрывоопасных воспламеняющихся смесей.

8.3.12 Сепараторы и гидравлические затворы

8.3.12.1 Оборудование в составе систем ограничения и сброса давления должно соответствовать требованиям настоящего стандарта, ГОСТ 34233.1, [2] и [7].

8.3.12.2 При необходимости обеспечения вместимости больших объемов жидкости и одновременном большом расходе паров, как правило, используют сепаратор горизонтального типа. В сепараторах горизонтального типа в процессе эксплуатации, как правило, происходит наименьшее падение давления. При низкой нагрузке по жидкости или ограниченному пространству для размещения оборудования, как правило, используют сепаратор вертикального типа.

8.3.12.3 Следует принимать во внимание, что основное различие в конструкциях сепараторов заключается в направлении движения паров:

a) горизонтальный сепаратор, где пары входят со стороны одной оконечности сосуда и выходят в верхней части противоположной оконечности (без внутренних перегородок);

b) вертикальный сепаратор с впускным патрубком, расположенным на сосуде в радиальном направлении (патрубок расположен на обечайке) и выпускным патрубком, расположенным в верхней части сосуда на его вертикальной оси (патрубок на верхнем днище сосуда). Входной поток с помощью перегородок должен быть направлен вниз;

c) вертикальный сепаратор с впускным патрубком, расположенным на сосуде тангенциально. Вертикальные центробежные сепараторы отличаются от вертикальных гравитационных сепараторов тем, что в них поток входит тангенциально и вращается вокруг центральной трубы, которая проходит ниже впускного патрубка. Газ и жидкость перемещаются в радиальном направлении вниз через кольцевое пространство, что приводит к коалесценции капель жидкости по стенкам и их сбору в нижней части сосуда. Как только пары попадают в пространство ниже центральной трубы, они изменяют направление своего перемещения и проходят наверх к выпускному патрубку. Низкую скорость паров необходимо поддерживать в той части сосуда, где среда перемещается в круговом направлении, чтобы избежать повторного уноса жидкости. Дополнительным техническим решением по предотвращению повторного уноса жидкости является установка отклоняющей перегородки ниже той части сосуда, где среда перемещается в круговом направлении. Максимальный уровень жидкости в вертикальных центробежных сепараторах такой же, как и в вертикальных гравитационных сепараторах;

d) горизонтальный сепаратор, где пары входят со стороны каждой оконечности по направлению горизонтальной оси и выходят через центральный выпускной патрубок;

e) горизонтальный сепаратор с парами, входящими в центре и выходящими с противоположных оконечностей по направлению горизонтальной оси;

f) сочетание вертикального сепаратора в основании факельного ствола и горизонтального сепаратора, расположенного выше по технологической схеме, для удаления жидкости, уносимой парами. Данное сочетание позволяет использовать большие значения для числовых постоянных в уравнении скорости.

8.3.12.4 В случае если диаметр сепаратора составляет более 3,66 м, применяют сепаратор с разделением потока на входе или выходе сепаратора с целью уменьшения его диаметра (но за счет увеличения длины) при больших расходах.

Конструкции сепаратора, предназначенные для разделения потока на входе, должны обеспечить разделение потока в требуемом соотношении.

Впускные патрубки должны быть оборудованы отклоняющими перегородками или гнутыми отводами для предотвращения повторного улавливания жидкости. Как правило, применяют гнутые отводы с внутренним диаметром до 300 мм.

Отклоняющие перегородки, как правило, следует устанавливать во впускных трубах, диаметр которых составляет более 300 мм.

8.3.12.5 Выходы гнутых отводов в сепараторе должны быть направлены в сторону, противоположную месту расположения выпускного патрубка сепаратора, для обеспечения максимального разделения паров и жидкости посредством снижения кинетической энергии потока и предотвращения перетока или «обтекания» потока по сосуду.

Расположение гнутых отводов относительно торцевой поверхности сосуда должно обеспечить уменьшение эффекта «отскока» жидкости от торцевой поверхности (днища) сосуда.

В качестве альтернативы требованию по расположению гнутых отводов может быть применена установка дополнительной внутренней отклоняющей перегородки.

С целью минимизации процесса уноса жидкости следует обеспечить, чтобы выпускные патрубки были оборудованы направляющими перегородками или отклоняющими перегородками.

Для минимизации колебаний уровня жидкости в сепараторе может потребоваться установка соответствующих внутренних отклоняющих перегородок, конструкция которых должна учитывать действующие на них нагрузки, связанные со скоростями газа и колебаниями жидкости в емкости сепаратора.

8.3.12.6 Максимальный уровень жидкости в сепараторе не должен превышать уровень, при котором происходит повторный унос жидкости.

Как правило, сепараторы должны быть оборудованы КИПиА уровня с функциями местной и дистанционной индикации уровня, а также выдачи сигналов об аварийно высоком и низком уровнях. Другие КИПиА, как правило, обеспечивают функции индикации давления, а также измерения температуры.

8.3.12.7 Для отвода из сепаратора жидкости следует применять один или несколько насосов. При эксплуатации, как правило, предусматривают запуск насосов в ручном режиме и останов в автоматическом режиме при низком уровне жидкости в сепараторе. Следует обеспечить, чтобы привод как минимум одного насоса получал питание от альтернативного источника энергии, например от аварийной электрической сети или паротурбинного привода.

8.3.12.8 Определение размеров горизонтального сепаратора, как правило, выполняют поэтапно, опытным путем.

Первым этапом является определение размеров сепаратора, требуемых для обеспечения процесса сепарации уносимой парами жидкости. Частицы жидкости отделяются при следующих условиях:

- время нахождения паров или газа в сепараторе равно или больше времени, требуемого для перемещения капель жидкости на имеемую высоту пространства сосуда, занимаемого паром, с соответствующей скоростью падения капель жидкости;
- скорость паров или газа достаточно мала, что обеспечивает отделение и выпадение жидкости.

Высота пространства сосуда, занимаемого паром, как правило, принимается как расстояние до максимального уровня жидкости в сосуде. Следует обеспечить, чтобы вертикальная скорость паров и газа была достаточно малой с целью исключения возможности поступления большого количества жидкости на факел. Наличие капель жидкости в парах и газе увеличивает тепловое излучение и дымообразование при сгорании их на факеле. Скорость падения жидкости в сепараторе принимают на основании скорости, требуемой для отделения капель жидкости диаметром от 300 мкм до 600 мкм. Капли большего диаметра могут приводить к неполному сгоранию с чрезмерным дымообразованием, «горящим дождем» или срывом пламени.

Скорость падения жидкости u_c, м/с, для одной частицы (капли) в потоке среды определяют по формуле

$$u_c = 1{,}15\sqrt{\frac{g \cdot D(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v \cdot C}}, \qquad (32)$$

где g — ускорение свободного падения, 9,8 м/с^2;

D — диаметр частицы (капли) жидкости, м;

ρ_l — плотность жидкости при рабочих условиях, кг/м^3;

p_v — плотность пара при рабочих условиях, кг/м^3;

C — коэффициент сопротивления среды, безразмерная величина (см. рисунок 9).

Данное исходное уравнение широко применимо для всех форм отделения уловленной жидкости.

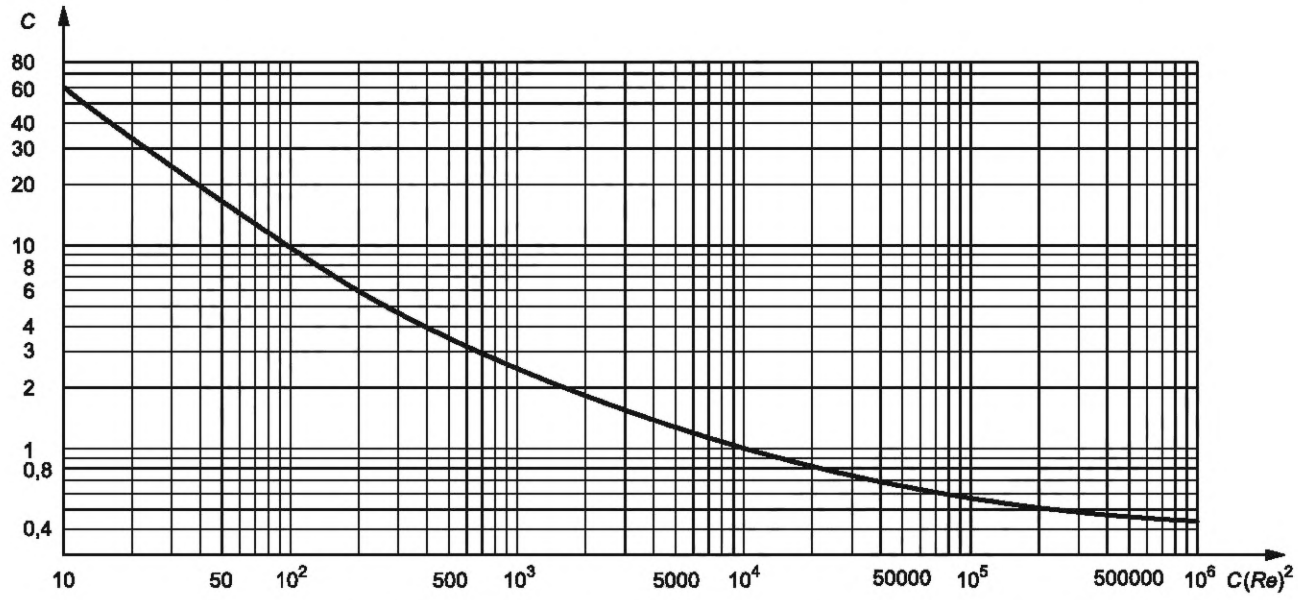


Рисунок 9 — Определение коэффициента сопротивления среды

$$C(Re)^2 = \frac{0{,}13 \cdot 10^8 \rho_v D^3 (\rho_l - \rho_v)}{\mu^2}, \qquad (33)$$

где μ — вязкость газа, мПа · с (сантипуаз);

ρ_v — плотность газа, кг/м^3;

ρ_l — плотность жидкости, кг/м^3;

D — диаметр частиц (капель), м.

Вторым этапом в определении размеров сепаратора является рассмотрение воздействия, которое любая жидкость, находящаяся в сепараторе, может оказывать на уменьшение объема, имеющегося для разделения паров и жидкости. Эта жидкость может быть результатом поступления в сепаратор:

a) конденсата, который отделяется во время сброса паров;

b) потоков жидкости, которые сопровождают сброс паров.

Объем, занимаемый жидкостью, следует определять на основе сброса среды, продолжительность которого составляет от 20 до 30 мин. Следует учитывать возникновение потребности в обеспечении большего объема, занимаемого жидкостью, если для прекращения сброса потребуется больше времени. Для определения требуемого объема пространства, занимаемого паром при разделении среды, любой объем жидкости, поступивший от предыдущего сброса (от устройств сброса давления), следует суммировать с объемом, указанном в перечислениях a) и b). При определении требуемого объема пространства, занимаемого паром, в случае если факельный сепаратор обеспечивает прием большего объема сбрасываемой с устройств сброса давления жидкости и при этом значительного увеличения скорости парообразования не происходит и жидкость отводится с требуемой скоростью, объем жидкости, поступившей от предыдущего сброса, учитывать не следует.

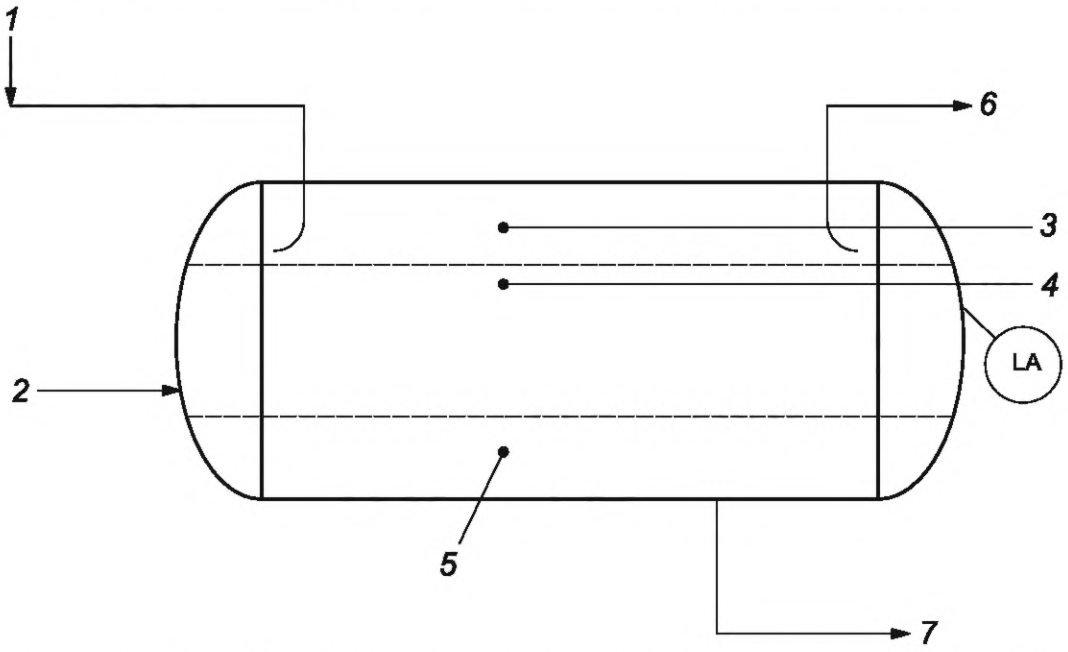
При определении размеров сепаратора следует учитывать, что процесс сброса максимального объема паров не является обязательным условием соответствия процессу сброса максимального количества жидкости. Поэтому размер сепаратора определяют как для процесса сброса максимального объема паров, так и для процесса сброса максимального количества жидкости.

Ниже приведены примеры расчетов сепараторов типов [см. *8.3.12.3*, перечисления a) и b)]. Расчеты для сепараторов [см. *8.3.12.3*, перечисления d) и e)] аналогичны при условии, что для них 50 % значения расхода определяет 50 % длины сосуда.

Принимают следующие условия:

- одна нештатная ситуация приводит к расходу 25,2 кг/с флюида с плотностью жидкости 496,6 кг/м^3 и плотностью паров 2,9 кг/м^3, при этом и пары, и жидкость образуют двухфазный поток;
- избыточное давление составляет 13,8 кПа, температура — 149 °С;
- вязкость паров составляет 0,01 мПа · с (0,01 сантипуаз);
- равновесному состоянию флюида соответствуют 3,9 кг/с для жидкости и 21,3 кг/с для паров.

Кроме того, необходимо обеспечить дополнительное пространство объемом 1,89 м^3 для сбора других дренажных стоков от установок. Для расчета применяют схему, приведенную на рисунке *10*. Принимаемый допустимый диаметр капель отделяемой жидкости составляет 300 мкм.



1 — сбросы паров и жидкости от предохранительного клапана сброса давления; *2* — КИПиА для индикации уровня дренажной жидкости; *3* — минимальное пространство, занимаемое паром, необходимое для достижения скорости падение капель; *4* — жидкость, поступившая от предохранительных клапанов сброса давления и других аварийных сбросов; *5* — дренируемая жидкость; *6* — на факел; *7* — откачка

Рисунок *10* — Факельный сепаратор

Скорость парообразования R_v (фактические м^3/с) определяют по формуле

$$R_v = \frac{21,3}{2,9} = 7,34.$$

Коэффициент сопротивления среды C определяют из диаграммы (рисунок *9*), используя уравнение

$$C(Re)^2 = \frac{0,13 \cdot 10^8 (2,9)\left(300 \cdot 10^{-6}\right)^3 (496,6 - 2,9)}{(0,01)^2} = 5,025.$$

C = 1,3 из диаграммы (см. рисунок *9*).

Скорость падения капель жидкости u_c, м/с, определяют, используя уравнение

$$u_c = 1,15\left[\frac{(9,8)\left(300 \cdot 10^{-6}\right)(496,6-2,9)}{(2,9)\cdot(1,3)}\right]^{0,5} = 0,71.$$

Следует принять горизонтальный сосуд с внутренним диаметром D_i и длиной цилиндра L. Площадь поперечного сечения сосуда A_t определяют по формуле

$$A_t = \frac{\pi}{4}(D_i)^2. \quad (34)$$

Необходимо, чтобы, дополнительно к объему дренируемой жидкости сепаратор обеспечивал прием жидкости в течение 30 мин процесса сброса во время одной нештатной ситуации. Объемом жидкости, находящейся в торцевых эллиптических частях сепаратора, для упрощения расчета следует пренебречь. Требуемый объем жидкости A_{L1}, м^3, находящейся в сепараторе, определяют следующим образом:

- дренируемая жидкость объемом 1,89 м^3 будет занимать соответствующую часть площади поперечного сечения в днищевой части сепаратора, определяемую по формуле

$$A_{L1} = 1,89\left(\frac{1}{L}\right), \quad (35)$$

- объем сконденсированных жидкостей при суммарном расходе 3,9 кг/с плотностью 496,6 кг/м^3, который проходит в течение 30 мин, будет занимать часть площади поперечного сечения сепаратора [см. *8.3.2.1.2*, перечисление а)], определяемую по формуле

$$A_{L2} = \left(\frac{3,9}{496,6}\right)\cdot(30 \cdot 60)\left(\frac{1}{L}\right). \quad (36)$$

Площадь поперечного сечения сепаратора, остающуюся для потока пара, определяют по формуле

$$A_v = A_t - (A_{L1} + A_{L2}). \quad (37)$$

Высоту (глубину) пространства, занимаемого жидкостью и парами, определяют на основе уравнений стандартной геометрии. Диаметр сепаратора h_t определяют по формуле

$$h_t = h_{L1} + h_{L2} + h_v, \quad (38)$$

где h_{L1} — глубина слоя дренируемой жидкости;

$(h_{L1} + h_{L2})$ — глубина слоя всей накопленной жидкости;

h_v — оставшаяся высота пространства для потока паров.

Достаточность пространства для паров проверяют определением времени падения жидкости θ по формуле

$$\theta = \left(\frac{h_v}{100}\right)\left(\frac{1}{u_c}\right), \quad (39)$$

где θ — время падения жидкости, с;

h_v — высота, имеющаяся для падения жидкости, см;

u_c — скорость падения жидкости, м/с.

Скорость N проходов паров, основанная на одном проходе пара, для объемного расхода 7,34 м^3/с определяют по формуле

$$u_v = \left(\frac{7{,}34}{N}\right)\left(\frac{1}{A_v}\right), \quad (40)$$

где A_v — площадь поперечного сечения, м^2;

N — количество проходов пара;

u_v — скорость пара, м/с.

Требуемая длина цилиндрической части сепаратора $L_{мин}$ определяют по формуле

$$L_{мин} = u_v \cdot \theta \cdot N, \quad (41)$$

$L_{мин}$ должна быть меньше или равной принятой выше длине цилиндрической части сепаратора L; в противном случае, расчет необходимо повторить при новой принятой длине цилиндрической части сепаратора.

В таблице *17* сведены результаты расчетов для одного прохода потока в горизонтальных сепараторах с различными внутренними диаметрами для определения оптимальных размеров сепараторов. Допускается использование сепараторов с шагом увеличения диаметра в 15 см в соответствии со стандартными размерами эллиптических днищ сепараторов.

Таблица *17* — Оптимизация размеров горизонтального факельного сепаратора

Вариант	D_1[a]	L[b]	Площадь поперечного сечения, м^2				Высота (глубина) пространств с жидкостью и паром (по вертикали), см				θ[c]	u_v[d]	$L_{мин}$[e]
			A_t	A_{L1}	A_{L2}	A_v	h_{L1}	$h_{L1}+h_{L2}$	h_v	h_t			
1	2,44	5,79	4,67	0,33	2,45	1,89	30	140	104	244	1,45	3,9	5,6
2	2,29	6,25	4,10	0,30	2,27	1,53	29	137	91	229	1,28	4,8	6,2
3	2,13	6,86	3,57	0,28	2,07	1,22	28	133	81	213	1,13	6,0	6,7
4	1,98	7,62	3,08	0,25	1,86	0,98	27	128	70	198	0,98	7,5	7,4

[a] Принятый выше внутренний диаметр сепаратора, м.

[b] Принятая длина цилиндра сепаратора, м.

[c] Время выпадения жидкости, с.

[d] Скорость пара, м/с.

[e] Требуемая длина сепаратора, м.

Примечание — Данные в таблице соответствуют примеру, приведенному по тексту для расхода пара за один проход.

Данные таблицы *17* соответствуют приведенному в тексте примеру для однопроходного потока пара. При этом:

- все приведенные размеры цилиндрической части отвечают расчетным требованиям;
- оптимальный размер цилиндрической части выбирают в соответствии с расчетным давлением, требованиям к материалам и допускам на коррозию, а также расположением, транспортированием и др.;
- выбор двухпроходного потока, приведенного на рисунке *10*, является альтернативным вариантом.

Если рассматривают вертикальный сосуд, скорость потока пара равна скорости падения капель жидкости, величина которой равна 0,71 м/с. Объемный расход равен 7,34 м^3/с. Требуемую площадь поперечного сечения сепаратора A_{cs}, м^2, определяют по формуле

$$A_{cs} = \frac{7{,}34}{0{,}71} = 10{,}3 \text{ м}^2. \quad (42)$$

Диаметр сепаратора D определяют по формуле

$$D = \sqrt{10{,}3 \cdot \frac{4}{\pi}} = 3{,}6 \text{ м}. \quad (43)$$

8.3.12.9 Во время сжигания газа на факеле необходимо контролировать уровень жидкости во всех факельных сепараторах. Должны быть установлены датчики-сигнализаторы о высоком уровне для предупреждения операторов технологической установки о нештатных условиях сепарации. Датчики следует настроить на относительно низкий уровень для создания необходимого запаса времени между точкой срабатывания аварийной сигнализации и высоким уровнем жидкости для обеспечения возможности нормального останова установки. Для обеспечения надежности срабатывания аварийной сигнализации верхнего уровня допускается установка дублирующих датчиков верхнего уровня. В сепараторах необходимо поддерживать минимальные уровни жидкости для обеспечения наличия достаточного свободного объема при сбросе потока флюида на факел. Датчики уровня должны обеспечить надежную эксплуатацию при минимальной расчетной температуре сепаратора.

8.3.12.10 Назначение гидравлического затвора приведено в *7.4.3.5*, в том числе включает и предотвращение возможности подсоса воздуха в факельный коллектор при сбросе потока с высокой температурой, охлаждении и/или конденсации паров, малой скорости потока или его отсутствия, в результате чего в факельном коллекторе может возникать состояние вакуума, что обусловливает возможность подсоса воздуха в факельную систему через факельный оголовок.

8.3.12.11 Скорость сжатия паров увеличивается, если охлаждение приводит к конденсации компонентов, содержащихся в газе.

Факторы, которые должны быть учтены при возможности возникновения данного процесса:

- возможность сжатия газа при его охлаждении;
- объем факельной системы;
- герметичность факельной системы;
- ожидаемая скорость охлаждения факельной системы, на которую влияют теплоизоляция/обогрев или охлаждение ветром и/или дождем.

8.3.12.12 Для предотвращения подсоса воздуха необходимо, чтобы высота выхода потока из гидравлического затвора, плотность и количество затворной жидкости в гидравлическом затворе обеспечивали предотвращение прорыва гидравлического затвора из-за вакуума, образовавшегося в факельном коллекторе.

Высоту уровня выхода потока из гидравлического затвора следует измерять от верхнего уровня гидравлического затвора до нижнего уровня горизонтального участка трубопровода факельного коллектора, расположенного перед впускным отводом гидравлического затвора.

Необходимо учитывать, что уровни расположения факельного коллектора и другого оборудования могут ограничивать герметизирующую способность гидравлического затвора по вакууму.

При необходимости расположения входного трубопровода гидравлического затвора выше уровня факельного коллектора последний должен иметь уклон для исключения образования карманов.

При проектировании гидравлического затвора необходимо обеспечить, чтобы объем затворной жидкости (без учета подпитывающей жидкости) заполнял вертикальный участок трубопровода гидравлического затвора до уровня расчетного вакуума.

Высота гидравлического затвора, как правило, составляет не менее 3 м.

8.3.12.13 В дополнение к гидравлическому затвору или вместо него допускается применять: в герметичных технологических емкостях — газодинамический режим эксплуатации с «азотным» дыханием при условии, что емкости оборудованы сигнализатором предельного верхнего уровня заполнения, регулятором давления и/или реле давления/датчиком давления, который обеспечивает подачу дополнительного продувочного газа в систему при возникновении вакуума.

8.3.12.14 Следует учитывать, что давление в факельном коллекторе, при котором газ начинает проходить через гидравлический затвор, может изменяться в зависимости от назначения гидравлического затвора (т. е. предотвращение инфильтрации воздуха, эксплуатация в качестве пламегасителя, устройства для создания ступенчатого сброса или средства обеспечения противодавления в системе рекуперации факельного газа).

Поток, который может пройти через гидравлический затвор, образуется при давлении от 50 до 3050 мм вод. ст. или большем. Типовые глубины (высоты столба затворной жидкости) гидравлических затворов эквивалентны избыточному давлению от 13,8 до 34,5 кПа для ступенчатых факелов или от 6,9 до 13,8 кПа в случаях, где используют систему рекуперации факельного газа. Глубина гидравлического затвора, как правило, должна составлять 150 мм.

В режиме нормальной эксплуатации поток газа, который превышает пропускную способность факельной установки или пропускную способность установки рекуперации факельного газа, приводит к тому, что отводимый газ начинает проходить через гидравлический затвор.

8.3.12.15 Следует обеспечить, чтобы через проектируемый гидравлический затвор мог проходить газ с минимальными пульсациями в потоке и/или минимальным давлением газа выше по технологической схеме.

8.3.12.16 В гидравлических затворах в качестве затворной среды, как правило, используют воду, но допускается применение и других жидкостей.

При выборе затворных жидкостей требуется учитывать защиту от замерзания в холодном климате, разделение углеводородов/воды, возникновение процесса уноса жидкости, совместимость с потоком сбросной среды, стоимость, готовность к эксплуатации и утилизацию.

В установках, в которых используют криогенные среды, направляемые в факельный коллектор, следует учитывать воздействие холодной среды на затворную среду.

Гидравлические затворы не следует применять в случае возможного блокирования факельной системы в результате образования ледяной пробки. Для предотвращения замерзания следует применять альтернативные затворные жидкости, например смесь гликоля/воды или другие.

8.3.12.17 Примеры схем гидравлических затворов приведены на рисунках *Е.1* и *Е.2*.

Гидравлические затворы работают в качестве конечного или вспомогательного сепаратора, поэтому их следует рассчитывать на основе таких же принципов, которые применяют для расчета вертикального гравитационного сепаратора.

В гидравлическом затворе, при необходимости, следует устанавливать демпфирующие перегородки, предназначенные для уменьшения величины колебаний давления, создаваемых перемещением жидкости в гидравлическом затворе.

Конструкция гидравлического затвора должна включать устройство сбора нефти, обеспечивающее удаление углеводородной жидкости, которая конденсируется при прохождении гидравлического затвора. Устройство сбора углеводородной жидкости подключают к дренажному трубопроводу или трубопроводу возврата углеводородной жидкости в технологический процесс.

8.3.12.18 Следует обеспечить возможность непрерывной подачи потока затворной жидкости в гидравлический затвор, что обеспечит постоянный сбор углеводородов, а также поддержание расчетного уровня затворной жидкости в гидравлическом затворе, определяющего работу гидравлического затвора в штатном режиме.

Для обеспечения работы гидравлического затвора, обеспечивают постоянный контроль за уровнем затворной жидкости в гидравлическом затворе и процессом сбора углеводородов — установкой соответствующих КИПиА.

8.3.12.19 Схема подключения гидравлических затворов к системе, как правило, предусматривает возможность проведения их технического обслуживания только после полного останова установки.

8.3.12.20 В зависимости от состава отводимых газов на факеле следует обеспечить возможность отбора проб затворной жидкости гидравлического затвора факельной системы.

8.3.12.21 Требуется разработать технические решения для отбора проб, исключающие утечки факельного газа или поступление воздуха в факельную систему.

8.3.12.22 При необходимости (возможном поступлении в гидравлический затвор не предусмотренных штатными условиями эксплуатации веществ) следует предусмотреть промывку гидравлического затвора водой или очистку затворной жидкости.

8.3.12.23 Важно учитывать возможность появления пирофорных отложений в гидравлическом затворе и, как следствие, необходимость разработки мероприятий по удалению углеводородов из гидравлического затвора с целью обеспечения его безопасного технического обслуживания (пропарка, промывка, продувка инертным газом).

8.3.12.24 Возможные утечки газа через гидравлический затвор могут быть вызваны следующими причинами:

- чрезмерным противодавлением в результате загрязнения, замерзания или образования ледяных пробок в факельной системе (факельном оголовке или факельном стволе), которое может вытеснить затворную жидкость из гидравлического затвора;
- утечки затворной жидкости в гидравлическом затворе.

8.3.12.25 Для предотвращения прорыва потока газа к факелу, следует обеспечить, чтобы площадь поперечного сечения потока газа над уровнем затворной жидкости в гидравлическом затворе была не менее, чем в три раза больше площади поперечного сечения впускного трубопровода.

Давление в факельном коллекторе, при котором газ начинает проходить через гидравлический затвор, может изменяться (см. *8.3.12.14*).

Глубину погружения подключаемого к гидравлическому затвору впускного трубопровода задают требуемым давлением, при этом следует учитывать удельную плотность затворной жидкости [см. формулу (*44*)].

Необходимо обеспечить, чтобы заданное противодавление в гидравлическом затворе не было больше максимального противодавления, допустимого в выпускном коллекторе (см. *8.3.11*). Это противодавление задает максимальное расстояние *h* [см. формулу (*44*)], на которое погружается впускной трубопровод.

$$h = \frac{102p}{\rho}, \qquad (44)$$

где p — максимальное абсолютное давление на выходе из выпускного коллектора, кПа;

ρ — плотность затворной жидкости, кг/м^3.

Необходимо, чтобы площадь поверхности, которую занимает газ над поверхностью жидкости, была как минимум равна площади окружности с диаметром D, которая составляет $2d$, где d — это диаметр впускного трубопровода газа. Соотношение должно составлять не менее 1:3, тогда

$$(D^2 - d^2) = 3d^2 \text{ или } D^2 = 4d^2 \text{ и } D = 2d. \qquad (45)$$

Высота парового пространства в вертикальном гидравлическом затворе должна ориентировочно составлять от 0,5 до 1,0 D. При этом минимальный размер высоты парового пространства в вертикальном гидравлическом затворе — не менее 1 м.

Для определения проходного сечения гидравлического затвора необходимо учитывать возможность сброса большого потока пара с высокой температурой, поступающего в выпускной коллектор.

Вакуум, создаваемый при охлаждении пара, может втянуть затворную жидкость в коллектор, что приведет к прорыву гидравлического затвора, и тем самым будет способствовать подсосу воздуха в факельную систему. Для предотвращения возникновения этого процесса в конструкции впускного трубопровода необходимо предусмотреть технические решения по компенсации вакуума. Суммарная высота участка впускного трубопровода, подключаемого к гидравлическому затвору, определяется максимальным значением вакуумметрического давления.

При возникновении максимального вакуумметрического давления следует обеспечить поступление затворной жидкости из гидравлического затвора во впускной трубопровод, что, в случае необходимости, потребует увеличения объема гидравлического затвора.

8.3.12.26 Общим критерием определения размеров сепаратора для среды, характеризующейся резким охлаждением или конденсацией, является:

- снижение температуры потока, при котором температура жидкости и паров на выходе из сепаратора составляет от 66 °С до 93 °С;
- как правило, допущение, что испаряется не более 40 % или 50 % от поступающей жидкости.

8.3.12.27 Для сепараторов и гидравлических затворов допускается применять следующие конструктивные элементы и технические решения (при необходимости):

- стабилизаторы потока на линиях выхода жидкости;
- патрубки выхода жидкости из сепаратора/гидравлического затвора, удлиненные внутрь сосуда, для того чтобы дренажный осадок выпадал в данных сосудах, а не в низких точках трубопроводов;
- защиту от замерзания (теплоизоляция, применение систем обогрева);
- технические решения по удалению воды, при необходимости трехфазного разделения потока;
- наличие лючков (патрубки размером от DN 100 до DN 200) в нижней части сосуда для возможности его очистки. На глухом фланце патрубков устанавливают запорную арматуру DN 40 или DN 50 для полного дренирования сосудов перед открытием лючка;
- технические решения по отсечению, вентиляции, продувке (пропарке) и подготовке сосуда для входа персонала при наличии люк-лаза;
- устройства для обогрева содержимого сосуда при возможности самоохлаждения среды, наличии вязких и/или застывающих жидкостей. При необходимости использования внутренних трубопроводов (змеевиков) паровых систем обогрева обеспечивают возможность дренирования сосуда. Следует предусмотреть, чтобы внутренние трубопроводы имели увеличенный допуск на коррозию и были надежно закреплены для предотвращения механического повреждения;
- как правило, сепараторы и гидравлические затворы эксплуатируют при низких давлениях. Для обеспечения прочности конструкции сепараторов при эксплуатации факельной системы на дозвуковых

скоростях потока или в других случаях низкого давления в системе применяют минимальное расчетное избыточное давление 345 кПа. Необходимо обеспечить, чтобы сосуд с расчетным избыточным давлением 345 кПа не разрушался в случае мгновенного выгорания содержащейся внутри него среды. Углеводородовоздушные смеси определенного стехиометрического состава могут вызывать пиковые давления взрыва, в семь-восемь раз превышающие абсолютное рабочее давление. Как правило, гидравлические затворы, применяемые для факелов с дозвуковыми скоростями сжигания, эксплуатируют в диапазоне избыточного давления от 0 до 34 кПа;

- при проектировании патрубков, креплений, опор, внутренних частей сосудов следует учитывать ударные нагрузки, которые приводят к тепловым воздействиям, выпадению осадка жидкости или расширению газа;

- установку кранов отбора проб для контроля уровня жидкости в дополнение к уровнемерам или вместо них;

- технические средства для непрерывного или периодического ручного удаления верхнего слоя углеводородов, которые могут накапливаться на поверхности затворной жидкости. Допускается применение непрерывного сбора углеводородов посредством постоянного добавления затворной жидкости и перелива в трубопровод дренажной системы. Допускается применять средства для периодического повышения уровня затворной жидкости с целью вытеснения жидкости с меньшей плотностью и ее перепуска в устройство для сбора углеводородов. При проектировании данной системы необходимо исключить возможность накопления легких углеводородов, что может привести к возникновению ложного (нерасчетного) запирающего эффекта;

- применение КИПиА, которые должны быть надежны, просты в техническом обслуживании (монтировались снаружи и линии подключения были оборудованы отсекающими клапанами). При этом применение запорной арматуры с большой пропускной способностью, как правило, более предпочтительно, чем использование дросселирующих клапанов с малой пропускной способностью;

- средства для установления и поддержания заданного уровня затворной жидкости в гидравлическом затворе;

- при возможности возникновения процессов коррозии на границе контакта затворной жидкости и паров следует предусмотреть соответствующий допуск на коррозию. Такая коррозия может появиться и в системах с углеводородами, в которых в качестве затворной жидкости используют воду, а также в низких точках системы.

8.3.12.28 Выбор технического решения по отводу жидкости из сепаратора зависит от характеристик и опасностей, связанных с отводимыми жидкостями. Конструкция систем отвода жидкости из сепаратора зависит от размера сосуда, объема жидкости, поступившей в систему, а также вероятности ее поступления в систему.

8.3.12.29 В простой системе отвода жидкости из сепаратора сосуд может быть оборудован только управляемым вручную дренажным клапаном и указательной колонкой для контроля за уровнем жидкости.

8.3.12.30 Как правило, для удаления жидкости из сепаратора используют насосное оборудование.

8.3.12.31 Насосы откачки жидкости из сепараторов должны быть рассчитаны на минимальный напор на стороне всасывания. При определении технических характеристик насосов необходимо учитывать максимальную температуру перекачиваемой жидкости.

8.3.12.32 Жидкость из сепараторов, как правило, откачивают насосами откачки жидкости в технологический процесс сбора и подготовки пластовой продукции.

8.3.12.33 Как правило, устанавливают датчик аварийной сигнализации о высоком уровне жидкости в сепараторе, местный пусковой пост управления и датчик автоматического останова двигателя насоса откачки жидкости.

8.3.12.34 При использовании в системах отвода жидкости из сепаратора сложных схем следует, при необходимости, дополнительно применять датчики аварийной сигнализации о высоком и низком уровнях жидкости в сепараторе и регуляторы уровня жидкости в сепараторе, которые управляют дистанционно управляемым дренажным клапаном и/или насосом откачки жидкости.

При этом рекомендуется применять двухпозиционный запорный клапан (положения «открыто — закрыто»), но допускается использовать и дросселирующий клапан.

Высокий уровень жидкости в сепараторе необходимо ограничить, чтобы не уменьшать площадь поперечного сечения для прохода паров.

Заданный нижний уровень жидкости должен предотвратить попадание паров в систему отвода жидкости.

8.3.12.35 Гидравлический затвор следует располагать между факельным сепаратором и факельным стволом, настолько близко к факельному стволу, насколько это технически возможно.

Следует применять гидравлические затворы, конструкция которых обеспечивает их установку в основание факельного ствола. Данная конструкция гидравлического затвора может состоять из сосуда, частично заполненного затворной жидкостью.

8.3.12.36 Необходимо предусмотреть технические решения по минимизации пульсаций уровня затворной жидкости в гидравлическом затворе. Для этого следует увеличить диаметр впускного трубопровода гидравлического затвора для снижения скорости газа.

Для поддержания рабочего уровня затворной жидкости в гидравлическом затворе, на трубопроводе подачи в него затворной жидкости, необходимо установить регулирующий клапан уровня жидкости в гидравлическом затворе.

Для контроля рабочего уровня затворной жидкости, как правило, применяют датчики аварийной сигнализации о низком и высоком уровнях затворной жидкости.

8.3.12.37 Для удаления затворной жидкости из гидравлического затвора следует предусмотреть наличие дренажного трубопровода с соответствующей запорной арматурой.

8.3.12.38 Отводимую затворную жидкость следует направлять в технологический процесс сбора и подготовки пластовой продукции или систему сбора опасных дренажных стоков.

При необходимости, обеспечивают обогрев системы.

8.3.12.39 При увеличении диаметра впускного трубопровода гидравлического затвора необходимо изменять диаметр гидравлического затвора для поддержания соотношения 3:1 (см. *8.3.12.25*).

8.3.12.40 Контроль за параметрами процесса охлаждения и/или конденсации среды следует производить посредством установки сигнализатора температуры для потока флюида, сбрасываемого с целью снижения давления.

8.3.12.41 Нижний уровень жидкости в факельном сепараторе, разрядной емкости при резком охлаждении и/или конденсации углеводородов, как правило, контролируют в автоматическом режиме.

***8.3.13* Факельные системы**

8.3.13.1 Факельные системы должны обеспечить минимальный уровень загрязнения окружающей среды. *При проектировании факельной системы необходимо руководствоваться требованиями настоящего стандарта и положениями [3].*

8.3.13.2 В подпункте приведены требования, определяющие параметры факельных систем. Общие положения, определяющие данные требования, приведены в разделе *7*. Расчеты конструкции факельной установки, приведены в приложении *D*. Факельные установки должны быть оборудованы стабилизаторами пламени, ограничивающими площадь потока на величину от 2 % до 10 %, что следует учитывать при определении параметров факельной системы, в том числе и факельного коллектора.

Номинальный диаметр факельного ствола, как правило, рассчитывают, основываясь на величине скорости потока с учетом перепада падения давления. Необходимо обеспечить, чтобы величина скорости потока не превышала 0,5 числа Маха для пикового кратковременного потока, и поддержание скорости потока на уровне величины 0,2 числа Маха в штатных условиях эксплуатации для факелов низкого давления, что зависит от следующих факторов:

- объемного соотношения максимально возможного потока сброса на факел и среднего потока сброса на факел;
- времени, частоты и продолжительности таких потоков;
- расчетных критериев, установленных в проекте для обеспечения стабилизации горения на факеле.

Необходимо принять к сведению, что факел с околозвуковой скоростью потока следует применять для факелов высокого давления. Бездымные факелы рассчитывают для условий, при которых они должны эксплуатироваться, без выпуска дыма в атмосферу. Формулу (*25*) следует использовать для вычисления числа Маха (см. *8.3.11.15*). Ограничения по скорости, определяемые регулирующими устройствами, не применяют к факельным системам при эксплуатации в условиях аварийного сброса давления.

Снижение давления с величиной перепада до 14 кПа, как правило, используют на факельном оголовке. Следует учитывать, что факельные оголовки высокого давления с соответствующей стабилизацией пламени допускается эксплуатировать при падении давления больше указанного значения (при избыточном давлении 700 кПа и/или больше. Низкая скорость потока на факельном оголовке может

приводить к его повреждению от перегрева и коррозии. Следует также учитывать возможность влияния ветров, замедляющих процесс горения газов на факеле. Зона низкого давления на подветренной стороне факельного ствола может приводить к тому, что горящие газы будут поступать вниз по факельному стволу на расстояние 3 м или более.

Высота факельного ствола, как правило, основывается на интенсивности теплового излучения, создаваемого пламенем факела. Применяют формулу (*22*) в *7.4.2.3*. Степень поражения персонала в зависимости от интенсивности излучения приведена в таблице *8*.

На характеристики излучения влияет качество сжигания. Следует считать, что использование доли излучаемого тепла *F*, представленной в таблице *12*, приводит к выбору необходимой высоты факельного ствола, но при этом ее следует определять с запасом.

Необходимо учитывать фактор воздействия ветра на отклонение пламени, которое тем самым изменяет расстояние от центра пламени, считающегося источником суммарного теплового излучения, по отношению к месторасположению установки. Обобщенная кривая для аппроксимации воздействия ветра приведена на рисунке *5*.

В случаях, когда существует возможность рассеивания сбросных газов в атмосфере, связанная с затуханием факела, для определения вероятной концентрации таких веществ в рассматриваемой точке рекомендуется использовать информацию, приведенную в *7.3.1*.

Следует применять вертикальные факельные установки с горелками с нижним или боковым розжигом пламени, горелками со ступенчатым и неступенчатым сжиганием газов, паровыми горелками, горелками с принудительной подачей воздуха, механическими горелками или горелками с естественной тягой.

8.3.13.3 Информация по проектированию

Бездымную эксплуатацию факелов достигают различными методами, включая нагнетание пара, нагнетание отводимого газа высокого давления, принудительную подачу воздуха, эксплуатацию горелок с предварительным смешиванием или распределение сбросного потока через определенное количество горелок. Одним из распространенных типов для бездымной эксплуатации факела является факел с нагнетанием пара (см. *7.4.3.2*).

Объем пара, требуемый для бездымного горения, зависит от максимального расхода газа, направляемого на сжигание, и его химического состава. Основными параметрами, которые необходимо учитывать для обеспечения бездымного горения, являются ненасыщенные углеводороды, процентная доля инертных компонентов и относительная молекулярная масса смеси сбросных газов.

Факельная система должна обеспечить бездымное сжигание сбрасываемых газов и паров. Требования к дымности при сжигании факельных сбросов определяют положения соответствующей НД.

Данные таблицы *13* следует использовать для оценки требований к парам в зависимости от их химического состава. Данную оценку следует выполнять, основываясь на удельной массовой доле горючего компонента в смеси (т. е. без учета инертных компонентов).

В соответствии с *8.3.12*, одним из наиболее распространенных методов предотвращения распространения пламени по факельной системе в результате возможного поступления воздуха является установка гидравлического затвора. Непрерывную подачу продувочного газа с соответствующей скоростью также следует использовать для снижения возможности проскока пламени от горелки с гидрозатвором или без него.

Инфильтрацию воздуха вниз по факельному стволу как результата воздействия ветра или эффекта разности плотностей воздуха и сбросного газа следует снижать посредством подачи продувочного газа. При этом следует учитывать, что требуемый объем продувочного газа может быть уменьшен при использовании газового затвора (например, газового затвора факельной системы, работающего на разнице плотности газов, или газодинамического затвора; см. *7.4.3.6*).

Применительно к продувочным газам, которые легче воздуха, применяют формулу (*46*) для определения расхода продувочного газа *Q*, н. м^3/ч, с целью соблюдения требований о непрерывной продувке в открытых факелах без воздействия газового затвора, работающего за счет разницы в плотности газов или применения газодинамического затвора

$$Q = 190{,}8D^{3{,}46}\,\frac{1}{y}\ln\left(\frac{20{,}9}{O_2}\right)\left(\sum_i^n C_i^{0{,}65}\cdot K_i\right), \qquad (46)$$

где D — диаметр факельного ствола, м;

y — высота факельного ствола, при которой ожидается концентрация кислорода (O_2), м;

O_2 — объемная доля кислорода, %;

C_i — объемная доля компонента i, %;

K_i — постоянная для компонента i.

Ниже приведены типовые значения K_i:

- водород: K = 5,783;
- гелий: K = 5,078;
- метан: K = 2,328;
- азот: K = 1,067 (без ветра);
- азот: K = 1,707 (при скорости ветра приблизительно 7 м/с);
- этан: K = –1,067;
- пропан: K = –2,651;
- CO_2: K = –2,651;
- C_{4+}: K = –6,586.

Примечание — Водяной пар или другие конденсирующиеся вещества не пригодны для использования в качестве продувочных газов.

Формулу (*46*) допускается упростить до формулы (*47*), используя стандартные критерии ограничения объемной доли кислорода до 6 % на расстоянии 7,62 м вниз по факельному стволу (за исключением тех случаев, когда меньшие концентрации кислорода следует использовать для некоторых химических соединений, таких как водород):

$$Q = 31{,}25D^{3{,}46} \cdot K, \qquad (47)$$

где Q — расход продувочного газа, $м^3/ч$;

D — диаметр факельного ствола, м;

K — постоянная (см. выше).

Следует учитывать, что если газ, находящийся в факельном стволе (например, водород или метан), легче воздуха, давление в его нижней части может быть ниже атмосферного даже при наличии оттока газа на его верхнем срезе, что определяет возможность подсоса воздуха в факельный коллектор и может привести к возможному внутреннему взрыву.

Скорости сброса, превышающие те, которые определяют по формулам (*46*), (*47*), будут востребованы:

- для обеспечения условия отсутствия воздуха в период пуска;
- в переходных режимах эксплуатации, связанных с идущим проливным дождем, который охлаждает факельный коллектор, подверженный воздействию солнца;
- после отвода сбрасываемых горячих конденсирующихся веществ в факельный коллектор;
- после отвода потока, содержащего большие количества химических соединений, которые легко детонируют или имеют аномально широкие пределы воспламеняемости.

При сбросе газов или паров с аномально высокими скоростями горения, таких как водород или ацетилен, следует учитывать возможность проскока пламени в факельном оголовке во время их сжигания (см. *7.4.3.10*).

Необходимо обеспечить контроль количества и скорости подачи продувочного газа применением диафрагмы с постоянным расходом, ротаметра или другого устройства, которые обеспечивают непрерывную подачу потока и не подвержены поломке или некорректной настройке КИПиА.

Для обеспечения воспламенения факельных газов для факельных систем применяют пилотные (дежурные) горелки с непрерывным горением пламени, оснащенные устройством дистанционного розжига. Устройство дистанционного розжига должно обеспечить розжиг пилотных (дежурных) горелок факела, контроль наличия пламени на них посредством термопреобразователей и подачу аварийного сигнала о прекращении работы пилотных (дежурных) горелок в соответствующее помещение управления.

Факельная установка должна быть оборудована устройством дистанционного розжига и непрерывного дистанционного контроля наличия пламени, например видеонаблюдения. Устройства управления системой розжига пилотной (дежурной) горелки необходимо располагать в непосредственной близости к основанию факельного ствола, на удалении по высоте минимум 30 м от факельного оголовка (см. *7.4.3.8*).

Следует обеспечить надежную подачу топливного газа к пилотным (дежурным) горелкам и устройствам их розжига. Для этого не исключается применение дублирующих систем альтернативных источ-

ников топливного газа. В качестве топливного газа не следует использовать отводимый газ с низкоэнергетическим содержанием. Как правило, допускается установка дублирующих КИПиА, предназначенных для сброса давления. Необходимо предусмотреть технические решения, позволяющие исключить возникновение процесса образования гидратов в системах подачи топливного газа. В связи с малым номинальным диаметром и большой протяженностью трубопровода подачи топливного газа в вертикальном направлении, обусловленной большой высотой факельного ствола и расположением устройств сброса давления, необходимо предусмотреть технические решения по отводу конденсата, образовавшегося после сброса давления в трубопроводе.

После устройства регулирования давления, конечного по технологической схеме, необходимо установить датчик сигнализации о низком давлении в линии подачи топливного газа на пилотные (дежурные) горелки.

***8.3.14* Свечи рассеивания**

8.3.14.1 При сбросе горючих паров в атмосферу выход из отводящего трубопровода следует располагать на высоте не менее 3 м над соседним оборудованием или другой конструкцией (см. *7.3*). Необходимо предусмотреть мероприятия по дренированию каждого отводящего трубопровода.

8.3.14.2 Диаметр трубопровода свечи рассеивания следует определять исходя из допустимого падения давления и значения минимальной скорости, которая требуется для предотвращения возникновения опасных условий, создаваемых горючими или токсичными соединениями на уровне рабочей зоны платформы. Методы расчета, применяемые к свечам рассеивания, обеспечивающими сброс опасных соединений, приведены в разделе 7. Как правило, требуется выбирать типоразмер, при котором скорость сброса потока обеспечивает оптимальное рассеивание (например, скорость 150 м/с). Необходимо, чтобы при выбранном типоразмере сброс производился со скоростью, меньшей чем скорость звука. В случае если при сбросе скорость потока достигает скорости звука, то при расчете величины падения давления следует учитывать перепад значений давления, определяемый в точке сброса.

Ниже приведен пример расчета.

В рамках данного расчета принимают следующие условия. Максимальный расход при сбросе, составляет 31,5 кг/с. Относительная молекулярная масса паров M равна 44. Абсолютная температура паров в трубопроводе свечи рассеивания непосредственно при сбросе T равна 361 К. Скорость сброса v равна 150 м/с. Абсолютное давление паров в трубопроводе свечи рассеивания непосредственно на сбросе p равно 101 кПа. Газовая постоянная R равна 8,3. Тогда плотность ρ, кг/м^3, определяют по формуле

$$\rho = \frac{M \cdot p}{R \cdot T} = \frac{44 \cdot 01}{8{,}3 \cdot 361} = 1{,}48. \qquad (48)$$

Площадь наконечника A_T, м^2, определяют по формуле

$$A_T = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot v} = \frac{31{,}5}{1{,}48 \cdot 150} = 0{,}14. \qquad (49)$$

Следовательно, следует выбрать трубу с номинальным диаметром DN 400.

8.3.14.3 Проектирование металлоконструкции свечи рассеивания следует выполнять после определения параметров трубопровода отвода газов на свечу рассеивания, в соответствии с *8.3.14.2*, и высоты свечи рассеивания с учетом требований, приведенных в *7.3*.

8.3.14.4 Высота свечи рассеивания должна обеспечить, чтобы концентрация паров в нижней точке свечи рассеивания была ниже нижнего предела воспламеняемости паров. Требования к концентрации воспламеняющихся паров должны быть выполнены при выборе ее значения в диапазоне от 0,1 до 0,5 от нижнего предела воспламеняемости. Следует учитывать, что для выполнения требований по обеспечению допускаемой токсичности паров, может потребоваться, чтобы концентрация паров была ниже, и в этих случаях она, соответственно, будет определяющим фактором. Для случая возможного возгорания сбрасываемых со свечей рассеивания паров необходимо определить интенсивность теплового излучения методами, используемыми при расчетах факельных систем. Следует принимать во внимание, что допускаемые пределы интенсивности теплового излучения при возгорании паров, сбрасываемых со свечей рассеивания и сжигаемых на факеле, одинаковы.

Расчет высоты свечи рассеивания может показать, что в качестве определяющего фактора следует принимать интенсивность теплового излучения, а не процесс рассеивания.

8.3.14.5 При проектировании свечи рассеивания необходимо исключить возможность:

- скопления жидкости в трубопроводах, подключенных к свече рассеивания;
- аварийного возгорания сброса паров от молнии.

Следует учитывать, что в системе подводящих к свече рассеивания трубопроводах может собираться жидкость вследствие поступления в эту систему паров с большой молекулярной массой, которые конденсируются при температуре окружающей среды. Если накапливаются большие объемы жидкости, то при выбросе паров в эту систему они, соответственно, будут сбрасываться в атмосферу.

Для предотвращения скопления жидкости следует исключить образование карманов в трубопроводах и обеспечить уклон трубопроводов системы до дренажного устройства в нижней точке. Дренажные устройства могут функционировать автоматически при установке гидравлического затвора, высота затворной жидкости в котором должна обеспечивать напор не менее чем 175 % от значения противодавления при максимальной нагрузке снижения давления для исключения проникновения паров через гидравлический затвор. В качестве альтернативы дренажному устройству с гидравлическим затвором у основания свечи рассеивания допускается устанавливать соответствующий сепаратор. Данный тип установки следует применять в случаях, когда возможно накопление большого количества жидкости. При возможном аварийном возгорании паров, сбрасываемых со свечи рассеивания, от молнии или других источников следует применять дистанционное управление подачей пара на продувку свечи рассеивания, что особенно актуально для районов с большой вероятностью возникновения молний. При отсутствии подачи пара на продувку свечи рассеивания в случае возникновения возгорания при максимальной расчетной нагрузке (или при значении, близком к ней) пожар, с большой вероятностью, будет продолжаться и после устранения причины превышения давления с уменьшением расхода горящих паров.

8.3.14.6 Уровень шума на расстоянии 30 м от точки выброса в атмосферу приближенно определяют по формуле

$$L_{30} = L + 10lg(0{,}5q_m \cdot c^2), \qquad (50)$$

где L_{30} значения ω — уровень шума на расстоянии 30 м от точки сброса в атмосферу, дБ;

L — уровень шума, в соответствии с графиком, представленным на рисунке *12*, дБ;

q_m — массовый расход через клапан, кг/с;

c — скорость звука газа на выходе из клапана, м/с.

На графике, представленном на рисунке *11*, показана интенсивность звука, измеренная как звуковое давление на расстоянии 30 м от наконечника свечи рассеивания, в зависимости от отношения давлений при сбросе через клапан сброса давления.

Скорость звука c, м/с, определяют по формуле

$$c = 91{,}2\left(\frac{k \cdot T}{M}\right)^{0{,}5}, \qquad (51)$$

где k — показатель адиабаты для газа;

M — относительная молекулярная масса газа;

T — температура газа, К.

Уровень шума на расстоянии 30 м от точки выброса в атмосферу следует рассчитывать следующим образом:

a) вычислить значение выражения: $0{,}5q_m \cdot c^2$, Вт;

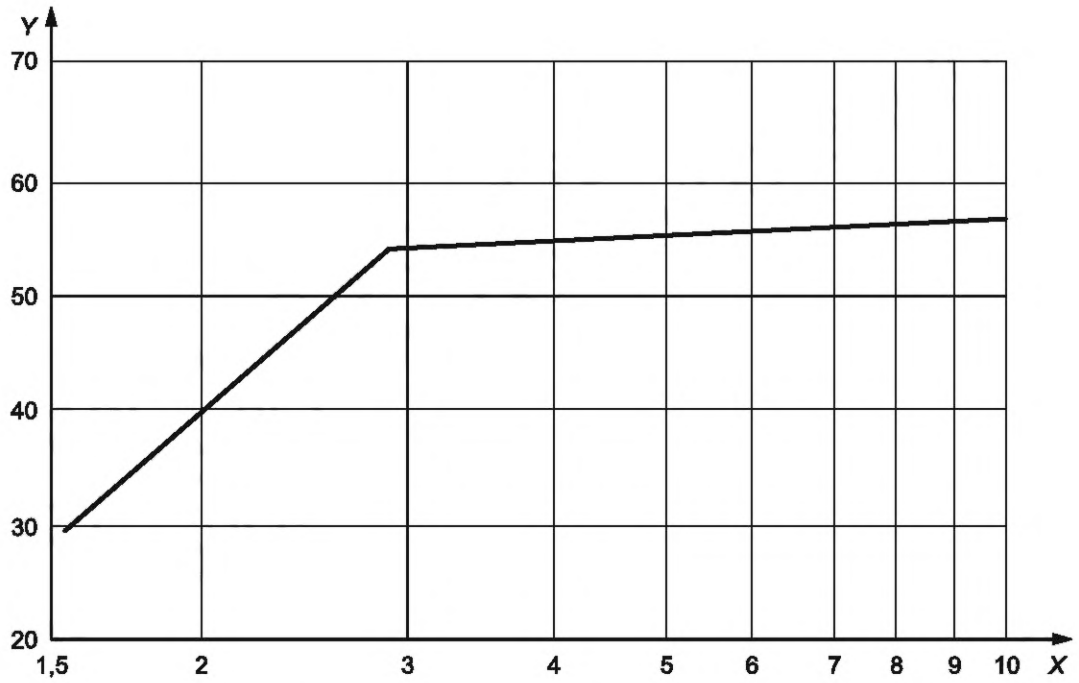
b) вычислить значение выражения: $10 \cdot lg(0{,}5q_m c^2)$;

c) на графике на рисунке *11* отложить значение *PR* по оси абсцисс и найти соответствующую ординату;

d) сложить значения, полученные на этапах b) и c), и получить значение L_{30}, представляющее собой средний уровень звукового давления на расстоянии 30 м, дБ.

Предполагают, что:

- q_m = 14,6 кг/с;
- k = 1,4;
- M = 29;
- T = 311 К;
- PR = 48/16 = 3;
- $c = 91{,}2 \cdot \left(\frac{1{,}4 \cdot 311}{29}\right)^{0{,}5} = 353$ м/с.



X — отношение давлений *PR*; *Y* — уровень звукового давления L_{30}, дБ

Примечание — *PR* — это отношение абсолютного статического давления перед ограничением (например, перед патрубком клапана сброса давления) к абсолютному давлению за ограничением во время сброса давления. В некоторых случаях критический поток может возникать не только в патрубке клапана сброса давления, но и в выпускном отверстии трубы выброса в атмосферу. Тогда уровни шума складываются (логарифмически). Давление в трубе при выбросе в атмосферу равно отношению абсолютного давления в выпускном отверстии трубы к атмосферному давлению.

Рисунок *11* — Уровень звукового давления на расстоянии 30 м от наконечника свечи рассеивания

Получают следующие результаты (в соответствии с вышеприведенным перечнем):

- $(0{,}5q_m \cdot c^2) = (0{,}5)(14{,}6)(353)^2 = 910\,000$;
- $10 \cdot lg(0{,}5q_m c^2) = 60$;
- из графика на рисунке *11* находят, что ордината, соответствующая значению *PR* = 3, равна 64;
- $L_{30} = 54 + 60 = 114$ дБ.

Приведенные выше вычисления основаны на допущении о сферичности фронта распространения звука. Если расстояния намного превышают величину верхнего среза свечи рассеивания над уровнем сооружений платформы, необходимо к полученному результату добавить 3 дБ для его корректировки на полусферическую диффузию.

Корректировка полученного ссылочного предела, соответствующего расстоянию в 30 м, на другие расстояния может быть выполнена по формуле

$$L_p = L_{30} - [20lg(r/30)], \quad (52)$$

где L_p — уровень шума на расстоянии *r*, дБ;

L_{30} — уровень шума на расстоянии 30 м, дБ;

r — расстояние от источника звука (наконечника свечи), м.

Для расстояний, превышающих 305 м, следует учесть молекулярное поглощение шума. Если клапаны сброса давления во время эксплуатации создают повышенный шум, то его снижения можно добиться нанесением изоляции вокруг корпуса клапана и участка трубы за ним, длина которого приблизительно равна пяти диаметрам трубы, считая от клапана.

Уровень шума должен соответствовать ГОСТ 12.1.003.

8.4 Системы использования газа из систем ограничения и сброса давления

8.4.1 Общие положения

8.4.1.1 Экологические и экономические причины определяют необходимость использования систем утилизации факельного газа для его сбора и компримирования с целью дальнейшего использования. Факельный газ, как правило, направляют в систему топливного газа и/или, в зависимости от состава, используют для иных целей.

8.4.2 Вопросы безопасности

8.4.2.1 Факельные системы используют для сжигания выбрасываемых продуктов при штатных и аварийных выбросах. Для аварийных потоков (например, отходящих от клапанов сброса давления из систем снижения давления и пр.), должно быть обеспечено свободное прохождение потока факельного газа к факелу. Методы использования факельного газа приведены в *8.4.2.7*.

8.4.2.2 При использовании в составе систем утилизации факельного газа компрессоров, всасывающие трубопроводы которых подсоединены непосредственно к факельному коллектору, необходимо исключить возможность появления обратного потока воздуха от факела в компрессоры при низких расходах сброса на факел. Требуется контролировать содержание кислорода в потоке факельного газа. Следует предусмотреть средства останова компрессоров факельного газа при возникновении потенциально опасных условий в процессе эксплуатации систем утилизации факельного газа.

8.4.2.3 Факельные газы могут различаться по составу, что необходимо учитывать при проектировании систем утилизации факельных газов. Определяют возможность наличия химических соединений, не совместимых с системами очистки факельного газа (например, потоки, содержащие кислые газы, как правило, направляют непосредственно на факел, т. е. в обход системы утилизации. Потоки с высоким содержанием инертных газов также могут быть несовместимы с системами утилизации).

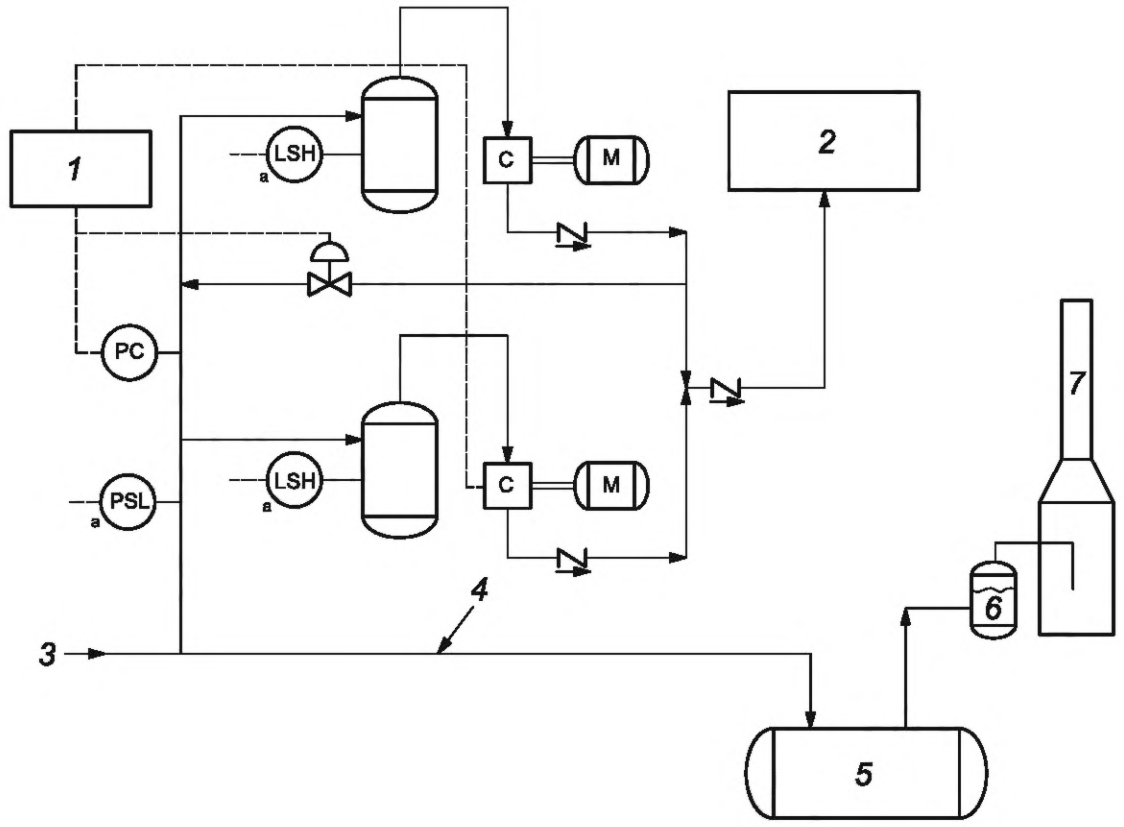
8.4.2.4 На рисунке *12* показана концепция системы утилизации факельного газа. Как правило, в состав системы следует включать один или несколько компрессоров объемного типа, всасывающие трубопроводы которых непосредственно соединены с факельным коллектором. Компримированный газ, как правило, направляют в систему очистки того или иного типа, в зависимости от компонентного состава газа, а далее — в систему топливного газа или в технологическую систему сбора газа. *Проектирование трубопроводов системы топливного газа следует выполнять в соответствии с требованиями настоящего стандарта и СП 62.13330.*

8.4.2.5 Пропускную способность системы утилизации факельного газа определяют аварийными факельными нагрузками. Как правило, требуется, чтобы пропускная способность системы утилизации соответствовала нормальному расходу, сверх которого газ направляют на факел. Следует учитывать, что факельные нагрузки варьируются во времени в широких пределах и нормальный расход должен соответствовать средней или максимальной нагрузке на факел. Нагрузки на систему утилизации факельного газа варьируются в широких пределах, что определяет необходимость их проектирования с учетом возможности эксплуатации в широком диапазоне динамически изменяющихся нагрузок.

8.4.2.6 Как правило, системы утилизации факельного газа подключают к факельному коллектору после всех врезок факельных трубопроводов в факельный коллектор и на участке, на котором давление в факельном коллекторе при изменении нагрузки не изменяется. Следует учитывать необходимость в возможном дополнительном количестве врезок в факельный коллектор после системы утилизации для химических соединений, несовместимых с системой утилизации.

8.4.2.7 В соответствии с *8.4.2* должно быть обеспечено свободное прохождение потока газа к факелу при аварийных выбросах. Систему утилизации факельного газа проектируют в обвод факельного коллектора. Основной поток сброса газа на факел не должен проходить через трубопроводы газосепаратора компрессора или трубопроводы линии всасывания компрессора. Врезку трубопровода системы утилизации факельного газа следует выполнять в верхнюю часть факельного коллектора для минимизации возможности поступления жидкости.

В системе утилизации факельного газа применяют один из методов обеспечения сброса при превышении давления. На рисунке *13* представлены методы реализации обеспечения сброса в случае превышения давления при сохранении свободного прохождения потока газа на факел.



1 — система управления нагрузкой компрессора; *2* — подготовка факельного газа; *3* — от факельных сепараторов технологических модулей; *4* — факельный коллектор; *5* — факельный сепаратор (если используется); *6* — гидравлический затвор; *7* — факел; PC — регулятор давления; PSL — сигнализатор низкого давления; LSH — сигнализатор верхнего уровня; C — компрессор; M — привод компрессора.

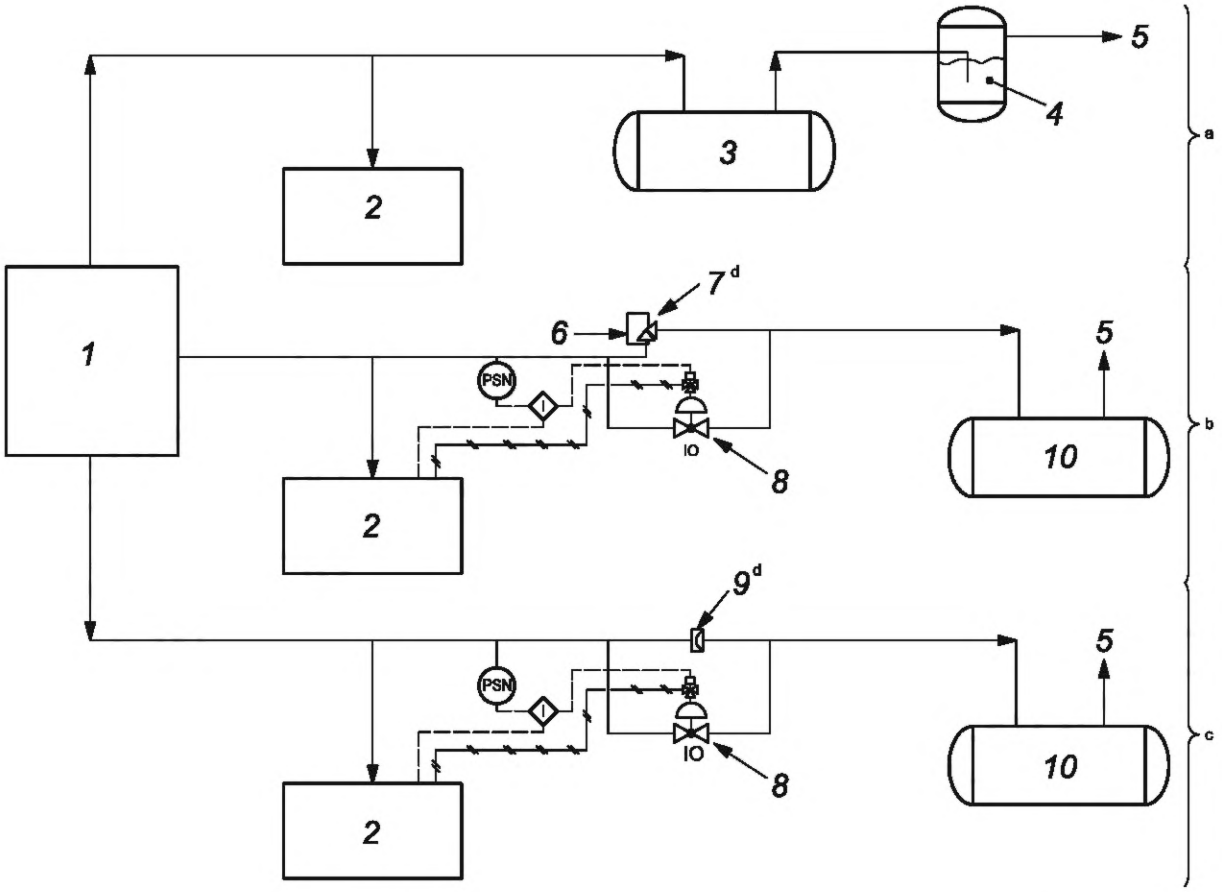
[a] Останов компрессора по сигналам соответствующих КИПиА

Рисунок *12* — Типовая система утилизации факельного газа

8.4.2.8 Наиболее надежным методом предотвращения поступления воздуха в факельный коллектор следует считать установку гидравлического затвора между факельным сепаратором и непосредственно факелом, который должен обеспечить условно постоянное низкое противодавление на факельный коллектор и диапазон регулирования давления, необходимый для системы управления утилизации факельного газа. Гидравлический затвор должен работать в диапазоне проектных рабочих давлений системы утилизации факельного газа. При больших расходах сброса факельный газ проходит через гидравлический затвор, далее его направляют на факел. Необходимо разработать мероприятия по поддержанию уровня затворной жидкости в гидравлическом затворе и по предотвращению уноса затворной жидкости гидрозатвора на факел при высоких скоростях факельного газа, а также мероприятия по предотвращению замерзания воды в гидравлическом затворе. Типовая конструкция гидравлического затвора приведена на рисунке *Е.1*.

8.4.2.9 В случае если малый диапазон рабочих значений давления, обеспечиваемый гидравлическими затворами, не может быть принят, то следует применять альтернативный метод, заключающийся в использовании нормально открытого (открывающегося при отказе системы управления) регулирующего клапана, который регулирует давление в системе утилизации факельного газа.

Прохождение потока газа на факел обеспечивают посредством установки управляемого клапана сброса давления, с настройкой на низкое давление и рассчитанного на большую пропускную способность, в обход регулирующего клапана. Импульсную линию для управляемого клапана сброса давления оснащают средствами продувки продувочным газом и устройством предотвращения возникновения обратного потока.



1 — от факельных сепараторов технологических модулей; *2* — утилизация факельного газа; *3* — факельный сепаратор; *4* — гидравлический затвор; *5* — на факел; *6* — продувка топливным газом; *7* — управляемый клапан сброса давления; *8* — клапан, открывающийся в случае превышения давления или при останове/разгрузке компрессора; *9* — МПУ или иное устройство сброса давления без функции повторного закрытия

[a] Предпочитаемая система: гидравлический затвор.
[b] Первая альтернативная система.
[c] Вторая альтернативная система.
[d] См. *8.4.2.9*.

Рисунок *13* — Давление на входе в систему утилизации факельного газа

Необходимо выполнить проверочный расчет, подтверждающий, что в системе факельного коллектора противодавление, образуемое устройством сброса давления (при допущении, что регулирующий клапан закрыт) при полной нагрузке коллектора, не приводит к недопустимым значениям противодавления на устройствах сброса в коллекторы, установленные на технологических агрегатах.

Альтернативой использованию клапана сброса давления является установка устройств без функции повторного закрытия (например, МПУ или устройств со срезным штифтом/стержнем). Выполняют расчет, подтверждающий, что эти устройства срабатывают при максимально возможном низком давлении и что в процессе их эксплуатации не возникают недопустимые значения противодавления. Также выполняют соответствующий расчет, подтверждающий соблюдение этих требований.

8.4.2.10 Регулирующий клапан давления на линии входа в систему утилизации факельного газа при необходимости применения в факельной линии должен быть исполнения «нормально-открытый» и с переходом и блокировкой в полностью открытом положении при превышении рабочего давления в факельном коллекторе, высоком содержании кислорода либо останове или разгрузке газовых компрессоров. Эти блокировки не используют в качестве альтернативной замены прохождения газового потока в обход регулирующего клапана, как приведено в *8.4.2.9*.

8.4.2.11 Необходимо предусмотреть технические решения по предотвращению возникновения обратного потока воздуха от факела в систему утилизации факельного газа. Все компрессоры следует

оборудовать устройствами управления останова при низком давлении в линии всасывания. Следует рассмотреть установку дополнительных КИПиА на участке коллектора между факелом и отбором на всасывание компрессора для обнаружения обратного потока и автоматического останова системы утилизации факельного газа.

8.4.2.12 Системы утилизации факельного газа эксплуатируют в широких пределах расходов, обычно с малым диапазоном значений давления на всасывании. Типовую систему утилизации факельного газа следует эксплуатировать в диапазонах давлений на всасывании от 0,5—1,2 кПа до 2,5—3 кПа. Компрессоры системы утилизации факельного газа оборудуют устройствами разгрузки на нескольких ступенях и рециркуляционным клапаном компрессора. Давление на всасывании поддерживают датчиком давления рециркуляционного клапана с дополнительной нагрузкой или разгрузкой компрессоров по достижении пределов по открытию, закрытию или давлению на входе в клапан. Элементы управления устанавливают так, чтобы нагрузка и разгрузка компрессоров производилась последовательно.

8.4.2.13 Вероятность попадания жидкости в факельные системы, как правило, высока. Перед компрессорами должны быть установлены газосепараторы с автоматическим остановом компрессоров при достижении высокого уровня жидкости в газосепараторах. Для компрессоров допускается применять другие механические системы защиты, которые обеспечивают останов и разгрузку компрессора.

Приложение *А*
(справочное)

Высокоинтегрированные системы защиты (HIPS)

А.1 Введение

В традиционных методах сброса давления используют механическое устройство, например клапан сброса давления, с целью снижения вероятности превышения давления в сосудах и системах трубопроводов. Другой подход к защите от превышения давления заключается в использовании приборной системы. В состав HIPS, как правило, включают комплект КИПиА, конечных элементов управления (например, клапанов, переключателей и т. д.) и логические решающие устройства, настроенные таким образом, чтобы исключить случаи превышения давления путем устранения источника превышения давления или снижения вероятности непредвиденного превышения давления до такого низкого уровня, чтобы его можно было при проектировании не рассматривать.

При соответствующих уровнях резервирования, в процессе разработки HIPS может быть достигнут такой уровень ее эксплуатационной готовности, который будет не ниже уровня эксплуатационной готовности механического устройства сброса давления. Однако применение HIPS требует ряда специальных процедур в процессе проектирования, чтобы обеспечить достаточно безопасную конструкцию HIPS, и особого внимания на протяжении всех этапов, составляющих цикл эксплуатации, таких как техническое обслуживание, испытания и технический контроль. В определенных случаях необходимо, чтобы требуемая эксплуатационная готовность защиты от превышения давления превышала эксплуатационную готовность, обеспечиваемую одним механическим устройством сброса давления.

В данном приложении рассматриваются элементы HIPS, применимые нормы, правила и стандарты, связанные с HIPS, и процедуры, которые следует соблюдать при включении HIPS в проект.

А.2 Справочная информация

А.2.1 Элементы HIPS

В состав HIPS входят приборы промышленной автоматики (например, датчики), логические решающие устройства (например, логические решающие устройства системы безопасности, реле и т. д.), конечные элементы управления, источники питания, а также процедуры проведения технических проверок, испытаний и технического обслуживания.

В состав HIPS включают все компоненты, от датчика до конечного элемента.

А.2.2 Применение HIPS

Ниже перечислены пять основных направлений использования HIPS:

a) исключение конкретного сценария превышения давления из процесса проектирования;

b) исключение необходимости использования конкретного устройства сброса давления;

c) обеспечение защиты системы от превышения давления в случае, когда применение устройства сброса давления неэффективно;

d) уменьшение вероятности того, что несколько устройств сброса давления должны работать одновременно, что позволяет сократить размер системы ограничения и сброса давления;

e) уменьшение номинальной пропускной способности устройства сброса давления и, как следствие этого, снижение риска.

По многим позициям эти направления использования HIPS совмещаются друг с другом; конкретное применение HIPS может относиться к нескольким из вышеуказанных направлений использования.

Одним из главных преимуществ HIPS является экономическая эффективность. За счет исключения дорогостоящих модернизаций существующей системы ограничения и сброса давления/факельной системы или сокращения размера новой системы ограничения и сброса давления/факельной системы, можно добиться значительной экономии капиталовложений. В других случаях, если реализовать применение устройств сброса давления меньшего типоразмера или в меньшем количестве, можно добиться не настолько эффективной, но все же в перспективе существенной экономии средств. Кроме того, HIPS может быть спроектирована на достижение более высокого уровня эксплуатационной готовности/надежности, чем механическое устройство сброса давления, за счет включения в нее компонентов, рассчитанных на очень низкие уровни показателей отказов, приводящих к возникновению опасности, основной функцией которых является обеспечение надежности посредством включения в проект соответствующих уровней резервирования контрольно-измерительных приборов, а также посредством обеспечения регулярных технических проверок и тестирования системы HIPS. HIPS допускается использовать в качестве меры снижения риска для технологических установок с высоким уровнем риска (например, технологических установок, содержащих токсичные материалы). В определенных случаях HIPS может быть использована совместно с устройством сброса давления (в случаях, когда основной функцией устройства сброса давления является, как правило, «резервирование» HIPS) для достижения особо высоких уровней защиты. Следует учитывать текущие расходы при использовании HIPS. При этом рекомендуется сравнить расходы на контрольное тестирование HIPS с расхо-

дами на профилактическое техническое обслуживание устройства сброса давления. Эти текущие расходы возрастают непропорционально с ростом уровня SIL (см. 3.58, 3.78 и *А.3.3.2*).

Эксплуатационная готовность HIPS относится только к срабатыванию самой HIPS. Следует также проанализировать ответную реакцию процесса на срабатывание HIPS. Например, успешное срабатывание системы HIPS на отключение подачи топлива к нагревателю с топочной камерой не приводит к полному прекращению поступления теплового потока к трубкам нагревателя, поскольку в футеровке стенок печи сохраняется остаточное тепло. Помимо этого, когда устройство сброса давления выходит из строя таким образом, что оно открывается при нормальных условиях работы, это может отразиться на технологическом процессе, начиная от неполадок и заканчивая серьезными нарушениями в ходе процесса. Несанкционированное срабатывание HIPS может привести к полному останову установки и вызвать риски, связанные с остановом и последующим перезапуском.

А.3 Общие положения

Вместо установки механического устройства сброса давления защита от превышения давления сосуда, работающего под давлением, может быть обеспечена применением системы защиты от давления при соблюдении следующих условий:

- сервисные системы (воздух, инертный газ, вода или пар) обеспечивают эксплуатацию, в том числе и техническое обслуживание сосуда с целью предотвращения высвобождения флюидов, что может привести к угрозе безопасности или окружающей среде;

- принятие решения относительно обеспечения сосуда защитой от превышения давления посредством разработки проекта соответствующей системы является обязанностью проектировщика. Изготовитель несет ответственность только за проектирование системы защиты от превышения давления;

- проектировщик должен подтвердить, что МДРД внутри сосуда превышает максимально высокое давление, которое с большой вероятностью может быть достигнуто в системе. Проектировщик должен выполнить анализ всех вероятных сценариев превышения давления. В этом анализе следует использовать организованный, систематический подход к анализу безопасности процесса, такой как анализ опасностей и работоспособности (HAZOP), анализ режимов отказов, последствий и критичности (FMECA), анализ дерева отказов, анализ диаграммы возможных следствий данного события, анализ методом «что, если…» или другая аналогичная методология.

А.3.1 Комплекс стандартов ГОСТ Р МЭК 61508 и ГОСТ Р МЭК 61511

Комплекс стандартов *ГОСТ Р МЭК 61508 (части 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)* устанавливает общий подход к вопросам обеспечения безопасности для всех стадий жизненного цикла систем, состоящих из электрических и/или электронных, и/или программируемых электронных элементов, которые используют для выполнения функций обеспечения безопасности.

Комплекс стандартов *ГОСТ Р МЭК 61511 (части 1, 2, 3)* рассматривает приборные системы безопасности (ПСБ), использующие электрические/электронные/программируемые электронные технологии, определяет требования к спецификации, проектированию, монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию ПСБ так, чтобы она могла надежно переводить и удерживать процесс в безопасном состоянии, и разработан для реализации *ГОСТ Р МЭК 61508* в области промышленных процессов.

А.4 Процедуры применения HIPS

А.4.1 Общие положения

Использование HIPS в каждом конкретном случае имеет как свои преимущества, так и недостатки.

Таким образом, в любом рассматриваемом случае необходимо оценить риск в сравнении с преимуществом и принять взвешенное, обоснованное решение в отношении того, является ли HIPS наилучшим вариантом или нет.

А.4.2 Назначение необходимого уровня полноты безопасности или показателя эксплуатационной готовности

В соответствии с *ГОСТ Р МЭК 61508* необходимым условием при разработке системы противоаварийной автоматической защиты является задание уровня полноты безопасности (SIL) или итогового значения эксплуатационной готовности для проекта системы.

Системе назначают один из уровней, SIL-1, SIL-2, SIL-3 или SIL-4, при этом SIL-4 отражает наибольшую надежность, а SIL-1 — наименьшую.

Каждому уровню SIL соответствует минимальная требуемая эксплуатационная готовность, т. е. уровню SIL-1 соответствует минимальная требуемая эксплуатационная готовность, равная 90 %; уровню SIL-2 — минимальная требуемая эксплуатационная готовность, равная 99 %; а уровню SIL-3 — 99,9 %; уровню SIL-4 > 99,99 %. Выбор необходимого уровня SIL для данной системы зависит от риска, связанного с опасностью, от которой защищает эта система, то есть от вероятности инициирующих и сопутствующих событий, серьезности последствий, а также того, насколько можно рассчитывать на эффективность других защитных мер.

Критерий приемлемости качества функционирования HIPS выражается посредством уровня SIL, который соответствует уровню эксплуатационной готовности системы (то есть вероятности того, что система будет работать в штатном режиме при необходимости). Каждый случай должен быть рассмотрен в индивидуальном порядке

с целью определения соответствующих мер реагирования. При выборе уровня SIL для данной системы должен учитывается ряд факторов, включая следующие:

- вероятность того, что в первую очередь возникнет потребность в срабатывании HIPS (т. е. вероятность превышения давления, которая требует соответствующего действия HIPS для предотвращения негативных последствий);
- последствия отказа HIPS при условии, что возникла необходимость в ее срабатывании;
- требования соответствующих НД.

Как правило, для HIPS результатом анализа опасностей является либо система уровня SIL-2 (требующая минимальной эксплуатационной готовности 99 %), либо система уровня SIL-3 (требующая минимальной эксплуатационной готовности 99,9 %).

А.4.3 **Концептуальное предложение по конфигурации HIPS**

После назначения необходимого уровня SIL или значения эксплуатационной готовности следует разработать базовый вариант конфигурации HIPS с целью достижения такой конфигурации системы, которая соответствует требованию к эксплуатационной готовности, соответствующему назначенному уровню SIL. На этом этапе также определяют базовую периодичность проведения технического обслуживания/тестирования для отдельных компонентов HIPS. Базовый вариант конфигурации и данные тестирования далее служат в качестве основы для следующего этапа рабочего процесса, которым является анализ надежности.

А.4.4 **Анализ эксплуатационной готовности HIPS**

Целью анализа эксплуатационной готовности HIPS является оценка качества функционирования системы предлагаемой конфигурации. При проведении анализа эксплуатационной готовности следует использовать стандартные методы, такие как анализ дерева ошибок. В дополнение к рассмотрению работоспособности технических средств, которую частично обеспечивают за счет выбора соответствующего охвата и частоты тестирования, также необходимо учитывать вероятность ошибки оператора и другие источники систематических отказов, возникающих на протяжении всего цикла эксплуатации системы. Полученный результат сравнивают с требуемым качеством функционирования, соответствующим назначенному уровню полноты безопасности, для решения вопроса о приемлемости предложенной системы. Если предложенная система не соответствует требованию к качеству функционирования, то необходимо изменить конфигурацию системы посредством выполнения следующих мероприятий:

- использование более надежных датчиков, логических решающих устройств и конечных элементов управления с меньшими значениями показателя частоты отказов;
- повышение уровня диагностического охвата с целью уменьшения количества необнаруженных режимов отказов и их обнаружения благодаря срабатыванию средств диагностики;
- использование резервных компонентов (т. е. компонентов с двукратным или даже с трехкратным резервированием);
- использование компонентов, работающих на различных принципах;
- повышение частоты планируемых тестирований.

При проектировании системы также требуется рассмотреть расчетный показатель частоты ложных срабатываний. Ложные срабатывания могут быть связаны с материальными издержками и, как следствие, с повышением риска того, что операторы, возможно, будут действовать в обход систем останова. Вероятность возникновения ложных срабатываний может быть снижена посредством использования таких функций, как голосовое логическое устройство, и применения аналогичных методов, направленных на повышение устойчивости к ложным срабатываниям объекта, на котором применяют системы HIPS. Эти мероприятия могут привести к сокращению требуемой периодичности тестирований.

А.5 **Периодичность тестирований для HIPS**

В типовой системе противоаварийной автоматической защиты наиболее распространенным типом отказа КИПиА, который необходимо учитывать, является так называемый неявный отказ (или скрытый, либо необнаруженный отказ). Неявный отказ — это отказ оборудования, невостребованного на постоянной основе, и поэтому он обнаруживается не сразу. Такой отказ обнаруживается только в том случае, если отказ элемента произошел по запросу либо во время тестирования, либо по фактическому запросу процесса. В соответствии с этим частота тестирования играет важную роль в определении эксплуатационной готовности элемента выполнять возложенную на него функцию.

Рассмотрим в качестве примера реле высокого давления. Можно ожидать, что реле будет переходить в неисправное состояние с постоянной периодичностью, выражаемой в единицах «1/время». Однако, поскольку срабатывание реле требуется только в случае превышения давления, этот отказ не обнаруживается до поступления команды на исполнение либо при тестировании, либо в реальном процессе. Предполагают, что в случае отказа реле по запросу, оно будет сразу же отремонтировано или заменено. Таким образом, отсутствие эксплуатационной готовности реле давления или вероятность того, что оно выйдет из строя по запросу, напрямую зависит от периодичности тестирования.

Примечание — Приведенный пример является иллюстративным. На объектах, в составе которых предусматривают высокоинтегрированные системы уровня SIL-2 или SIL-3, реле, относящиеся к процессу, в редких случаях обладают достаточной эксплуатационной готовностью для обеспечения требуемой работоспособности.

В технологическом процессе, как правило, используют датчики давления, так как они характеризуются более низкими значениями показателя частоты необнаруженных отказов.

В связи с этим необходимо проводить тестирование КИПиА, относящихся к HIPS, через регулярные промежутки времени. В анализе эксплуатационной готовности периодичность тестирования предполагают для каждой единицы оборудования. Для достижения соответствия фактической надежности HIPS значению, спрогнозированному расчетами эксплуатационной готовности, необходимо, чтобы фактическая частота тестирования (во время эксплуатации) соответствовала значению, заданному в расчетах эксплуатационной готовности, выполненных во время проектирования.

При задании периодичности тестирования следует учитывать два других важных аспекта тестирования. Во-первых, это возможность проведения такого тестирования на месте, на котором должна быть установлена HIPS. Малоэффективно оговаривать в спецификации системы, для которой потребуется тестирование HIPS через каждые три месяца, если на месте ее установки имеются возможности, позволяющие выполнять тестирование с периодичностью только один раз в год. Во-вторых, тестирование как процесс заключает в себе потенциальную возможность появления неисправностей и ложных отключений вследствие ошибки оператора. Последствия таких ситуаций могут быть опасными, поэтому необходимо предусмотреть соответствующие решения для сведения к минимуму их возникновение. Таким образом, во всех возможных случаях цель заключается в разработке системы, которая может обеспечить целевую эксплуатационную готовность при минимуме автономного тестирования. Введение контролируемых цепей, средств встроенной диагностики и использование встроенного резервирования (что облегчает тестирование компонентов и цепей без отсоединения от процесса) — все эти факторы вносят вклад в минимизацию частоты автономного тестирования.

А.6 Документация

Все критерии проектирования, расчеты, данные по монтажу и техническому обслуживанию в процессе эксплуатации и данные по испытаниям/тестированию соответствующим образом отражают в документации.

Приложение В
(справочное)

Специальные решения по проектированию системы

В.1 Одно устройство сброса давления, защищающее несколько компонентов в технологической системе

Для защиты нескольких компонентов оборудования в технологической системе может быть приемлемым использование одного устройства сброса давления. При этом следует соблюдать следующие четыре критерия:

- невозможно отделение любого из защищаемых компонентов оборудования от такого устройства сброса давления за исключением случаев, когда закрытие отсекающих клапанов контролируют при любых условиях;
- давление настройки первого срабатывающего устройства сброса давления должно быть равно или ниже расчетного давления или МДРД любого защищаемого компонента оборудования в системе;
- давление в системе на момент осуществления сброса одним или более устройством сброса давления не должно превышать максимального допустимого давления в соответствие с принятыми в разрабатываемом проекте параметрами проектирования по давлению;
- рабочее давление в любом компоненте оборудования в период времени, когда устройство сброса давления не осуществляет сброс, не должно превышать давление, допускаемое принятыми параметрами проектирования по давлению.

В.2 Описание типовой технологической системы

Одной из типовых технологических систем, предусматривающих только одно устройство сброса давления, является контур циркуляционного газа реактора гидроочистки. Такая система может содержать следующие основные компоненты оборудования:

- компрессор циркуляционного газа;
- теплообменник входящего/отходящего потока;
- топочный нагреватель;
- реактор;
- конденсатор отходящего потока;
- сепаратор;
- соединительные трубопроводы;
- трубопровод для подачи жидкости, продукта, и продувочного газа.

На рисунке В.1 представлена типовая схема системы процесса гидроочистки, включающей в себя перечисленные выше компоненты.

В.3 Методика определения расчетного давления или МДРД для компонентов оборудования

При использовании описанной ниже методики расчетное давление или МДРД для любого компонента оборудования в системе не будет превышено, за исключением случаев, когда давление в системе приводит к срабатыванию устройства сброса давления. Расчет включает следующие действия:

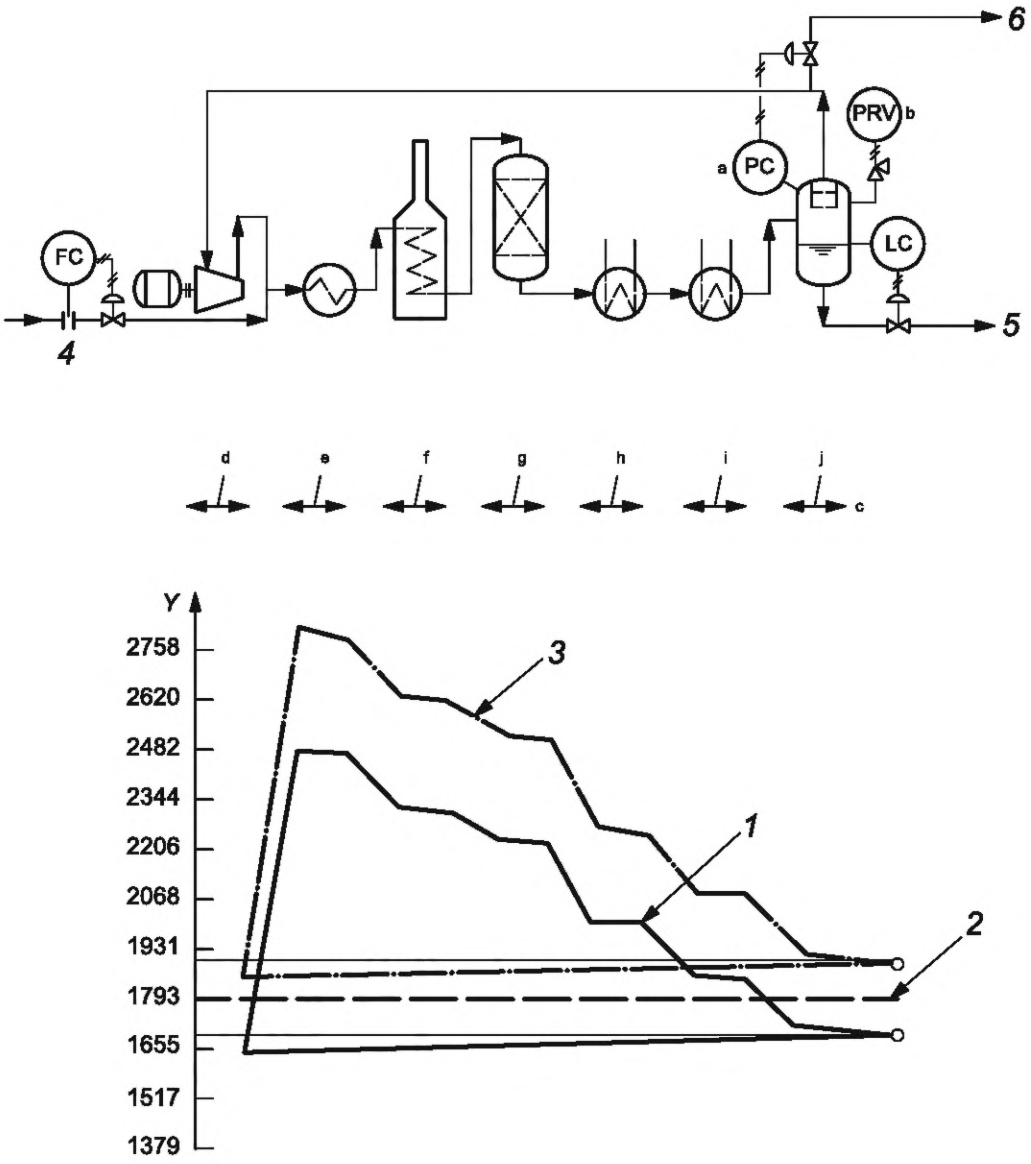
a) строят кривую изменения давления для таких технологических условий, которые приводят к минимальному падению давления (нормальные условия для конца рабочего цикла при загрязненном оборудовании);

b) рассчитывают установившееся давление после останова компрессора при максимальном падении давления. Следует считать, что сепаратор перед остановом компрессора работает при рабочем давлении, а линию продувочного газа считают закрытой для сохранения газа;

c) минимальное расчетное давление или МДРД сепаратора должно быть рассчитано как *105* % от значения установившегося давления, что обеспечивает необходимую разность между рабочим давлением и давлением настройки устройства сброса давления на случай аварийного останова компрессора;

d) строят кривую изменения давления в системе при давлении в сепараторе, равном давлению настройки устройства сброса давления. Исходя из предположения, что объем газового потока постоянен, градиент давления будет пропорционален изменению абсолютного давления.

Примечание — Минимальное расчетное давление или МДРД для каждого компонента оборудования представляет собой давление на входе данного компонента оборудования, определяемое согласно перечислению *d)*.



Y — давление, кПа, избыточное; *1* — кривая изменения давления для нормального режима эксплуатации, для условий конца рабочего цикла технологического процесса [см. B.3, перечисление a)]; *2* — установившееся давление, возникающее после выравнивания давления в системе после останова компрессора при нормальном режиме эксплуатации для условий конца рабочего цикла технологического процесса [см. B.3, перечисление b)]; *3* — кривая изменения давления при работе системы при давлении сепаратора высокого давления, равного давлению настройки устройства сброса давления [см. B.3, перечисление d)]; *4* — подача; *5* — жидкий продукт; *6* — отвод газа; PC — регулятор давления; LC — регулятор уровня; FC — регулятор расхода; PRV — клапан сброса давления

[a] Обычно давление настройки равно 1689 кПа.

[b] Давление настройки равно 1896 кПа.

[c] Типовые минимальные расчетные давления (DP) для компонентов оборудования в системе.

[d] Компрессор: DP = 2799 кПа, минимум.

[e] Теплообменник подача/продукт: DP = 2779 кПа, минимум.

[f] Топка: DP = 2613 кПа, минимум; q — реактор: DP = 2517 кПа, минимум.

[h] Теплообменник подача/продукт: DP = 2234 кПа, минимум.

[i] Конденсатор продукта: DP = 2062 кПа, минимум.

[j] Сепаратор высокого давления: DP = 1896 кПа, минимум.

Рисунок B.1 — Типовая блок-схема системы, в которой одно устройство сброса давления обслуживает несколько компонентов технологической системы с типовыми кривыми изменения давления

Приложение *С*
(обязательное)

Определение требований по сбросу давления при пожарах

С.1 Исходные данные

Следует учитывать, что объемы технологических цистерн не являются основополагающими для оценки количества сбрасываемых паров. Так как теплота поглощается почти полностью за счет излучения, важным фактором является площадь, омываемая потоком, а не объем содержимого технологической цистерны. Следует принять к сведению, что чем больше площадь технологической цистерны, тем меньше вероятность того, что цистерна будет полностью подвергаться воздействию излучения, т. е. чем больше площадь поверхности стенок цистерны, тем меньше средняя удельная скорость поглощения теплоты от пламени.

Таблица *С.1* содержит данные по 10 единицам огневых испытаний и одному реальному пожару. Эти данные были получены в ходе испытаний, в которых были предусмотрены средства измерения полного количества теплоты, поглощаемого сосудом, посредством:

- вычисления теплоты, требуемой для перевода содержащейся жидкости в состояние кипения;
- измерение количества жидкости, испарившейся за заданное время. Приведенные в таблице *С.1* удельные скорости поглощения теплоты представляют собой средние скорости для смачиваемой поверхности.

Таблица *С.1* — Сравнение скоростей поглощения теплоты в огневых испытаниях

Испытание	Вид воздействия	Топливо	Емкость сосуда, $м^3$	Общая площадь, $м^2$	Площадь смачиваемой поверхности, $м^2$	Общее выделение теплоты, кВт	Температура поверхности, °С	Подвод теплоты на единицу смачиваемой поверхности, $кВт/м^2$
1	Металлический лист толщиной 150 мм	Бензин	Боевая рубка	27	11	1100	—	96
2	Металлический лист толщиной 150 мм	Бензин	Боевая рубка	27	11	630	—	55
3	Нагрев воды в баке	Лигроин	0,41	—	2,4	120	—	50
4	Нагрев воды в цистерне	Лигроин	5,2	19	9,8	990	21—100	100
5	Поток воды по листу	Бензин	—	2,2	2,2	230	24	100
6	Нагрев воды в цистерне	Бензин	18,9	37	37	2700	150	73
7	Выработка пара в цистерне	Бензин	31,6	53	37	2500	—	66
8	Поток воды в трубе диаметром DN 20	Бензин	—	0,84	0,8	80	—	96
9	Нагрев воды в цистерне	Керосин	0,14	1,5	0,6	28	150	50
10	Нагрев воды в цистерне	Керосин	0,14	1,5	0,6	30	160	53
11	Пожар на заводе	Бутан	800	400	400	6900	—	17

Установка для испытаний 4, 5 и 8 была разработана таким образом, чтобы обеспечить непрерывный и полный охват пламенем небольших сосудов. При этих условиях были достигнуты максимальные средние скорости подвода теплоты в диапазоне 96—100 $кВт/м^2$. При условиях, созданных при испытаниях 1, 3, 6, 7, 9 и 10, пламя подвергается воздействию воздушных потоков. Все другие факторы способствовали максимальной подводимой теплоте, что маловероятно на нефтеперерабатывающей установке. При этих условиях максимальные средние скорости подвода теплоты значительно варьировались. Испытание 2 отличалось от испытания 1 в том, что было предусмотрено дренирование оборудования. При наличии дренажа максимальная скорость подвода теплоты уменьшилась на 60 %; этот факт учитывают при выводе уравнений (*5*) и (*6*). Испытание 11 показало влияние большой площади на средний подвод теплоты при реальном пожаре.

Испытания проводились в безветренные дни, топливо, как правило, располагалось в углублении под сосудом без возможности его растекания, как это происходило бы в реальных условиях эксплуатации. Крайне маловероятно, чтобы при реальном пожаре на нефтеперерабатывающей установке без принятия этих благоприятных для пожара условий, достигались бы полученные в ходе испытаний максимальные значения поглощения теплоты.

С.2 Характер открытого пламени

Открытое пламя при горении углеводородных жидкостей будет, соответственно, иметь сердцевину из легковоспламеняющихся паров, либо не смешанных с воздухом, либо смешанных в соотношениях, недостаточных для горения. Горение происходит на внешней поверхности сердцевины пламени. Поскольку фактическая зона горения находится в перенасыщенной топливом области, образуется большое количество черного дыма. Возникающая оболочка из сажи может закрывать большую часть пламени.

Образующиеся при горении горячие газы поднимаются вверх, а воздух, обеспечивающий горение, опускается вниз. Горящая масса приобретает большую турбулентность. В процессе колебаний масс горящих паров слой дыма смещается, и время от времени можно видеть яркое пламя красного или оранжевого цвета, что говорит о его более низкой, по сравнении с топочным пламенем, температуре.

Пламя такого вида склонно к увеличению своей температуры, однако его также может сдувать ветер, причем так далеко от сосуда, что его тепловое воздействие на сосуд будет невелико.

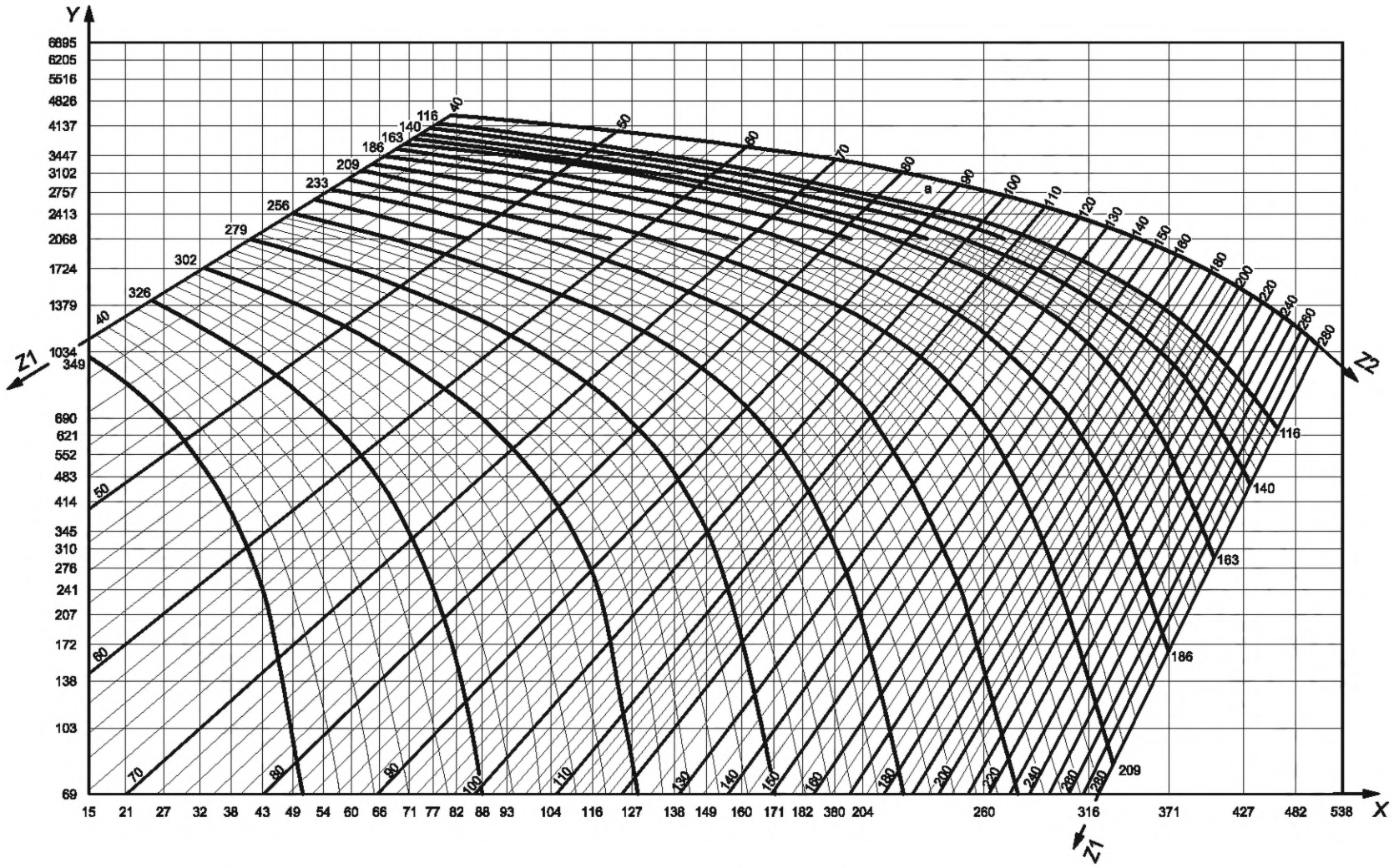
С.3 Данные по удельной теплоте (скрытой теплоте) парообразования углеводородов

Различные углеводородные жидкости имеют различную удельную теплоту (скрытую теплоту) парообразования, даже несмотря на то, что углеводороды как группа вещества ведут себя аналогично друг другу. Удельная теплота (скрытая теплота) парообразования чистой однокомпонентной жидкости уменьшается по мере возрастания температуры парообразования и затем становится равной нулю при критических температурах и давлении для этой жидкости.

На рисунке *С.1* показано давление паров и значения удельной теплоты (скрытой теплоты) для чистых однокомпонентных парафиновых углеводородных жидкостей. Эта диаграмма непосредственно применима для таких жидкостей и может считаться приблизительно соответствующей смесям парафиновых углеводородов, состоящих из двух компонентов, чьи относительные молекулярные массы отличаются не больше чем на разность между пропаном и бутаном или бутаном и пентаном.

Диаграмма также применима к изомерным углеводородам, ароматическим или циклическим соединениям, или парафиновым углеводородным смесям из компонентов, которые имеют мало различающиеся относительные молекулярные массы. Необходимо рассчитать температуру в состоянии равновесия. Используя зависимость рассчитанной температуры от давления паров, по рисунку *С.1* можно определить удельную теплоту (скрытую теплоту). Зависимость для относительной молекулярной массы, показанную на диаграмме, в таких случаях использовать не допускается. Относительную молекулярную массу паров определяют из расчета парожидкостного равновесия.

Для случаев смесей компонентов, которые имеют широкий интервал кипения или значительно различающиеся молекулярные массы, может потребоваться серия точных расчетов равновесия для оценки скоростей парообразования в соответствии с *6.15.3.2*.



X1 — температура, выраженная в градусах Цельсия; *Y1* — давление паров, выраженное в кПа (абсолютное); *Z1* — удельная теплота (скрытая теплота) парообразования, выраженная в кДж/кг; *Z2* — Относительная молекулярная масса

[a] Псевдокритическая — не использовать.

Рисунок *С.1* — Давление паров и теплота парообразования чистых однокомпонентных парафиновых углеводородных жидкостей

Приложение *D*
(справочное)

Примеры расчетов по выбору размеров факельной установки с дозвуковой скоростью сжигания

D.1 Общие положения

В приложении представлены примеры использования двух методик для выбора размеров факельных установок с дозвуковой скоростью сжигания, основанных на влиянии излучения. Первая рассмотренная методика представляет собой упрощенный подход, изложенный в разделе *7*, а вторая методика — это более конкретный подход, основанный на работах Бжустовски и Соммера. Высота и место расположения факельной установки определяют по рассеиванию газа в случае, если пламя гаснет (см. *7.3*).

D.2 Пример 1. Первый вариант выбора размеров факельной установки

D.2.1 Исходные данные

В этом примере материальным потоком являются углеводородные пары. Массовый расход потока q_m равен 45 360 кг/ч (12,6 кг/с). Средняя относительная молекулярная масса паров M равна 46,1. Температура потока T равна 422 К. Коэффициент сжимаемости Z равен 1,0. Теплота сгорания составляет 50 000 кДж/кг. Абсолютное давление в факельном оголовке при сжигании p_2 равно 101,3 кПа. Расчетная скорость ветра u_∞ равна 32,2 км/ч (8,9 м/с).

D.2.2 Расчет диаметра факела

Число Маха определяют по формуле (*25*), приведенной в *8.3.11.15*.

Для Ma_2 = 0,2 диаметр факела рассчитывают следующим образом

$$0,2 = 3,23 \cdot 10^{-5} \left(\frac{45360}{101,3 \cdot d^2} \right) \sqrt{\frac{1 \cdot 422}{46,1}}, \qquad (D.1)$$

d^2 = 0,219;

d = 0,468 м (внутренний диаметр).

Для Ma = 0,5 диаметр факела рассчитывают следующим образом:

d^2 = 0,088;

d = 0,296 м (внутренний диаметр).

D.2.3 Расчет длины факела пламени

Выделяемую теплоту Q рассчитывают следующим образом (см. рисунок *5*):

$$Q = \left(45360 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right) \cdot \left(5 \cdot 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \cdot \left(\frac{1\ \text{ч}}{3600\ \text{с}} \right) = 6,3 \cdot 10^5\ \text{кВт}. \qquad (D.2)$$

Согласно рисунку *5*, длина факела пламени L составляет 50 м (см. рисунок *D.1*).

D.2.4 Альтернативный расчет наклона пламени, вызванного скоростью ветра

Объемный расход паров q_{vap} определяют следующим образом:

$$q_{vap} = \left(\frac{45360}{3600} \right) \cdot \left(\frac{22,4}{46,1} \right) \cdot \left(\frac{422}{273} \right) = 9,46\ \text{м}^3/\text{с}\ \text{(фактическое)}. \qquad (D.3)$$

Наклон пламени, вызванный скоростью ветра (см. рисунок 6) может быть представлен отношением

$$\frac{u_\infty}{u_j}, \qquad (D.4)$$

где u_∞ — скорость ветра;

u_j — скорость в факельном оголовке.

Скорость на выходе факельного оголовка u_j можно определить из уравнения (*D.2*) (см. другой метод расчета u_j в пункте *D.3.3*):

$$u_j = \frac{q}{\pi d^2/4}. \qquad (D.5)$$

Для Ma = 0,2:

$$u_j = \frac{9,46}{\pi \cdot 0,468^2/4} = 55\ \text{м/с}.$$

Для *Ma* = 0,5:

$$u_j = \frac{9,46}{\pi \cdot 0,296^2/4} = 137 \text{ м/с}.$$

При *Ma* = 0,2:

$$\frac{u_\infty}{u_j} = \frac{8,94}{55} = 0,162.$$

Из рисунка *6*: $\sum \frac{\Delta y}{L} = 0,36.$

Из рисунка *6*: $\sum \frac{\Delta x}{L} = 0,85.$

$\sum \Delta y = 0,36 \cdot 50 = 18$ м,

$\sum \Delta x = 0,85 \cdot 50 = 42,5$ м.

При *Ma* = 0,5:

$$\frac{u_\infty}{u_j} = \frac{8,94}{137} = 0,065.$$

Из рисунка *6*: $\sum \frac{\Delta y}{L} = 0,55.$

Из рисунка *6*: $\sum \frac{\Delta x}{L} = 0,68.$

$\sum \Delta y = 0,55 \cdot 50 = 27,5$ м,

$\sum \Delta x = 0,68 \cdot 50 = 34$ м.

D.2.5 **Расчет требуемой высоты факельной установки**

Исходные данные для расчетов по *D.2.5* см. в *7.4.2.3*. Размерности см. на рисунке *D.1*.

Для этих расчетов используют следующие исходные данные.

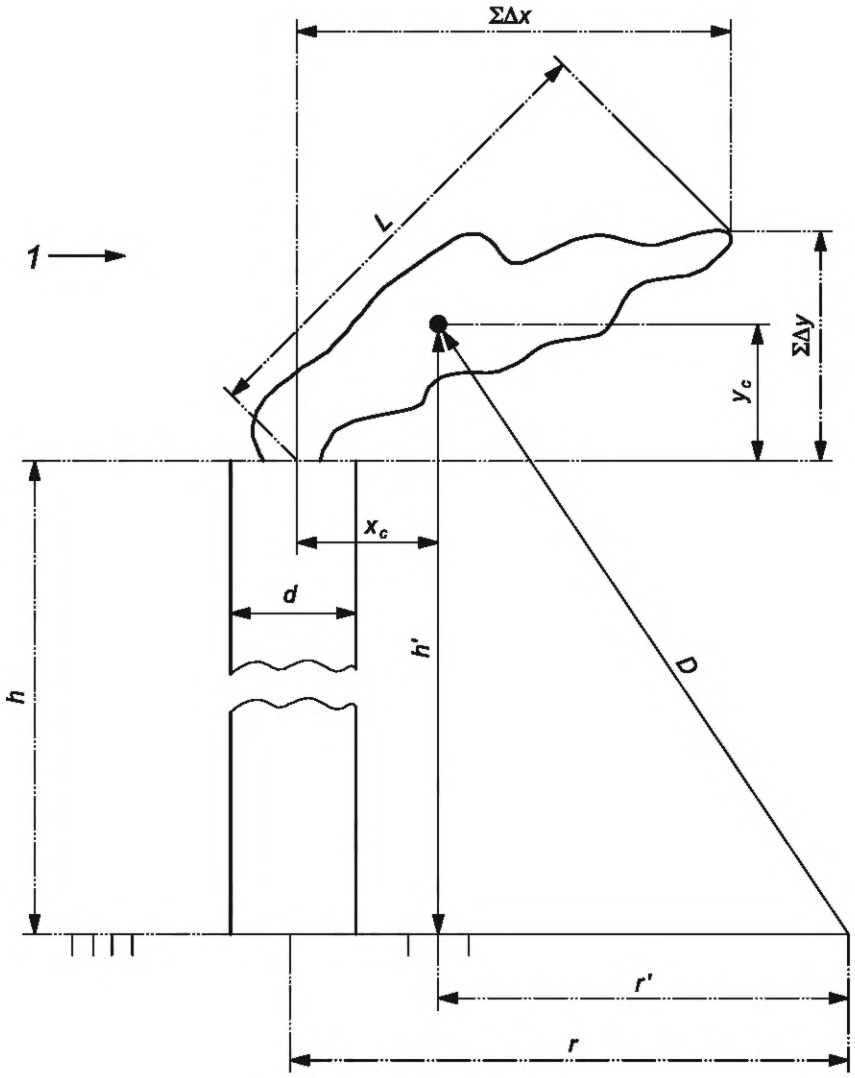
Доля излученной теплоты *F* равна 0,3. Высвободившаяся теплота *Q* (см. *D.2.3*) равна $6,3 \cdot 10^5$ кВт. Предполагают, что от конструкции факельной установки требуется, чтобы максимальное допустимое излучение *K* на расстоянии 45,7 м от факельной установки не превышало 6,3 кВт/м^2.

В формуле (*22*), приведенной в *7.4.2.3*, значение τ следует принимать равным 1,0. Затем, согласно формуле (*22*) рассчитывают расстояние от центра пламени до границы нулевой отметки (т. е. рассматриваемого объекта) *D*, м:

$$D = \sqrt{\frac{\tau \cdot F \cdot Q}{4\pi \cdot K}}, \qquad (D.6)$$

$$D = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 0,3 \cdot 6,3 \cdot 10^5}{4\pi \cdot 6,3}} = 48,9 \text{ м}.$$

Исходными данными для проведения оставшихся расчетов в *D.2.5* является физическое расположение, показанное на рисунке *D.1*.



1 — направление ветра

Рисунок *D.1* — Размерности при выборе размеров факельной установки

При *Ma* = 0,2 высоту факельной установки *h*, м, рассчитывают следующим образом:

$$h' = h + (0{,}5\sum\Delta y), \quad (D.7)$$

$$r' = r - (0{,}5\sum\Delta x), \quad (D.8)$$

Из *D.2.4* при *Ma* = 0,2:

$\sum\Delta y$ = 18,0 м,

$\sum\Delta x$ = 42,5 м.

Исходя из того, что расстояние от нулевой отметки до факела *r* = 45,7 м, получают:

r' = 45,7 – (0,5 · 42,5) = 24,4 м

и

$D^2 = r'^2 + h'^2$,

$48{,}9^2 = 24{,}4^2 + h'^2$,

h' = 42,3 м,

h = 42,3 – (0,5 · 18) = 33,3 м.

При *Ma* = 0,5 *h* рассчитывают следующим образом:

Из *D.2.4* при *Ma* = 0,5: $\sum\Delta y$ = 27,5 м.

Из *D.2.4* при *Ma* = 0,5: $\sum\Delta x$ = 34,0 м.

Исходя из того, что расстояние от нулевой отметки до факела r = 45,7 м, получают:

r' = 45,7 – (0,5 · 34) = 28,7 м

и

$D^2 = r'^2 + h'^2$;

$48{,}9^2 = 28{,}7^2 + h'^2$;

h' = 39,6 м,

h = 39,6 – (0,5 · 27,5) = 25,9 м.

D.3 Пример 2. Определение размеров факела с использованием подхода Бжустовски и Соммера

D.3.1 Исходные данные

В этом примере, основанном на методе, изложенном в работах Бжустовски и Соммера, сброс на сжигание производится углеводородных паров (теплота сгорания равна 50 000 кДж/кг). Расход потока q_m равен 126 кг/с (*453600 кг/ч*). Относительная молекулярная масса факельного газа M_j равна 46,1, а относительная молекулярная масса воздуха M_∞ равна 29. Нормальная средняя скорость ветра u_∞ равна 32,2 км/ч (8,9 м/с). В расчете используют следующие характеристики и коэффициенты:

u_j — скорость факельного газа в факельном оголовке, м/с;

d_j — внутренний диаметр факельного оголовка, м;

p_j — абсолютное давление в факельном оголовке при сгорании, p_j = 108 кПа;

R_H — средняя относительная влажность R_H = 50 %;

Z — коэффициент сжимаемости, Z = 1,0;

C_L — нижний концентрационный предел распространения пламени факельного газа в воздухе, измеренный как объемная доля, составляет 0,021 (см. *D.3.6.1*);

T_j — абсолютная температура факельного газа, T_j = 422 К (149 °С);

T_∞ — температура воздуха T_∞ = 289 К (16 °С);

τ — доля, на которую уменьшается излучение пламени при передаче через атмосферу;

F — доля, излученной теплоты;

Q — высвобождаемое тепло, кВт;

K — допустимая интенсивность излучения, кВт/м^2.

D.3.2 Расчет диаметра факела

Число Маха рассчитывают следующим образом (см. *8.3.11.15*):

$$Ma_2 = 3{,}23 \cdot 10^{-5}\left(\frac{q_m}{p_2 \cdot d^2}\right)\left(\frac{Z \cdot T}{M}\right)^{0{,}5}. \qquad (D.9)$$

Для Ma = 0,5 диаметр факела рассчитывают следующим образом:

$$0{,}5 = 3{,}23 \cdot 10^{-5}\left(\frac{453600}{108 d_j^2}\right)\left(\frac{1 \cdot 422}{46{,}1}\right)^{0{,}5}, \qquad (D.10)$$

где d_j^2 = 0,82 м,

d_j = 0,91 м.

D.3.3 Расположение центра пламени

Скорость на выходе оголовка u_j рассчитываеют следующим образом:

$$\text{изотермическая скорость звука} = 91{,}2(T_j/M_j)^{0{,}5} \qquad (D.11)$$

$$= 91{,}2 \cdot (422/46{,}1)^{0{,}5} = 276 \text{ м/с},$$

u_j = число Маха струи умножить на скорость звука,

= (0,5) · (276) = 138 м/с.

Нижний концентрационный предел распространения пламени для факельного газа $\overline{C}_L$ рассчитывают по формуле

$$\overline{C}_L = C_L\left(\frac{u_j}{u_\infty}\right)\left(\frac{M_j}{M_\infty}\right), \qquad (D.12)$$

$$\overline{C}_L = 0{,}021 \cdot \left(\frac{138}{8{,}9}\right) \cdot \left(\frac{46{,}1}{29}\right) = 0{,}517.$$

Параметр реактивной тяги и ветровой тяги, ($d_j \cdot R$), рассчитывают по формуле (см. *D.3.6.2*)

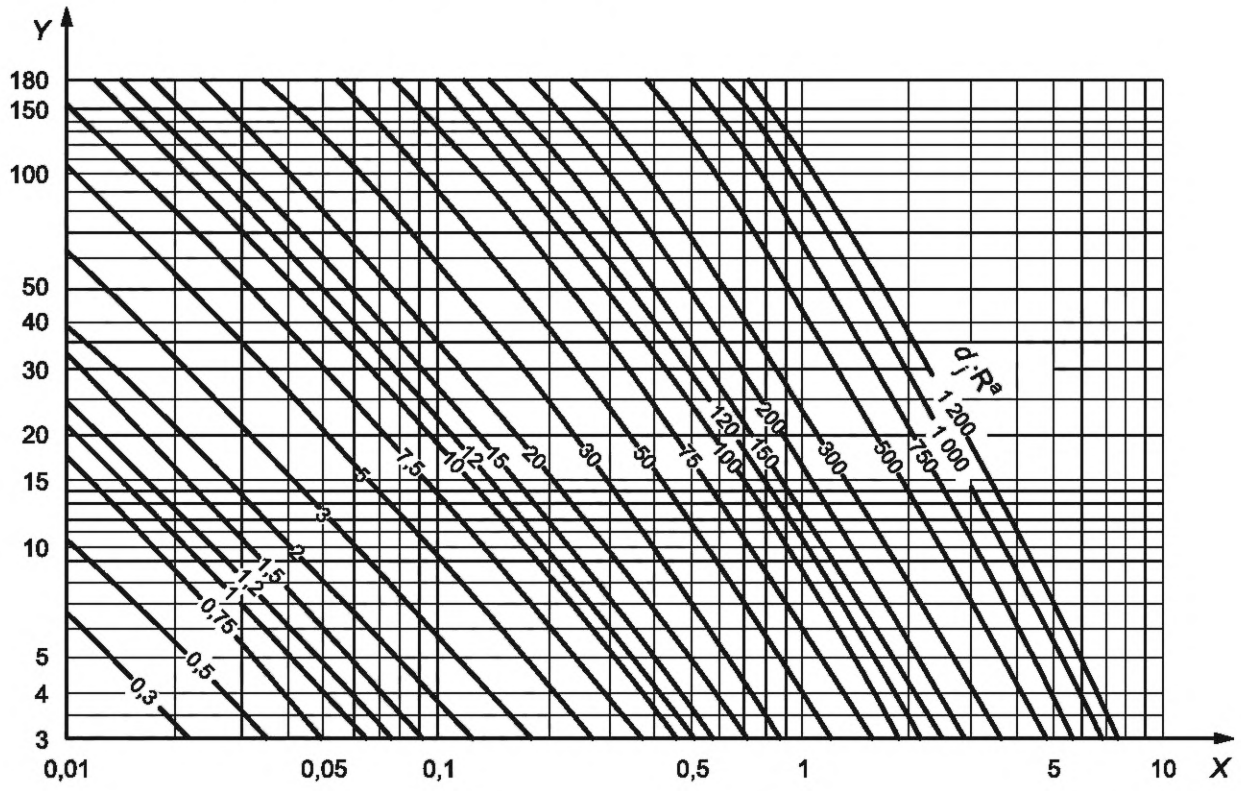
$$d_j \cdot R = d_j \left(\frac{u_j}{u_\infty}\right)\left(\frac{T_\infty \cdot M_j}{T_j}\right)^{0,5}, \qquad (D.13)$$

$d_j \cdot R = 0,91 \cdot (138/8,9) \cdot (289 \cdot 46,1/422)^{0,5} = 79,3$.

Горизонтальные и вертикальные расстояния от факельного оголовка до центра пламени x_c и y_c соответственно определяют следующим образом:

Из рисунка *D.2* при $\overline{C_L}$ = 0,517 и ($d_j \cdot R$) = 79,3: x_c = 18 м.

Из рисунка *D.3* при $\overline{C_L}$ = 0,517 и ($d_j \cdot R$) = 79,3: y_c = 30 м.



X — $\overline{C_L}$, параметр нижнего предела взрываемости факельного газа, см. формулу (*D.7*); *Y* — x_c, расстояние по горизонтали от факельного ствола до центра пламени, м

[a] ($d_j \cdot R$) — параметр реактивной тяги и ветровой тяги, см. формулу (*D.8*).

Рисунок *D.2* — Центр пламени для факелов и воспламенившихся выбросов. Расстояние по горизонтали x_c

D.3.4 **Расчет расстояния от центра пламени до рассматриваемого объекта или точки**

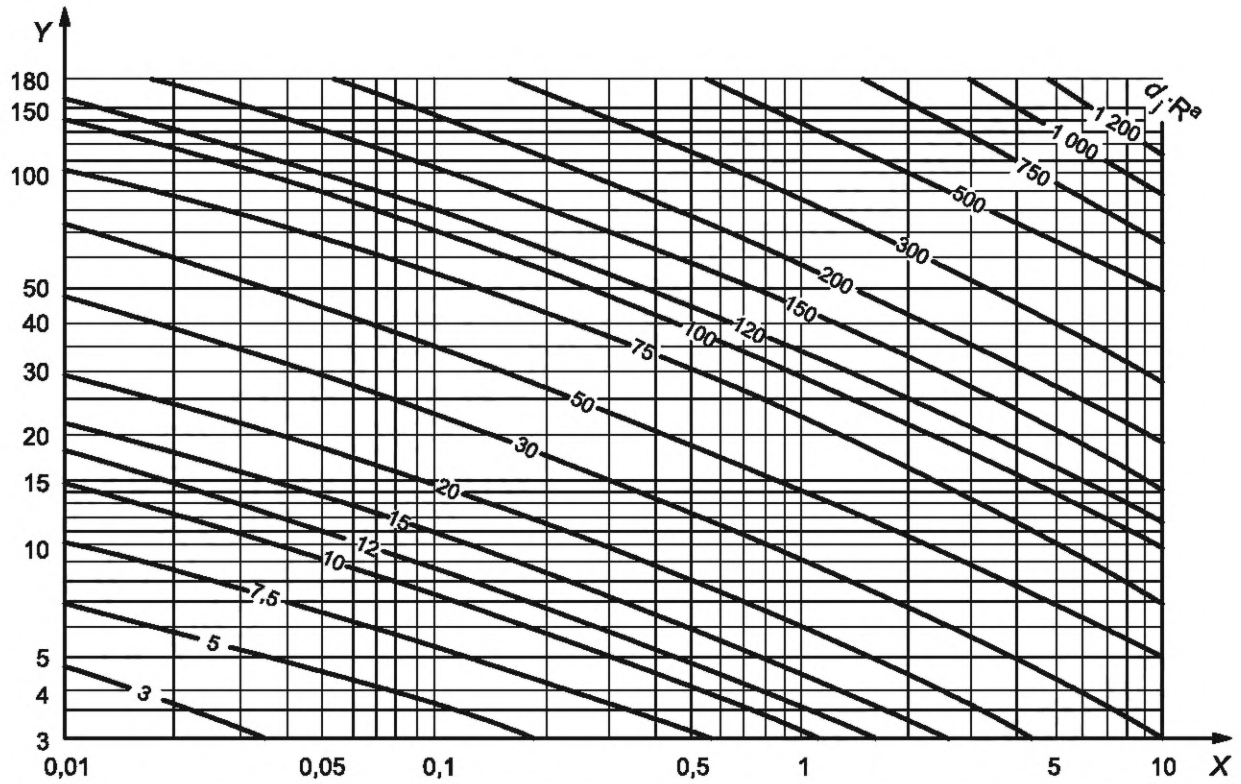
Исходными данными для этого расчета являются: доля излученной теплоты *F* равна 0,3. Выделяемая теплота (см. *D.2.3*) *Q* равна $6,3 \cdot 10^6$ кВт. Предполагают, что конструкция факельной установки должна быть такова, чтобы максимальное допустимое излучение (см. *7.4.2.3*) *K* не превышало 6,3 кВт/м^2.

В формуле (*22*) значение τ следует принимать равным 1,0 (см. *D.3.6.2* и *D.3.6.3*). Затем рассчитывают расстояние от центра пламени до рассматриваемого объекта или точки (т. е. расстояние до предела интенсивности теплового излучения, например до нулевой отметки, платформы с оборудованием или границы установки) *D*:

$$D = \sqrt{\frac{\tau \cdot F \cdot Q}{4\pi \cdot K}}, \qquad (D.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 0,3 \cdot 6,3 \cdot 10^6}{4\pi \cdot 6,3}} = 154 \text{ м}.$$

Поэтому при максимальном допустимом *K* = 6,3 кВт/м^2, *D* = 154 м от центра пламени.



X — $\overline{C}_L$, параметр нижнего предела взрываемости факельного газа, см. формулу (*D.7*); Y — y_c, расстояние по вертикали от факельного ствола до центра пламени, м;

[a] $(d_j \cdot R)$ — параметр реактивной тяги и ветровой тяги, см. формулу (*D.8*)

Рисунок *D.3* — Центр пламени для факелов и воспламенившихся выбросов. Расстояние по вертикали y_c

D.3.5 **Определение высоты факельной установки**

Предельная высота факельной установки зависит от выбранных расчетных критериев и оборудования, расположенного около факела. У нулевой отметки при радиусе r = 47,5 м от основания факельной установки, при K не более 6,3 кВт/м^2 и при общем расположении, показанном на рисунке *D.1*, h определяют по формулам:

$$h' = h + y_c; \quad (D.15)$$

$$r' = r - x_c; \quad (D.16)$$

$$D^2 = r'^2 + h'^2 = 154^2; \quad (D.17)$$

$$D^2 = (r - x_c)^2 + (h + y_c)^2. \quad (D.18)$$

При подставлении значений получают:

$(h + 30)^2 = 154^2 - (45{,}7 - 18)^2 = 22\,949$;

$h = 151 - 30 = 121$ м.

D.3.6 **Пояснительные примечания**

D.3.6.1 Нижний концентрационный предел распространения пламени для чистых компонентов принимают согласно ГОСТ 12.1.044 и [8].

Нижние пределы взрываемости смесей рассчитывают, используя правило Ле Шателье, по формуле

$$C_L = \left[\left(\frac{y_1}{C_{L1}}\right) + \left(\frac{y_2}{C_{L2}}\right) + \ldots + \left(\frac{y_n}{C_{Ln}}\right)\right]^{-1}, \quad (D.19)$$

где C_{L1}, C_{L2},..., C_{Ln} — нижний концентрационный предел распространения пламени (т. е. нижний предел воспламеняемости) компонента 1, 2…n, в воздухе;

y_1, y_2,..., y_n — молярная доля (или объемная доля) компонента 1, 2 …n в смеси.

D.3.6.2 Для коррекции влияния излучения рекомендуется использовать долю переданной тепловой интенсивности τ. В случае факелов поглощение в атмосфере приводит к ослаблению теплового потока K примерно на

10 % — 20 % на расстоянии 150 м. Эмпирическая формула (*D.20*) применима только к яркому углеводородному пламени, излучающему при температуре 1 227 °С, температуре окружающего воздуха по сухому термометру 27 °С и относительной влажности более 10 %, на расстоянии от пламени между 30 и 150 м, однако формулу можно использовать для оценки величины τ в более широком диапазоне условий.

$$\tau = 0{,}79\left(\frac{100}{R_H}\right)^{1/16}\left(\frac{30}{D}\right)^{1/16}, \qquad (D.20)$$

где τ — доля теплового потока, переданного через атмосферу;

R_H — относительная влажность, %;

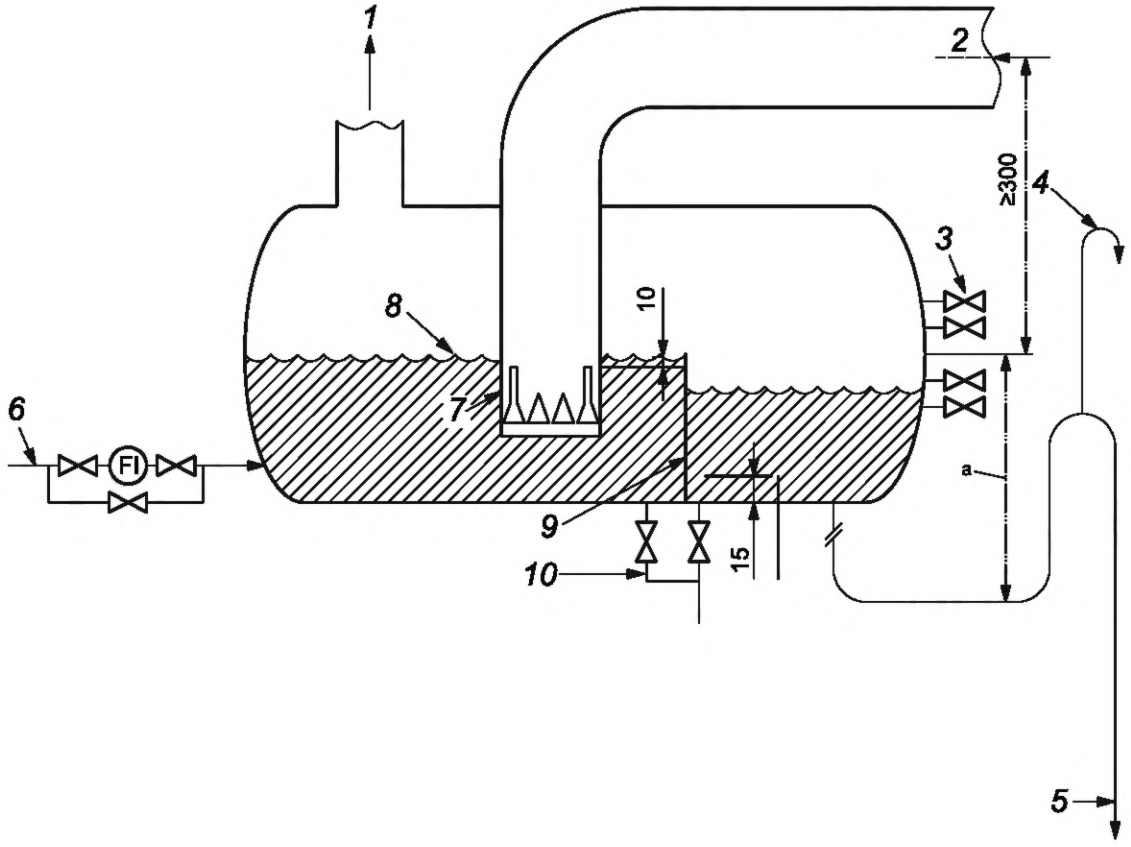
D — расстояние от пламени до освещенной области, м.

Формула (*D.20*) применима для большинства факельных газов за исключением H_2 и H_2S, которые сгорают с небольшим световым излучением или совсем без него. Если ожидаемые расчетные условия очень сильно отличаются от условий действия формул (*D.4*) и (*D.5*), необходимо использовать уравнения, приведенные в *[3]*.

D.3.6.3 Если используют нагнетание водяного пара со скоростью около 0,3 кг пара на 1 кг факельного газа, тогда доля излучаемой теплоты *F* уменьшается на 20 %.

Приложение *Е*
(справочное)

Типовое оборудование

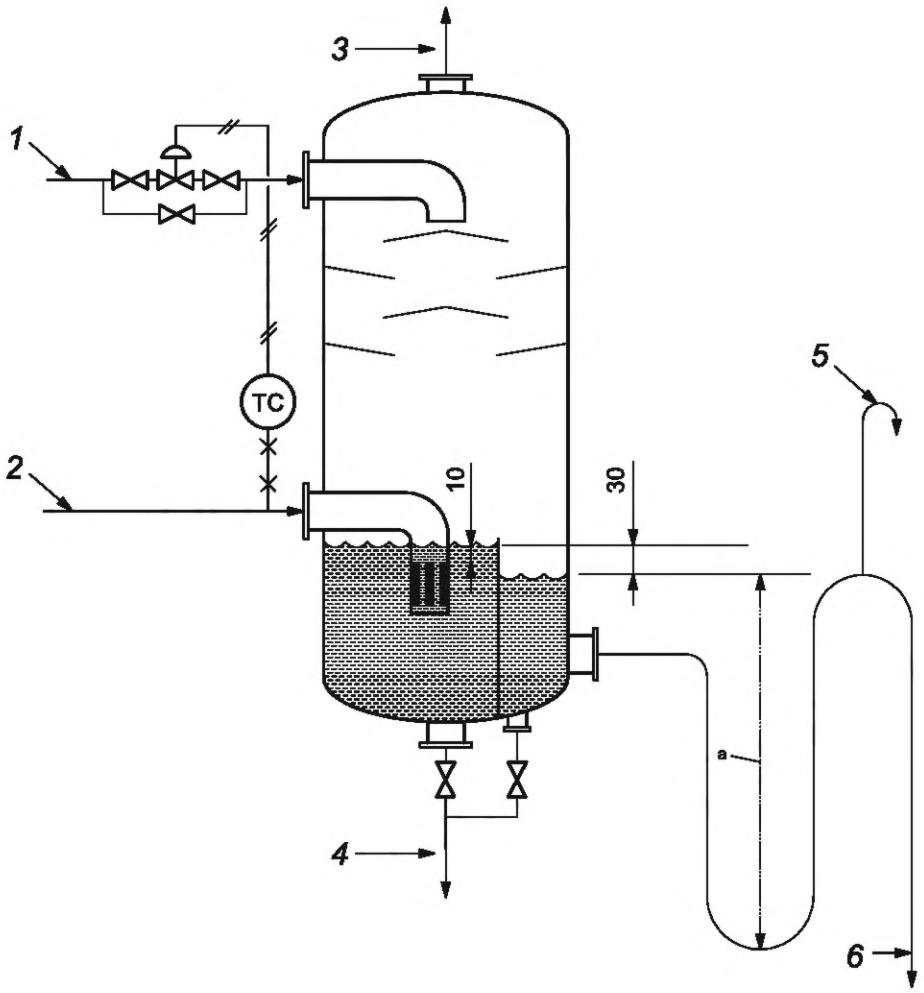


1 — на факел; *2* — факельный коллектор; *3* — пробные краны для проверки наличия углеводородов; *4* — атмосферный клапан; *5* — к сточному трубопроводу; *6* — подача воды; *7* — погружной затвор, приваренный к окончанию факельного коллектора; *8* — уровень воды; *9* — перегородка; *10* — дренаж; FI — расходомер

[a] Необходимо, чтобы расчетное давление гидравлического затвора сточного трубопровода составляло как минимум 175 % от максимального рабочего давления емкости.

Примечание — Размеры указаны в сантиметрах.

Рисунок *Е.1* — Типовая факельная затворная емкость горизонтального исполнения



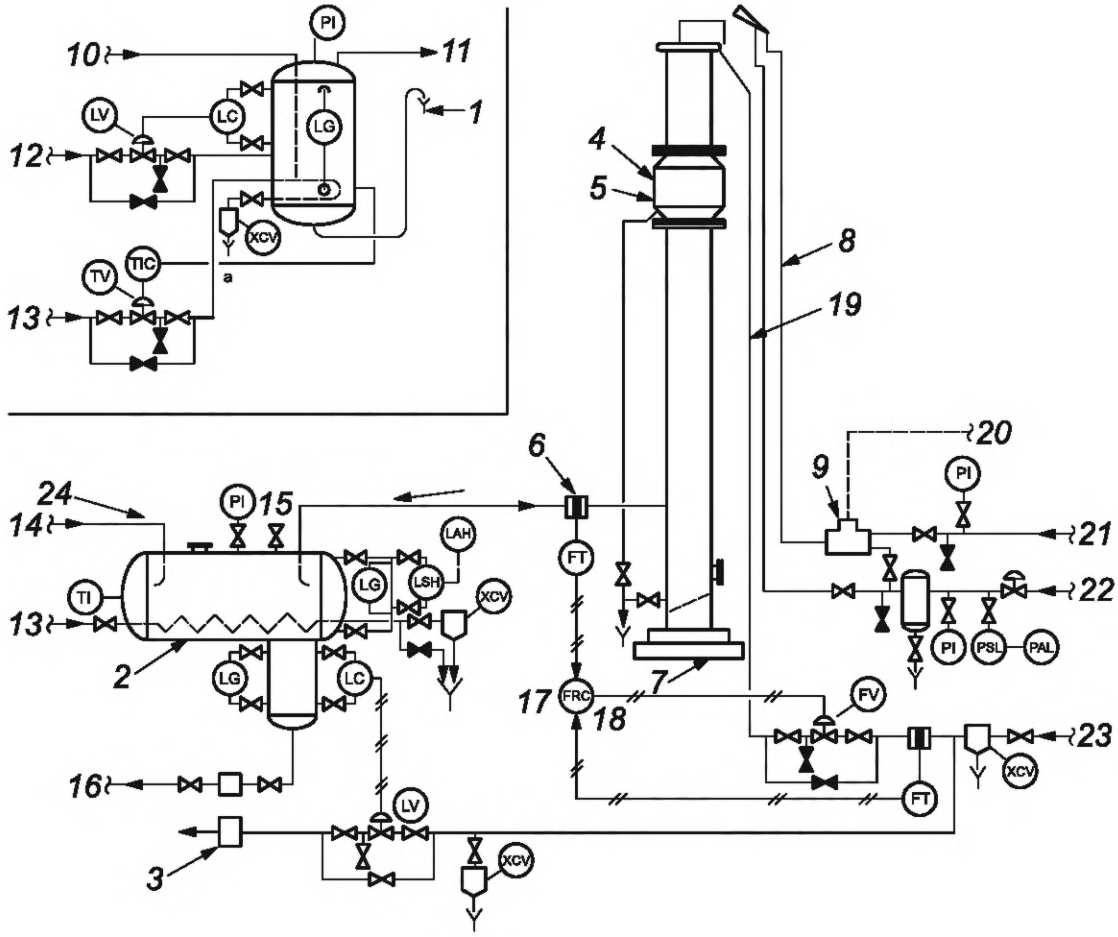
1 — охлаждающая вода; *2* — углеводород; *3* — отвод в атмосферу или в факельный коллектор; *4* — дренаж; *5* — воздушник; *6* — вода или сконденсированный углеводород, направляемые в сточный трубопровод; ТС — регулятор температуры

[a] Необходимо, чтобы расчетное давление гидравлического затвора сточного трубопровода составляло как минимум 175 % от максимального рабочего давления емкости.

Примечание — Размеры указаны в сантиметрах.

Рисунок *Е.2* — Типовая охлаждающая емкость

На рисунке *Е.3* представлено устройство действующей системы и ее компоненты. Устройство системы зависит от требуемой пропускной способности. Соответственно, при выборе типов и числа компонентов, а также их применения, следует ориентироваться на потребности конкретного промышленного объекта и его технические показатели.



1 — сточный трубопровод для сброса нефтесодержащих вод (к системе кислых вод, если на факеле в непрерывном режиме сжигаются большие объемы H_2S); *2* — факельный сепаратор; *3* — насос с паровым приводом и резервный к нему насос с электрическим приводом; *4* — молекулярный затвор; *5* — продувочный газ; *6* — элемент, измеряющий расход; *7* — факельный ствол; *8* — линия зажигания; *9* — блок розжига; *10* — от факельного сепаратора; *11* — к факельному стволу; *12* — вода; *13* — пар; *14* — от факельного коллектора; *15* — атмосферный клапан; *16* — к оборудованию извлечения нефти или к кубовому остатку; *17* — установлен на приборной панели; *18* — прибор, показывающий расход (по перепаду давления); *19* — пар на коллектор для бездымного горения; *20* — электропитание для зажигания; *21* — подача воздуха; *22* — топливный газ к дежурным горелкам и для зажигания; *23* — пар для бездымного сжигания; *24* — уклон в сторону факельного сепаратора; PI — манометр; PSL — сигнализатор низкого давления; PAL — сигнализация низкого давления; LV — клапан регулирования уровня; LC —датчик уровня; LG — указатель уровня; LSH — сигнализатор верхнего уровня; LAH — сигнализация верхнего уровня; TI — термометр; TV — клапан регулирования температуры; TIC —регулирование температуры; FV — клапан регулирования расхода; FT — датчик расхода; FRC — показывающий прибор расходомера; XCV — конденсатоотводчик

[a] На вставке показан альтернативный метод уплотнения (водяной затвор).

Рисунок *Е.3* — Типовая факельная установка

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 12.2.085—2017	NEQ	ISO 4126-1:2013 «Устройства предохранительные для защиты от избыточного давления. Часть 1. Предохранительные клапаны»
ГОСТ Р 59374.6—2021	MOD	ISO 4126-6:2014 «Устройства предохранительные для защиты от избыточного давления. Часть 6. Применение, выбор и установка предохранительных устройств с разрывной мембраной»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- MOD — модифицированный стандарт;
- NEQ — неэквивалентный стандарт.

Приложение ДБ
(справочное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта

Таблица ДБ.1

Структура настоящего стандарта			Структура международного стандарта ИСО 23251:2006		
Разделы	Подразделы	Пункты	Разделы	Подразделы	Пункты
1			1		
2			2		
3			3		
4			—		
5	5.1—5.7	5.1.1—5.1.6	4	4.1—4.6	—
		5.3.1—5.3.14			4.3.1—4.3.15
6	6.1—6.22	6.15.4.1—6.15.4.3	5	5.1—5.22	5.15.4.1—5.15.4.5
		6.20.2.1—6.20.2.3			5.20.2.1—5.20.2.4
7	7.1—7.6	7.3.4.1—7.3.4.7	6	6.1—6.6	6.3.4.1—6.3.4.3
		7.4.3.1—7.4.3.10			6.4.3.1—6.4.3.8
8	8.1	8.1.2.1—8.1.2.5	7	7.1	—
		8.1.3.1—8.1.3.3			—
		8.1.4.1—8.1.4.5			7.1.4.1—7.1.4.3
	8.2	8.2.1.1—8.2.1.4			—
		8.2.2.1—8.2.2.7			—
		8.2.3.1—8.2.2.6		—	—
		8.2.3.1—8.2.3.6		—	—
	8.3	8.3.3.1—8.3.3.4		—	—
		8.3.4.1—8.3.4.3		—	—
		8.3.5.1—8.3.5.3		—	—
		8.3.6.1—8.3.6.3	7	—	—
		8.3.7.1—8.3.7.13		—	—
		8.3.8.1—8.3.8.8		—	—
		8.3.9.1—8.3.9.20		—	—
		8.3.10.1—8.3.10.6		—	—
		8.3.11.1—8.3.11.23		—	—
		8.3.12.1—8.3.12.41		—	—
		8.3.13.1—8.3.12.41		7.3	7.3.3.1—7.3.3.3
		8.3.14.1—8.3.14.6			7.3.4.1—7.3.4.3
	8.4	8.4.2.1—8.4.2.13		7.4	7.4.3.1—7.4.3.5
Приложение А			Приложение Е		
Приложение В			Приложение В		
Приложение С			Приложение А		
Приложение D			Приложение С		
Приложение Е			Приложение D		
Приложение ДА			—		
Приложение ДБ			—		

Библиография

[1] *Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87)*

[2] *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (утверждены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 г. № 534)*

[3] *Руководство по безопасности факельных систем (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 декабря 2021 г. № 450)*

[4] *Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утверждена приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404)*

[5] *Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утверждено приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 144)*

[6] *Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91 Расчет поступлений теплоты солнечной радиации в помещения. — Москва: АО Промстройпроект, 1993. — 42 с.*

[7] *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» (утверждены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 г. № 536)*

[8] *Баратов А.Н., Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Справ. изд.: в 2-х книгах — М.: Химия, 1990 г. — 496 с.*

УДК 621.643:006.354 ОКС 75.180.20

Ключевые слова: системы ограничения и сброса давления, системы утилизации, факельные системы, свечи рассеивания

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 18.10.2023. Подписано в печать 13.11.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 15,07.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru