



Вакуумный насос и вакуумные системы

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Уведомление об авторском праве

©Edwards Limited 2019. Все права защищены.

Содержание

1. Введение.	5
1.1 Содержание документа.	5
1.2 Опасность взрыва.	5
2. Когда возникают потенциальные опасности.	7
2.1 Проектирование.	7
2.2 Конструкция.	7
2.3 Ввод в эксплуатацию, эксплуатация.	8
2.4 Техническое обслуживание, вывод из эксплуатации.	8
3. Химические источники опасности.	9
3.1 Химические реакции и взрывы.	9
3.1.1 Гомогенные реакции.	9
3.1.2 Гетерогенные реакции.	9
3.2 Проблемы непредусмотренных реакций.	9
3.3 Взрывоопасность.	10
3.3.1 Окислители.	10
3.3.2 Огнеопасные и взрывоопасные материалы.	11
3.3.3 самовоспламеняющиеся материалы;	12
3.3.4 Азид натрия.	12
3.4 Ядовитые или агрессивные вещества.	13
3.4.1 Ядовитые вещества.	13
3.4.2 Агрессивные вещества.	14
3.5 Выводы — химические источники опасности.	14
4. Физические источники опасности.	16
4.1 Причины опасного повышения давления.	16
4.2 Повышенное давление на выпуске насоса.	16
4.3 Защита от избыточного давления на выпуске.	17
4.4 Избыточное давление на впуске.	17
4.4.1 Источники подачи сжатого газа и противодействие.	17
4.4.2 Некорректная работа насоса.	18
4.5 Выводы — физические источники опасности.	18
5. Анализ опасностей.	19
6. Конструкция системы.	20
6.1 Значения номинального давления в системе.	20
6.2 Устранение застойных зон.	20
6.3 Системы отвода выхлопных газов.	21
6.4 Источники потенциально взрывоопасных газов и парообразных смесей.	21

6.5	Избегание области воспламенения.	22
6.6	Уровни надежности системы.	25
6.7	Использование защитных систем с пламегасителями.	26
6.8	Источники воспламенения.	26
6.9	Выводы — конструкция системы.	28
7.	Выбор оборудования.	30
7.1	Роторные лопастные и поршневые насосы с масляным уплотнением.	31
7.2	Безмасляные насосы Edwards.	31
7.3	Конструкция трубопроводов.	32
7.3.1	Сильфоны.	32
7.3.2	Гибкие трубопроводы.	32
7.3.3	Точки крепления.	32
7.3.4	Уплотнения.	32
7.4	Физическая защита от избыточного давления.	33
7.4.1	Ограничение (сброс) давления.	33
7.4.2	Сигнализация и останов при избыточном давлении.	33
7.4.3	Регуляторы давления.	33
7.4.4	Пламегасители.	33
7.5	Системы продувки.	34
7.6	Выводы — выбор оборудования.	34
8.	Процедура эксплуатации и обучение.	35
9.	Выводы.	36

Компания Edwards Ltd. не несет никакой ответственности и не предоставляет никакой гарантии в отношении точности, применимости, безопасности и результатов применения приведенной в настоящем руководстве информации и описанных в нем процедур. Edwards Ltd. не несет никакой ответственности за вред или ущерб, причиненный в результате каких-либо действий, предпринятых в связи с доверием к содержанию приведенной в этой презентации информации, а также в результате использования ошибочной или неполной информации. Обратите внимание, что приведенная информация имеет исключительно консультативный характер. Несмотря на то, что компания Edwards может предоставлять указания относительно потенциального риска в результате использования опасных материалов, ответственность за проведение анализа опасностей и оценки рисков, специфических для конкретных рабочих условий и среды, а также соответствие требованиям национального законодательства, возлагается на конечного пользователя.

1. Введение

1.1 Содержание документа

Настоящий документ содержит информацию по технике безопасности, связанную с характеристиками, конструкцией, эксплуатацией и техническим обслуживанием вакуумных насосов и систем.

В документе описаны некоторые из факторов возможного риска и приведены рекомендации о том, как минимизировать вероятность их возникновения и как правильно действовать в опасных ситуациях.

Настоящий документ предназначен для всех специалистов по проектированию, монтажу, эксплуатации и техническому обслуживанию вакуумных насосов и систем. Вместе с данным документом рекомендуется изучить:

- руководства по эксплуатации оборудования;
- сведения, предоставляемые поставщиками технологических газов и химических веществ;
- документацию, предоставляемую местным отделом техники безопасности.



ВНИМАНИЕ!

Несоблюдение инструкций по безопасности, приведенных в данном руководстве и соответствующем руководстве по эксплуатации насоса, может привести к тяжелым и смертельным травмам.

Для получения любой дополнительной информации о пригодности изделий компании Edwards для конкретных технологических систем, а также по вопросам безопасности вакуумных насосов и систем обращайтесь к поставщику или в компанию Edwards.

1.2 Опасность взрыва

Примечание.

В продажу поступают насосы Edwards, которые соответствуют требованиям директивы Европейского Союза ATEX для оборудования, используемого в местах с потенциально взрывоопасной атмосферой.

Причиной непредвиденных взрывов всегда является несоблюдение инструкций по безопасности. Тем не менее некоторые из этих аварий были очень сильными и могли привести к серьезным травмам и гибели персонала.

Распространенной причиной сильного разрушения компонентов вакуумных систем является воспламенение огнеопасных материалов, а также блокирование или ограничение выпускного отверстия насоса. Для исключения опасности при работе с вакуумными насосами и системами необходимо уделять внимание следующим моментам.

- Если система не предназначена для перекачки материалов, концентрация которых может привести к воспламенению в вакуумном насосе, необходимо убедиться, что смеси огнеопасных жидкостей и окислителей находятся за пределами воспламеняемости. Для этого, в частности, может использоваться продувочный инертный газ. См. [Избегание области воспламенения](#) на стр. 22.

- При работе выпускная часть насоса не должна перекрываться механическими компонентами (например, клапанами или заглушками) или блокироваться из-за отложения технологических материалов или попутных продуктов в трубопроводах, фильтрах и других узлах выпускной системы, если такая возможность не предусмотрена конструкцией системы.
- Для смазки механизмов насоса, подверженных воздействию высококонцентрированного кислорода и других окислителей, следует использовать только ПФПЭ (перфторполиэфирные) масла. Другие типы производимых «негорючих» масел могут использоваться при концентрации окислителей не более 30 %.
- Необходимо исключить случайный подъем давления выше нормы при преднамеренном закрытии трубопроводов или изоляции вакуумной системы; например, в результате выхода из строя регулятора давления или системы управления продувкой.
- Если перекачиваемый продукт может сильно реагировать с водой, в контуре охлаждения рекомендуется использовать не воду, а другую жидкость (например, хладагент). За дополнительной информацией обращайтесь в компанию Edwards.

2. Когда возникают потенциальные опасности

Потенциальные опасности могут возникать на всех этапах службы системы. Эти этапы включают:

- Проектирование
- Конструкция
- Ввод в эксплуатацию, эксплуатация
- техническое обслуживание, вывод из эксплуатации.

Далее приведены общие сведения о проблемах, возникающих на каждом этапе. Во всех случаях следует понимать, что сокращение потенциальных опасностей для системы возможно только при условии полного знания оборудования и порядка функционирования (устройства) системы. При возникновении сомнений обращайтесь к поставщикам за информацией или рекомендациями.

2.1 Проектирование

При проектировании системы оборудование следует выбирать согласно выполняемой им задаче. Необходимо учесть:

- технические характеристики оборудования;
- конструкционные материалы;
- расходные материалы, используемые при работе оборудования (например, смазочные масла и рабочие жидкости);
- технологические режимы и материалы.

Кроме этого необходимо подумать об общей пригодности оборудования для применения и гарантировать его работу только в пределах заданных условий эксплуатации.

Необходимо создать методику проектирования, сводящую к минимуму ошибки в конструкции. Эта методика должна включать независимую проверку проектных расчетов и согласование проектных параметров.

Анализ опасных факторов должен всегда включаться в общий анализ проекта. Множество потенциальных опасностей можно устранить при тщательном анализе будущей работы оборудования в системе заказчика.

2.2 Конструкция

Чтобы исключить возникновение потенциальных опасностей на стадии монтажа, необходимо привлекать обученный и квалифицированный персонал и осуществлять технологический контроль. Квалифицированные работники способны определять надлежащие компоненты, требуемые при сборке, а также выявлять неисправные или некачественные компоненты и устройства. Технологический контроль позволяет выявлять и исправлять некачественно выполненные работы и обеспечивает строгое соблюдение технического задания.

Сотрудники должны соблюдать особую осторожность и все требования техники безопасности при установке нового оборудования в системы, через которые прокачивались и в которых могут по-прежнему присутствовать токсичные, агрессивные, огнеопасные, удушающие, самовоспламеняющиеся или другие вещества.

Монтаж электрооборудования должен выполнять обученный и квалифицированный персонал. Работы необходимо проводить с соблюдением соответствующих местных и государственных нормативов.

2.3 Ввод в эксплуатацию, эксплуатация

Опасным фактором в процессе эксплуатации является выход из строя устройств и компонентов системы в результате старения, ненадлежащего использования и плохого технического обслуживания. Чтобы исключить возникновение данных проблем, необходимо надлежащим образом обучать персонал правилам эксплуатации (и технического обслуживания) оборудования. Там, где это необходимо, следует использовать руководства по эксплуатации, учебные материалы и послепродажное обслуживание компании Edwards и других поставщиков.

2.4 Техническое обслуживание, вывод из эксплуатации

В целях предотвращения контакта с опасными веществами сотрудники должны соблюдать особую осторожность и все требования техники безопасности при техническом обслуживании систем, через которые прокачивались и в которых образуются токсичные, агрессивные, огнеопасные, удушающие, самовоспламеняющиеся или другие вещества.

Необходимо также предусмотреть программу планового технического обслуживания, а также способы безопасной ликвидации компонентов, которые могут быть загрязнены опасными веществами. Для обеспечения безопасного и надежного функционирования оборудования необходимо следовать указаниям по техническому обслуживанию, приведенным в руководстве по эксплуатации. Как правило, к системам АТЕХ предъявляются дополнительные требования.

3. Химические источники опасности

3.1 Химические реакции и взрывы

Необходимо тщательно проанализировать все возможные химические реакции, которые могут возникать в разных местах вакуумной системы при нормальной эксплуатации, в случае ненадлежащего использования и при возникновении неисправностей. В частности, необходимо тщательно изучить реакции с участием газов и паров, которые могут привести к взрыву. Опыт показывает, что взрывы оборудования происходили в системах, в которых использовались неучтенные проектировщиками материалы, а также там, где не были учтены режимы отказа оборудования.

3.1.1 Гомогенные реакции

Гомогенные реакции происходят в газовой фазе между молекулами газов двух или более типов. Реакции горения газов обычно протекают в этой форме. Например, насколько нам известно, между кремневодородом (SiH_4) и кислородом (O_2) всегда происходит гомогенная реакция. Поэтому, если такая реакция происходит в производственном процессе, то для того чтобы она не протекала слишком быстро, необходимо тщательно контролировать технологическое давление и концентрацию реагентов.

3.1.2 Гетерогенные реакции

Для протекания гетерогенной реакции необходима твердая поверхность. Некоторые молекулы газа вступают в реакцию только при поглощении поверхностью, но не реагируют в газовой фазе при низком давлении. Данный тип реакции идеален для определенных процессов, так как он минимизирует влияние реакций, происходящих в рабочей камере, замедляет образование частиц и снижает вероятность загрязнения.

Большинство гетерогенных реакций становятся гомогенными при более высоком давлении, обычно значительно меньшем, чем атмосферное. Это означает, что реакция газов в рабочей камере не всегда сопоставима с реакцией газов после сжатия вакуумным насосом.

3.2 Проблемы непредусмотренных реакций

Непредусмотренные реакции могут возникать при контакте химических веществ с газами или материалами, не предусмотренными проектировщиками системы. Например, это может произойти в случае утечки и попадания в систему атмосферного воздуха или утечки в атмосферу токсичных, огнеопасных, взрывоопасных или других опасных газов.

Для того чтобы исключить подобные реакции, необходимо поддерживать герметичность системы на уровне 1×10^{-3} мбар $\text{л} \cdot \text{с}^{-1}$ (1×10^{-1} Па $\text{л} \cdot \text{с}^{-1}$) или ниже. В высоковакуумных установках обычно поддерживается герметичность на уровне 1×10^{-5} мбар $\text{л} \cdot \text{с}^{-1}$ (1×10^{-3} Па $\text{л} \cdot \text{с}^{-1}$) или ниже. Кроме этого, необходимо, чтобы все клапаны системы были герметично установлены в своих седлах.

Газы, обычно не контактирующие друг с другом в технологическом цикле, могут смешиваться в насосной системе и в выпускных трубопроводах.

После планового технического обслуживания в рабочей камере могут оставаться водяной пар или чистящие растворы. Это может случиться после промывки и очистки рабочей камеры. Кроме этого, водяной пар может попасть в систему из вытяжных каналов и очистителей отработанных газов.

Если для очистки вакуумных систем от технологических осадков используются растворители, они должны быть совместимы с технологическими материалами в этих системах.

3.3 Взрывоопасность

Взрывоопасные источники обычно принадлежат к одной из следующих категорий:

- окислители;
- огнеопасные и взрывоопасные материалы;
- самовоспламеняющиеся материалы;
- азид натрия.

Следует отметить, что в странах Европейского Союза (и некоторых других странах) поставщики технологических материалов по закону обязаны публиковать физические и химические свойства продаваемых ими материалов (обычно в виде паспорта безопасности). Паспорт материала должен включать, где применимо, информацию о верхнем и нижнем пределах взрываемости, данные о физических и термодинамических свойствах, а также описание опасности для здоровья, представляемой данным материалом. Обращайтесь к этим данным для получения справочной информации.

3.3.1 Окислители

Такие окислители, как кислород (O_2), озон (O_3), фтор (F_2), трехфтористый азот (NF_3) и фтористый вольфрам (WF_6), часто прокачиваются в вакуумных системах. Окислители быстро вступают в реакцию с широким спектром веществ и материалов. Во время таких реакций часто происходит выделение тепла и увеличение давления газа. В данном случае потенциальную опасность представляют возгорание и избыточное давление в насосе и (или) в выпускной системе.

Для безопасного перекачивания этих газов необходимо соблюдать указания по обеспечению безопасности, предоставляемые поставщиками газа, а также следующие рекомендации.

- Для смазывания насосов, применяемых для перекачки кислорода с объемной концентрацией более 25 % в инертном газе, следует использовать только ПФПЭ (перфторполиэфирную) смазку.
- ПФПЭ-смазкой следует смазывать насосы, применяемые для перекачки газов с объемным содержанием кислорода менее 25 % в обычных условиях, но превышающим 25 % в режиме неисправности. Если прокачивается не кислород, обратитесь к поставщику смазки и уточните рекомендуемые уровни давления окислителя.
- Использование ПФПЭ-смазки предпочтительно, но также допускается применение углеводородных смазок при условии достаточной подачи продувочного инертного газа, исключаяющей воздействия на смазку повышенных концентраций окислителей.

В нормальных условиях ПФПЭ-смазка не окисляется и не распадается в масляной камере или редукторе роторного лопастного или поршневого насоса с масляным уплотнением, что снижает вероятность взрыва.

Следует отметить, что в присутствии воздуха и черных металлов термическое разложение ПФПЭ-смазок может происходить при температуре 290 °С и выше. Однако в присутствии титана, магния, алюминия и других сплавов температура термического разложения снижается до 260 °С.

Для того чтобы использовать другие смазки (не ПФПЭ) в масляной камере или редукторе роторного лопастного или поршневого насоса с масляным уплотнением, необходимо разбавлять окислители до безопасной концентрации инертным газом, например сухим азотом. Этот подход можно использовать только при низких расходах окисляющих газов. В систему необходимо установить защитные устройства для обеспечения минимальной требуемой подачи разбавляющего инертного газа с целью снижения концентрации окислителя до безопасного уровня, а также для исключения превышения максимально допустимого расхода окисляющего газа. Конструкция системы должна предусматривать немедленное прекращение подачи окислителя в случае несоблюдения указанных условий.

Для перекачивания окислителей рекомендуется использовать безмасляные насосы (см. «Безмасляные насосы Edwards» Безмасляный насос Edwards *Безмасляные насосы Edwards* на стр. 31). В рабочих объемах безмасляных насосов нет уплотняющих жидкостей. В результате значительно снижается вероятность взрыва при перекачке окислителей этими насосами. Компания Edwards рекомендует при использовании углеводородной смазки в подшипниках и редукторе применять продувочный инертный газ.

3.3.2 Огнеопасные и взрывоопасные материалы

Многие газы и пыль, например водород (H_2), ацетилен (C_2H_2), пропан (C_3H_8) и мелкодисперсная силиконовая пыль, огнеопасны и (или) взрывоопасны в определенных концентрациях в воздухе при наличии источника возгорания. Источником возгорания может стать, например, локальное теплообразование. Данный вопрос обсуждается в разделе «Источники возгорания» Источники воспламенения *Источники воспламенения* на стр. 26.

В целях предотвращения взрыва концентрация потенциально огнеопасных веществ должна быть такой, чтобы они не могли оказаться в области воспламенения. Дополнительная информация приведена в разделе «Избегание области воспламенения» Избегание области воспламенения *Избегание области воспламенения* на стр. 22.

Другой способ снизить вероятность взрыва — устранить источник возгорания. Дополнительная информация приведена в разделе «Источники возгорания» Источники воспламенения *Источники воспламенения* на стр. 26.

Если невозможно исключить попадание веществ в область воспламенения, необходимо использовать оборудование, способное сдерживать или предотвратить любой результирующий взрыв без прорыва или распространения пламени в окружающую атмосферу. Информация о применении пламегасителей приведена в разделе «Использование систем защиты с пламегасителями» Использование защитных систем с пламегасителями *Использование защитных систем с пламегасителями* на стр. 26. Если вакуумная система находится в среде с опасной атмосферой, необходимо соответствующим образом подготовить оборудование.

В странах Европейского Союза в директиве АТЕХ определены четкие требования к устройству оборудования, предназначенного для использования в местах с потенциально взрывоопасной атмосферой.

Там, где перекачка потенциально взрывоопасных сред может быть исключена при всех возможных обстоятельствах, для перекачивания огнеопасных газов и паров подходят все типы вакуумных насосов Edwards.

3.3.3 самовоспламеняющиеся материалы;

В большинстве случаев самовоспламеняющиеся газы или пыль, такие как кремневодород (SiH_4) и фосфин (PH_3), спонтанно воспламеняются в воздухе при атмосферном давлении, поэтому возгорание может произойти при контакте этих газов с воздухом или другими окислителями при условии достаточного давления. Это может произойти при проникновении воздуха в систему или при контакте выпускных газов системы с атмосферой. Тепло, выделяемое в результате реакции окислителя и самовоспламеняющегося газа, может стать источником возгорания для взрывоопасных материалов.

Удаление выхлопных газов, полученных в различных технологических процессах, через общую вытяжную систему может привести к возгоранию и (или) взрыву. Поэтому для перекачки самовоспламеняющихся материалов рекомендуется использовать независимую вытяжную систему.

В технологических процессах, где используется фосфор, может происходить конденсация твердого фосфора в вакуумной системе или в ее выпускном канале. В присутствии воздуха и под воздействием любого, даже слабого возмущения (например, при включении клапана или при вращении насоса, вызванном перепадом давления) фосфор может самопроизвольно возгораться и выделять токсичные газы. Для предотвращения конденсации фосфора рекомендуется продувать насос инертным газом и использовать его после нагрева.

ПФПЭ-смазки могут впитывать технологические газы, что в случае самовоспламеняющихся материалов может приводить к локальному возгоранию при контакте смазки с воздухом. Эта опасность может стать особенно вероятной в процессе обслуживания или при перекачивании окислителя через систему после самовоспламеняющегося газа. Вероятность такой опасности можно снизить путем использования безмасляных насосов Edwards, в рабочем объеме которых нет смазки. Перед ее продувом или использованием все самовоспламеняющиеся материалы необходимо пассивировать.

3.3.4 Азид натрия

Азид натрия изредка используется для подготовки продуктов к сублимационной сушке и в других производственных процессах. Из азидов натрия может образовываться азотоводородная кислота. Пары азотоводородной кислоты могут реагировать с тяжелыми металлами и формировать неустойчивые азиды металлов. Такие азиды могут самопроизвольно взрываться.

К тяжелым металлам относятся:

- | | | |
|---|-----------|-----------|
| • барий; | • кадмий; | • цезий; |
| • кальций; | • медь; | • свинец; |
| • литий; | • магний; | • калий; |
| • рубидий; | • Серебро | • натрий; |
| • стронций; | • олово; | • цинк; |
| • медно-цинковые сплавы (например, латунь). | | |

Латунь, медь, кадмий, олово и цинк широко используются во многих компонентах вакуумных насосов, во вспомогательном оборудовании и в трубопроводах. Если в

технологической системе используется или производится азид натрия, убедитесь, что в газовом тракте технологической системы отсутствуют тяжелые металлы.

3.4 Ядовитые или агрессивные вещества

Многие вакуумные системы применяются для обработки ядовитых и агрессивных веществ и требуют проведения особых мероприятий по уходу.

3.4.1 Ядовитые вещества

Ядовитые вещества по своей природе опасны для здоровья. Тем не менее природа опасности зависит от конкретного вещества и его относительной концентрации. При работе с такими веществами необходимо соблюдать правила, описанные в сопроводительной документации поставщика и соответствующем законодательстве.

Также необходимо учитывать следующую информацию.

- **Снижение концентрации газа.** Существуют средства снижения концентрации ядовитых технологических газов при прохождении через вакуумный насос и далее в выхлопной трубопровод. Это позволяет снизить концентрацию ниже допустимого предела токсичности. Рекомендуется следить за подачей разбавляющего газа в целях своевременного предупреждения о прекращении подачи. В случае насосов с масляным наполнением, чтобы определить необходимость в комплекте для возврата масла, см. руководство по эксплуатации насоса.
- **Обнаружение утечек.** Вакуумные системы Edwards в целом обеспечивают герметичность до $< 1 \times 10^{-3}$ мбар·л·с⁻¹ ($< 1 \times 10^{-1}$ Па·л·с⁻¹). Тем не менее герметичность примыкающих систем не гарантирована. Для проверки целостности вакуумной и выпускной системы необходимо использовать надлежащий способ выявления утечек (например, гелиевый масс-спектрометрический течеискатель).
- **Уплотнение вала (безмасляные насосы Edwards).** Во многих безмасляных вакуумных насосных установках используется система продувки газа, исключая попадание технологических газов в редуктор и подшипники и, как следствие, в атмосферу. При работе с ядовитыми материалами следует проверить целостность этой системы подачи газа. Необходимо использовать регуляторы без отвода газа в сочетании с обратными клапанами, как это описано в разделе «Регуляторы давления» Регуляторы давления [Регуляторы давления](#) на стр. 33.
- **Уплотнение вала (другие насосы Edwards).** Маслонаполненная конструкция уплотнения вала (как, например, у механических бустерных насосов EH и центробежно-лопастных насосов EM) сводит к минимуму риск утечки технологического газа (или проникновения внутрь воздуха) и может давать визуальное предупреждение (утечка масла или снижение уровня топлива) до возникновения опасности. Неисправности уплотнений других конструкций могут быть незаметны.
- **Электромагнитные приводы.** Там, где требуется полная герметизация, безмасляные вакуумные насосные установки Edwards EDP могут быть оборудованы электромагнитными приводами в защитной керамической оболочке, устраняющей необходимость уплотнения на входном валу электродвигателя.

Если для сброса повышенного давления используются предохранительные клапаны или предохранительные мембраны, необходимо обеспечить отвод от них газов в соответствующую выпускную систему, исключающую опасность отравления.

В случае возврата загрязненного вакуумного оборудования в компанию Edwards для обслуживания или ремонта необходимо следовать специальным правилам (форма HS1) и заполнить декларацию (форма HS2), приведенную в руководстве по эксплуатации оборудования (включена в комплект поставки).

3.4.2 Агрессивные вещества

При перекачивании агрессивных веществ через вакуумные насосы Edwards необходимо учитывать следующие моменты:

- **Попадание влаги.** Соблюдайте особые меры для предотвращения попадания влажного воздуха, который может усилить коррозионное воздействие. Процедура выключения должна содержать этап продувки инертным газом для удаления агрессивных веществ из системы до ее останова.
- **Снижение концентрации.** Используйте подходящий разбавляющий инертный газ для снижения концентрации агрессивных веществ, а также предотвращения образования их конденсатов и, следовательно, коррозии.
- **Температура.** Увеличение температуры насоса и выпускного трубопровода позволяет предотвратить образование водяного пара и, следовательно, коррозию. В некоторых случаях повышенные температуры могут приводить к увеличению интенсивности коррозии. См. параграф ниже.
- **Коррозия защитного оборудования.** Если важное защитное оборудование (например, элементы пламегасителей, температурные датчики и т. п.) может быть повреждено агрессивными веществами, содержащимися в технологическом газе, необходимо использовать конструкционные материалы, позволяющие исключить эту опасность.
- **Фазовый переход.** Непредусмотренные фазовые переходы могут привести к образованию конденсата. Для предотвращения этой опасности необходимо учитывать изменения температуры и давления.
- **Непредусмотренные реакции.** Непредусмотренные химические реакции могут приводить к образованию агрессивных побочных продуктов. Необходимо внимательно оценить вероятность перекрестного загрязнения при многоцелевом использовании оборудования.

Некоторые агрессивные вещества (например, фтор, хлор), другие галогены или галиды и окисляющие вещества (например, озон) или восстанавливающие средства (например, сероводород) могут также агрессивно воздействовать на материалы, с которыми вступают в контакт, даже при отсутствии какой-либо жидкости. В таком случае необходимо снижать парциальное давление агрессивного вещества путем применения подходящего разбавляющего газа. Материалы конструкции вакуумной системы и модель насоса следует выбирать с учетом их совместимости со конкретным газом в предполагаемых концентрациях. Повышенные температуры могут ускорять коррозию, поэтому их следует понижать, если это отрицательно не сказывается на других технологических процессах. Интервалы технического обслуживания необходимо пересмотреть с учетом влияния корродирующего вещества на систему.

3.5 Выводы — химические источники опасности

- Учитывайте все возможные химические реакции в системе.

- Внесите поправки на внештатные химические реакции, включая такие, которые могут произойти при неисправности.
- При оценке потенциальной опасности используемых технологических материалов см. паспорт безопасности материалов.
- Используйте методику разбавления для минимизации реакции с окислителями и огнеопасными материалами.
- В странах ЕС, где определены зоны пожароопасных концентраций, необходимо использовать подходящие вакуумные насосы, сертифицированные по стандартам ATEX. В других регионах компания Edwards рекомендует по возможности использовать насосы, соответствующие директиве ATEX.
- Используйте надлежащую смазку для насоса при перекачке окислителей и рассмотрите возможность использования безмасляного насоса.
- Если в процессе используется или производится азид натрия, не используйте тяжелые металлы в газовом тракте технологической системы.
- Соблюдайте особые меры при работе с ядовитыми, агрессивными и нестабильными веществами.

4. Физические источники опасности

4.1 Причины опасного повышения давления

Избыточное давление в узлах вакуумной системы может возникать по следующим причинам:

- попадание газа высокого давления в систему;
- сжатие газа в системе;
- неожиданное повышение температуры летучего газа в системе;
- фазовый переход, приводящий к отложению твердого продукта;
- реакция в вакуумной системе;
- закупорка выпускного трубопровода.

Возможны и другие причины.

4.2 Повышенное давление на выпуске насоса

Основной причиной повышения давления на выпуске насоса является блокирование или ограничение системы выпуска. Это может привести к выходу насоса и других компонентов системы из строя.

Все вакуумные насосы являются компрессорами, специально предназначенными для работы при высокой степени сжатия между входным и выходным отверстиями.

В условиях блокировки или ограничения выпускной системы, помимо работы насоса, к повышению давления может привести ввод в систему сжатого газа (например, продувочного или разбавляющего газа).

Если в выпускной части насоса установлены пламегасители или другое оборудование (например, фильтры или конденсаторы), важно, чтобы противодействие отработавших газов не превышало предела, указанного в руководстве пользователя вакуумной системы. Для исключения забивания выпускной системы и пламегасителей технологическими осадками необходимо применять надлежащую программу технического обслуживания. Если принятие такой программы нецелесообразно, тогда для выявления блокировки системы должны использоваться датчики давления, устанавливаемые между насосом и пламегасителем. С другим выпускным оборудованием (например, фильтрами и конденсаторами) следует обращаться аналогичным образом.

Испарение твердых веществ или фазовый переход могут привести к забиванию твердым налетом технологического трубопровода и опасному повышению давления.

Данные о максимальном и рекомендуемом постоянном противодействии всех выпускных компонентов, включая вакуумный насос, см. в руководстве по эксплуатации вакуумной насосной системы. Конструкция системы должна удовлетворять этим ограничениям.

Ограничения на непрерывную работу приведены в руководстве по эксплуатации насоса.

4.3 Защита от избыточного давления на выпуске

В целом рекомендуется направлять выпускные газы насосов в систему свободного выпуска. Тем не менее выпускная система может включать компоненты, которые могут ограничивать или блокировать прохождение выпускаемых газов. В этом случае необходимо разработать соответствующие способы защиты от избыточного давления. Эти способы включают, например:

Компонент	Способ защиты
Клапан в выпускном трубопроводе	Заблокируйте клапан таким образом, чтобы он всегда был открыт во время эксплуатации насоса.
	Установите перепускной клапан сброса давления.
Очиститель выпускных газов	Установите перепускной клапан сброса давления.
	Установите датчик давления и свяжите его с насосом таким образом, чтобы насос выключался при превышении установленного предела.
Пламегаситель	Измерение давления на выпуске.
	Измерение перепада давления.
Фильтр масляного тумана	Установите устройство сброса давления.

Если давление в выпускной системе приближается к максимально допустимому пределу, необходимо:

- понизить давление с помощью устройства в газовом тракте, параллельном заблокированному или ограниченному каналу;
- понизить давление в его источнике. Остановить насос или перекрыть подачу сжатого газа.

4.4 Избыточное давление на впуске

4.4.1 Источники подачи сжатого газа и противодействие

Требование ограничения давления в трубопроводах, соединяющих насос с вакуумной системой, часто недооценивают из-за имеющегося представления о том, что на эти трубопроводы не действует давление, превышающее атмосферное. На практике это утверждение верно только в нормальных расчетных условиях эксплуатации. Необходимо определить требуемое предельное давление, которое способны выдерживать трубопроводы при повышении давления в случае нештатных или аварийных ситуаций.

Основной причиной возникновения избыточного давления во впускном трубопроводе насоса является подача сжатых газов (например, продувочных газов) в момент, когда насос не работает. Если компоненты впускного трубопровода непригодны для возникающего при этом давления, произойдут разрыв трубопровода и утечка газа из системы. Обратный поток газов из системы в рабочую камеру, также неспособную выдерживать возникающее давление, вызовет прорыв и утечку.

Источники сжатого газа следует подключать к системе через регуляторы давления, способные обеспечивать пониженный расход при давлении в пределах номинальных параметров системы.

Популярные регуляторы без отвода газа вызывают подъем давления в системе до уровня давления на входе в регулятор со стороны источника сжатого газа, если через систему не проходит поток технологического газа. Поэтому для предотвращения появления избыточного давления следует использовать следующие способы:

- снизить давление, дать газам обойти насос и направиться в систему свободного выпуска;
- контролировать давление в системе и использовать принудительно закрываемый клапан для отсечки подачи сжатого газа при заданном давлении.

4.4.2 Некорректная работа насоса

Соблюдайте особые меры предосторожности, пока не убедитесь в том, что насос работает корректно.

Если насос вращается в неверном направлении, а также в случае, когда забита или ограничена впускная часть насоса, во впускном трубопроводе насоса создается высокое давление. Это может привести к разрушению насоса, трубопроводов и (или) его компонентов.

До тех пор пока не установлено, что насос вращается в требуемом направлении, его входное отверстие должно быть закрыто слабо прикрученной винтами заглушкой.

Работа с высокой скоростью вращения может привести к поломке насоса. Не допускайте работу насоса со скоростью вращения, превышающей максимально допустимое расчетное значение; это особенно важно при использовании для контроля скорости преобразователей частоты.

4.5 Выводы — физические источники опасности

- При расчете параметров безопасности необходимо учесть все безопасные уровни давления для всех компонентов системы.
- Не допускайте частичной или полной блокировки выпускного отверстия насоса.
- Если существует риск повышения номинальных значений давления в любой части вакуумной системы, рекомендуется в нужных местах системы установить оборудование для измерения давления. Это оборудование необходимо подключить к системе управления для оперативного устранения избыточного давления.
- При расчете предельно допустимого давления компонентов вакуумной системы и насоса необходимо учесть нештатные состояния и риск неисправности.
- Необходимо проверить пригодность устройства сброса давления для работы в системе и соответствие его характеристик номинальным параметрам применения.
- Источники сжатого газа должны быть снабжены надлежащими регуляторами и контрольными датчиками. При выключении насоса эти источники необходимо отключать.
- По возможности убедитесь в том, что давление подачи к регулируемым продувочным устройствам не превышает максимально допустимого статического давления в системе. В ином случае в систему необходимо установить устройство сброса давления (если это возможно) на случай выхода компонентов из строя.

5. Анализ опасностей

Методика анализа опасностей представляет собой структурированный подход к выявлению и анализу опасностей в системе в нормальных условиях, а также в условиях возникновения неисправностей и сбоев в работе. Такая технология формирует схему обращения с опасными факторами; во многих случаях применение этой методики обусловлено требованиями закона. Для достижения полной эффективности анализ опасностей следует начинать на этапе первичного проектирования системы и продолжать на этапах монтажа, эксплуатации, технического обслуживания системы и ее вывода из эксплуатации.

Подробное изучение методики анализа опасностей не входит в объем настоящей публикации. Однако описания многочисленных методик анализа опасностей можно найти в других источниках. Например, в химической обрабатывающей промышленности широко известна методика HAZOP (исследование опасностей и эксплуатационных возможностей). Это методика анализа опасностей, относящаяся к идентификации потенциальных опасных факторов и проблем при эксплуатации.

Как правило, анализ опасностей позволяет получить данные о типах опасностей, степени их серьезности и вероятности возникновения. Эта информация помогает определить лучшие способы снизить влияние опасных факторов до допустимого уровня. В зависимости от причины можно устранить опасность, уменьшить степень серьезности и (или) снизить вероятность проявления этой опасности. Тем не менее полностью устранить опасность можно в очень редких случаях.

При выборе лучшего способа поведения в опасной ситуации необходимо учесть все ее возможные последствия. Например, небольшая горячая поверхность может представлять незначительную опасность для оператора и может привести к ожогу. Для снижения вероятности получения ожога проектировщик системы должен предусмотреть предупреждающий знак или ограждение вокруг горячей поверхности. Тем не менее анализ опасности системы может также указать на эту же горячую поверхность как на потенциальный источник возгорания паров огнеопасных веществ; это может привести к взрыву или выделению облака ядовитого пара. Для снижения вероятности возгорания проектировщик системы должен продумать способы снижения температуры горячей поверхности или исключения контакта паров огнеопасных веществ с этой поверхностью.

6. Конструкция системы

6.1 Значения номинального давления в системе

Как указано в разделе «Физические источники опасности» Физические источники опасности *Физические источники опасности* на стр. 16, трубопроводы и компоненты вакуумной системы предназначены для работы при внутреннем давлении ниже уровня атмосферного давления. Однако на практике систему необходимо проектировать с расчетом на внутреннее давление, превышающее атмосферное давление. Если необходимо, для предотвращения избыточного давления в системе могут быть предусмотрены устройства сброса давления.

Очень важно не позволять впускным трубопроводам и другим компонентам впускной части становиться самыми слабыми элементами системы, предполагая, что они всегда будут работать под вакуумом, даже в случае неисправности.

Выпускные системы следует проектировать таким образом, чтобы во время эксплуатации насоса обеспечить минимальное противодавление. Тем не менее важно, чтобы конструкция выпускной системы обеспечивала требуемые характеристики по давлению; она должна быть пригодной для работы при давлении, создаваемом насосом или подачей в систему сжатого газа, и для работы с используемыми устройствами ограничения избыточного давления.

При выполнении анализа опасностей необходимо всегда учитывать:

- наличие внешних впускных элементов, например соединений для подачи инертного газа;
- разделения и сужения, образуемые всеми источниками, особенно выпускными трубопроводами;
- реакцию между технологическими газами.

Необходимо отметить, что при внешнем нагреве (например, от огня) изолируемой от системы емкости с летучей жидкостью внутреннее давление в этой емкости может превышать расчетное. В этом случае необходимо рассмотреть вопрос использования надлежащего устройства сброса давления.

6.2 Устранение застойных зон

Застойная зона — это любой объем трубопроводов вакуумной системы или ее компонентов, через который не проходит сквозной поток газа. Примером является редуктор механического бустерного насоса или измерительная головка прибора. Перекрытие снабженных клапанами трубопроводов и трубопроводов подачи азота также может приводить к образованию застойных зон.

Застойные зоны необходимо учитывать при рассмотрении смесей и реакций технологических газов, которые обычно не находятся вместе в рабочей камере. Трубопроводы, насосы и рабочие камеры обычно передают газ последовательно, когда один газ или газовая смесь следуют за другой. Транспортируемые в таких линейных потоках газы обычно не смешиваются, если только скорость выпускаемого газа не снижается из-за сужения или препятствия. Застойные зоны не продуваются и могут заполняться технологическими газами при повышении и падении давления в системе. Таким образом, может произойти задержка газов, пропускаемых через систему на одном этапе процесса. Далее эти газы могут вступить в реакцию с газами

последующего этапа процесса. Вакуумирование камеры в промежутках между подачей несовместимых газов защищает от опасности взрыва.

Необходимо соблюдать особые меры предосторожности в случае перекрестного загрязнения в застойной зоне и при работе с потенциально взрывоопасными газами. В частности, необходимо учитывать опасность, связанную с образованием отложений в фильтрах и сепараторах, а также других компонентах. Где уместно, для снижения вероятности перекрестного загрязнения используйте подачу плотного, непрерывного потока инертного продувочного газа.

При перекачивании огнеопасных веществ застойные зоны могут заполняться потенциально взрывоопасными газами или парами, которые невозможно удалить обычной продувкой. Если в этом случае в системе может присутствовать еще и источник возгорания, необходимо предусмотреть особый способ продувки застойной зоны.

6.3 Системы отвода выхлопных газов

В технологическом процессе очень важно использовать надлежащую систему отвода выхлопных газов. Как указывалось ранее, вытяжную систему следует проектировать таким образом, чтобы она выдерживала рабочее давление при производстве или обработке опасных материалов. Она должна быть достаточно герметичной для удержания технологических материалов и их побочных продуктов и недопущения их выброса в атмосферу.

6.4 Источники потенциально взрывоопасных газов и парообразных смесей

При смешивании огнеопасного газа или пара в соответствующей концентрации с кислородом или иным окислителем образуется потенциально взрывоопасная смесь, которая может загореться при наличии источника возгорания.

Как показывает опыт компании Edwards, при перекачке потенциально взрывоопасных материалов, возникают определенные, не учтенные на стадии проектирования системы условия, при которых формируются потенциально взрывоопасные смеси. При проектировании необходимо выявить все возможные режимы процесса и источники потенциально взрывоопасных смесей, которые может формировать оборудование. Ниже перечислены некоторые примеры из опыта компании Edwards, но этот список не является исчерпывающим:

- **Перекрестное загрязнение.** При использовании вакуумного насоса для выполнения различных задач перекачка отдельных веществ может быть безопасной. Но если насос не продувается перед подачей другого вещества, может возникать перекрестное загрязнение с непредсказуемыми последствиями.
- **Чистящие жидкости.** Применение может выглядеть безопасным, но использование огнеопасных чистящих жидкостей с последующей сушкой посредством удаления вакуумным насосом может приводить к формированию потенциально взрывоопасных смесей.
- **Непредвиденные вещества.** При использовании в «хозяйственных» целях, когда вакуумный насос обслуживает распределенную вакуумную систему, возможна перекачка огнеопасных материалов, не учтенных на этапе проектирования системы. Температура самовоспламенения этих материалов может быть ниже внутренней температуры или номинальной температуры эксплуатации вакуумного насоса.

- **Растворенные пары.** Такие пары могут выделяться во время технологического процесса. Следует внимательно относиться к выбору номинальной внутренней температуры. Как правило, на рынке химической промышленности это определяется требованиями АТЕХ.
- **Утечка воздуха.** Случайное попадание воздуха или окислителя в систему может изменить концентрацию огнеопасного газа или пара и сформировать потенциально взрывоопасную смесь.
- **Огнеопасные уплотняющие жидкости.** Если огнеопасная жидкость используется для уплотнения жидкостно-кольцевого вакуумного насоса, попадание воздуха приводит к формированию потенциально взрывоопасной внутренней смеси.
- **Конденсированные технологические материалы.** Если существует возможность конденсации в системе огнеопасных веществ, следует помнить, что они могут вступить в реакцию с окислителями, образовавшимися на других этапах процесса, или воздухом (например, в выпускном трубопроводе). Это можно предотвратить, поддерживая надлежащую температуру или регулируя парциальное давление.

6.5 Избегание области воспламенения

Огнеопасные материалы создают потенциально взрывоопасную атмосферу только в смеси с воздухом или кислородом и другими окислителями при уровне концентрации между нижним концентрационным пределом распространения пламени, НКПР (или нижним концентрационным пределом взрываемости, НКПВ), и верхним концентрационным пределом распространения пламени, ВКПР (или верхним концентрационным пределом взрываемости, ВКПВ). Обратите внимание, что большинство приведенных в литературе данных относятся к пределам воспламеняемости в воздухе, т. е. там, где кислород не является окислителем. Вся приведенная ниже информация основывается на этом предположении.

Чтобы смесь была потенциально взрывоопасной, концентрация кислорода должна превышать минимальную концентрацию кислорода — МКК (или нижнюю предельную концентрацию кислорода, НКК). МКК (НКК) большинства огнеопасных газов составляет не менее 5 % объема. (Примечание: Это правило не относится к самовоспламеняющимся веществам, при работе с которыми требуются особые меры предосторожности.)

Существует множество способов, позволяющих избежать работы с газовыми смесями в области воспламенения. Выбор способа зависит от результатов оценки опасностей (анализа опасностей) для технологического процесса и насосной системы.

- **Поддерживайте концентрацию огнеопасного газа ниже уровня НКПР (НКПВ)**
 Чтобы свести к минимуму риск случайного перехода огнеопасного газа в область воспламенения, необходимо поддерживать границу безопасности ниже НКПР (НКПВ).
 Границу безопасности должен определять пользователь на основании оценки рисков. Некоторые органы предлагают поддерживать концентрацию ниже 25 % НКПР (НКПВ).
 Основным способом поддержания концентрации ниже НКПР (НКПВ) — разбавление инертным продувочным газом (например, азотом), который подается во впускное отверстие насоса и (или) соединения для продувки. Требуемая надежность системы разбавления инертным газом и всех аварийных и блокировочных устройств зависит от формирования опасной зоны в результате отказа системы.

 **Примечание.**

Обеспечьте соблюдение соответствующих мер безопасности для предотвращения удущья.

▪ **Поддерживайте концентрацию кислорода ниже уровня МКК (НКК)**

Это режим работы, при котором для обеспечения безопасности требуется использовать систему контроля концентрации кислорода в перекачиваемом газе. Чтобы свести к минимуму риск случайного перехода огнеопасного газа в область воспламенения, необходимо поддерживать границу безопасности ниже МКК (НКК). В соответствии с имеющимися отраслевыми стандартами при постоянном контроле концентрации кислорода объемная концентрация должна поддерживаться не менее чем на 2 % по объему ниже минимальной заявленной МКК (НКК) для газовой смеси. Если МКК (НКК) менее 5 %, концентрация кислорода должна поддерживаться на уровне не более 60 % заявленной МКК (НКК). Если контроль концентрации кислорода выполняется в виде регулярных проверок, уровень содержания кислорода не должен превышать 60 % от наименьшего заявленного значения МКК (НКК). Если МКК (НКК) не превышает 5 %, концентрация кислорода должна поддерживаться на уровне не выше 40 % МКК (НКК).

Предпочтительный способ поддержания уровня кислорода ниже заявленного уровня МКК (НКК) — полное удаление воздуха и кислорода из технологической и насосной системы при одновременном разбавлении перекачиваемого газа инертным продувочным газом (например, азотом), который подается через впускное отверстие насоса и (или) продувочные соединения. Требуемая надежность средств удаления воздуха и азота и всех аварийных и блокировочных устройств зависит от формирования опасной зоны в результате отказа систем удаления и разбавления газов.

Меры предосторожности, которые обычно необходимо соблюдать при полном удалении воздуха из технологической и насосной системы, приведены в конце данного раздела.

▪ **Поддерживайте концентрацию огнеопасного газа выше уровня ВКПР (ВКПВ)**

При высокой концентрации огнеопасного газа лучше подходит работа с превышением уровня ВКПР (ВКПВ). Чтобы свести к минимуму риск случайного перехода в область воспламенения при работе выше уровня ВКПР (ВКПВ), следует использовать границу безопасности. Рекомендуется поддерживать концентрацию остаточного кислорода в газе на уровне менее 60 % от абсолютной концентрации кислорода, которая, как правило, наблюдается при ВКПР (ВКПВ) огнеопасного газа.

Предпочтительным способом поддержания уровня концентрации кислорода ниже этой границы безопасности является полное удаление воздуха и кислорода из технологической и насосной системы. Также может потребоваться разбавление перекачиваемого газа инертным продувочным газом (например,

азотом) или дополнительным огнеопасным газом («заполняющим» газом), подаваемым во входное отверстие насоса и (или) продувочные соединения. Требуемая надежность средств удаления воздуха, системы продувки газом и всех аварийных и блокировочных устройств зависит от опасной зоны, формируемой в результате отказа систем удаления и разбавления газов.

▪ **Концентрацию огнеопасного газа необходимо поддерживать ниже минимального давления взрыва.**

Для всех огнеопасных веществ существует минимальное давление, ниже которого опасность взрыва не возникает. Если давление на входе вакуумного насоса постоянно поддерживается ниже этого уровня, начавшееся в нем воспламенение не распространится через входное отверстие. Однако при работе с выпускной частью вакуумного насоса следует соблюдать меры предосторожности.

Меры предосторожности, которые обычно необходимо соблюдать при полном удалении воздуха из технологической и насосной системы, описаны ниже.

- **Устранение утечек воздуха**

Используйте течеискатель или выполните проверку повышения давления. Перед подачей огнеопасных материалов в рабочую камеру можно выполнить проверку соблюдения допустимого предела проникновения воздуха (кислорода) в вакуумную систему.

Для выполнения проверки повышения давления пустую рабочую камеру вакуумируют до давления несколько ниже нормального рабочего давления, а затем изолируют от вакуумного насоса. После этого выполняется регистрация изменения давления в камере с течением времени. Поскольку объем рабочей камеры известен, а также известна максимально допустимая величина утечки воздуха, имеется возможность рассчитать максимально допустимый подъем давления, который может произойти с течением времени. При превышении этого максимального предела необходимо принять меры по герметизации источника поступления воздуха (кислорода) в рабочую камеру; проверку следует повторять до получения удовлетворительных результатов. После этого разрешается подача огнеопасных материалов в рабочую камеру.

В некоторых случаях способность вакуумной системы создавать надлежащее базовое давление можно использовать для проверки герметичности этой же системы.

- **Полное удаление воздуха из системы перед началом процесса**

Перед подачей огнеопасного газа в систему из нее необходимо полностью откачать воздух и (или) продуть ее инертным газом (например, азотом) для полного удаления воздуха. В конце процесса повторите эту процедуру для удаления всего огнеопасного газа, прежде чем открыть доступ воздуха в систему.

- **Для безмасляных вакуумных насосов**

Ни при каких обстоятельствах не допускается загрязнение или смешивание газа уплотнения вала или продувочного газа с воздухом. Отверстие балластного газа должно быть либо герметично закрыто, либо использоваться только для подачи инертного газа.

- **Для масляных вакуумных насосов (например, роторных поршневых или центробежно-лопастных насосов)**

Поддерживайте состояние уплотнений вала в соответствии с требованиями производителя и используйте нагнетательную систему смазки, оснащенную аварийными индикаторами падения давления масла. Такая система может включать внешние устройства фильтрации и нагнетания смазочного масла, оснащенные реле давления. Отверстие балластного газа должно быть герметичным и использоваться только для подачи инертного газа. Для удаления воздуха из масляной камеры перед началом процесса необходимо обеспечить необходимую продувку инертным газом.

- **Для вакуумных бустерных насосов Рутса**

Поддерживайте состояние уплотнений главного вала привода в соответствии с требованиями производителя и следите за тем, чтобы все продувные или «дыхательные» соединения использовались только для подачи инертного газа.

- **Обратный поток**

Процедура эксплуатации и технические средства должны защищать систему от обратного потока, способного вывести насос из строя. Все огнеопасные газы необходимо безопасно удалять через выпускную систему. Необходимо исключить образование смесей огнеопасных газов в выпускных трубопроводах. Для этого трубопроводы необходимо продувать инертным газом перед началом и после завершения перекачки огнеопасного газа. Кроме этого, продувка инертным газом применяется во время технологического процесса для предотвращения турбулентного противоточного смешения с воздухом в выходной части выпускной системы.

6.6 Уровни надежности системы

Способы защиты системы путем разбавления среды инертным газом описаны в предыдущих разделах. В основе данного способа лежит смешивание инертного газа (обычно азота) с технологическим газом для разбавления последнего до уровня, при котором не может произойти взрыв или реакция. Если в качестве основной системы защиты от возможного взрыва используется система разбавления газа, может потребоваться высокоточная система аварийного предупреждения и взаимной блокировки, предотвращающая работу общей системы в случае выхода системы разбавления газа из строя. Надежность системы разбавления необходимо учитывать при оценке риска (анализе опасностей). Она зависит от внутреннего распределения опасных зон (например, по степени риска), которые образуются при выходе системы разбавления из строя. При оценке рисков необходимо использовать передовые подходы, позволяющие определять требуемые уровни надежности системы.

Например, система разбавления используется для поддержания концентрации огнеопасного газа за пределами области воспламенения. В результате выхода этой системы из строя концентрация перекачиваемого газа постоянно или продолжительное время переходит в область воспламенения (обычно требование зоны класса Zone 0 согласно АТЕХ выше 50 %). В этом случае система разбавления должна соответствовать одному из следующих требований:

- должна быть отказоустойчивой даже в случае необычных отказов;
- должна быть безопасной при возникновении двух неисправностей;
- должна состоять из двух независимых систем подачи разбавляющего газа.

В ином случае, если в результате выхода из строя системы разбавления возникает эпизодическое изменение концентрации перекачиваемого газа до уровня воспламенения (обычно состояние зоны класса Zone 1 согласно АТЕХ), то система должна соответствовать одному из следующих требований:

- должна быть отказоустойчивой даже в случае предполагаемых отказов;
- должна быть безопасной при возникновении одной неисправности.

Если в результате выхода системы разбавления из строя возникает эпизодическое изменение концентрации перекачиваемого газа до уровня воспламенения (обычно состояние зоны класса Zone 2 согласно АТЕХ), то при нормальной работе система должна быть безопасной.

6.7 Использование защитных систем с пламегасителями

Если смесь из перекачиваемых газов и испарений является огнеопасной (см. «Избегание области воспламенения» Избегание области воспламенения *Избегание области воспламенения* на стр. 22) постоянно или продолжительное время (т.е. состояние зоны класса Zone 0) и возникает риск зажигания источника возгорания (см. «Источники возгорания» Источники воспламенения *Источники воспламенения* на стр. 26) при нормальной работе или предполагаемой неисправности, необходимо надлежащим образом надеть пламегасители на основной насос (также см. «Пламегасители» Пламегасители *Пламегасители* на стр. 33). Ряд пламегасителей имеет внешние сертификаты, подтверждающие их пригодность для работы с вакуумными насосами Edwards, а также их способность предотвращать распространение пламени по длине технологических трубопроводов и в окружающей атмосфере.

Если смесь является огнеопасной продолжительное время, для выявления непрерывного горения на входной пламегаситель необходимо установить сертифицированный и проверенный преобразователь температуры. В случае непрерывного горения насос необходимо отключить и отсоединить от источника топлива. Для получения информации относительно сертифицированных пламегасителей и преобразователей температуры обращайтесь в компанию Edwards. Чтобы термически защитить пламегаситель и насос от крайне редких неисправностей насоса (Zone 0), в выходной части насоса необходимо установить выходной преобразователь температуры. Порог выключения зависит от насосной системы. Дополнительную информацию см. в соответствующем справочнике по ATEX.

Если входной или выходной преобразователь температуры достиг максимального предела и сообщает о неисправности, необходимо принять соответствующие меры. Применение систем гашения пламени зависит от конкретного случая, но может включать:

- **Перекрытие подачи топлива.** При закрытии клапана, расположенного на входе вакуумного насоса, в него прекращается подача топлива.
- **Деактивация источника возгорания.** Останов вакуумного насоса путем отключения питания двигателя.
- **Продувка зоны горения инертным газом.** Быстрое введение инертного газа в зону горения (обычно, но не всегда находится в выпускном коллекторе насоса) приведет к подавлению пламени. Следует обратить внимание на то, что если источник возгорания не устранен, может произойти повторное воспламенение.

6.8 Источники воспламенения

При использовании вакуумных насосов для перекачивания огнеопасных смесей необходимо учесть все возможные источники возгорания. Ниже приведены некоторые факторы, на основании которых можно провести общую оценку. В зависимости от условий конкретного технологического процесса можно устранить некоторые или все источники возгорания. Если исключить источник возгорания невозможно из-за условий процесса или требований системы, это необходимо учесть в конструкции системы.

Примечание.

Некоторые насосы Edwards имеют внешние сертификаты, подтверждающие их способность сдерживать внутренние взрывы (при условии надлежащей эксплуатации).

- **Механический контакт.** Механический контакт вращающейся и зафиксированной детали в вакуумном насосе и системе может стать источником возгорания. Конструкция всех вакуумных насосов Edwards обеспечивает сохранение нужных рабочих зазоров в любых условиях эксплуатации. Чтобы устранить этот источник возгорания, важно избежать образования осадка материалов на внутренних поверхностях или очищать насос. Подшипники необходимо поддерживать в надлежащем состоянии, смазывать и обеспечивать подачу соответствующего продувочного газа для исключения контакта с технологическими газами. В целях безопасного и надежного функционирования подшипников необходимо соблюдать рекомендуемый режим их технического обслуживания.
- **Всасывание частиц.** Все насосные механизмы могут всасывать твердые частицы, образующиеся при технологических операциях или в результате производственных процессов. При перемещении этих частиц между подвижными и неподвижными поверхностями может возникать нагрев. Подходящая приемная сетка (решетка) или фильтр предотвращают проникновение частиц в вакуумный насос и снижают размер и объем частиц до безопасного уровня. Особое внимание необходимо уделять соблюдению правильного режима технического обслуживания приемной сетки.
- **Накопление пыли.** Накопление тонкой, плотной пыли во внутренних зазорах может происходить при использовании насосов в процессах с образованием пыли. Даже при использовании впускных пылевых фильтров сохраняется вероятность проникновения в насос мелких частиц. При незначительном изменении размеров в результате изменения температурных условий уплотненная пыль может вступать в соприкосновение с движущимися поверхностями, в результате чего выделяется тепло.
- **Тепловой эффект сжатия (самовоспламенение).** Тепловой эффект сжатия в компрессоре необходимо учитывать в отношении температуры самовоспламенения всех перекачиваемых газов и паров. Необходимо удостовериться, что температурный класс насоса по крайней мере не ниже класса перекачиваемых газов.
- **Горячие поверхности.** Если огнеопасные газы и пары могут контактировать с горячими поверхностями, в случае превышения температуры самовоспламенения может произойти возгорание. Примечание. Теплоизоляция насосов и пламегасителей Edwards не допускается, если это может привести к повышению температуры внутренних или внешних поверхностей, влекущему за собой самовоспламенение.
- **Внешний подвод тепла.** Внешний подвод тепла возможен, например, в случае возгорания в зоне рядом с вакуумным оборудованием. В этих условиях может возникать внутреннее давление, превышающее максимальное статическое давление в системе, а температура может превышать температуру самовоспламенения. Это необходимо учитывать при выполнении анализа опасностей системы.
- **Высокая температура технологического газа.** Высокая температура газа на впуске может привести к ситуации, когда температура внутренних (или внешних) поверхностей превысит температуру самовоспламенения перекачиваемых материалов. Слишком горячий газ на впуске может вызвать заклинивание ротора (статора). Максимальные допустимые температуры циркулирующего в насосе газа указаны в руководстве по эксплуатации вакуумного насоса. За дополнительной информацией обращайтесь в компанию Edwards.
- **Каталитическая реакция.** Наличие определенных материалов может привести к каталитическому воспламенению. Следует учитывать

потенциальную возможность такой реакции всех материалов конструкции вакуумной системы с перекачиваемыми газами или парами.

- **Реакция самовоспламенения.** Тепло, выделяемое в результате сгорания самовоспламеняющихся материалов, которое вызвано поступлением воздуха или окислителя, может стать источником возгорания любого присутствующего огнеопасного материала. См. Самовоспламеняющиеся материалы; *самовоспламеняющиеся материалы*; на стр. 12.
- **Статическое электричество.** В определенных условиях на изолированных компонентах может накапливаться статическое электричество. Далее может произойти разряжение на массу (искрение). При проектировании системы необходимо учитывать вероятность накопления статического электричества.
- **Молния.** При монтаже вне помещений удар молнии может стать причиной возгорания. При проектировании системы необходимо учитывать вероятность такого события.

6.9 Выводы — конструкция системы

Для проектирования безопасных вакуумных насосных систем необходимо учесть несколько основных моментов. В каждом конкретном случае могут быть и другие факторы.

- Если предполагается использовать систему для перекачивания опасных веществ, ее конструкция должна обеспечивать переход в безопасное состояние в случае возникновения неисправности.
- При перекачивании окислителей используйте ПФПЭ (перфторполиэфирную) смазку.
- Если инертные газы применяются для разбавления огнеопасных газов с целью снижения концентрации ниже нижнего концентрационного предела распространения пламени или взрываемости, а также ниже минимального или нижнего предела концентрации окислителя, необходимо обеспечить целостность системы подачи инертного газа.
- Кроме того, концентрацию можно поддерживать выше верхнего концентрационного предела взрываемости или распространения пламени. В таком случае необходимо соблюдать соответствующие меры предосторожности, чтобы не допустить повышение концентрации до пределов воспламеняемости.
- Перед эксплуатацией проверьте системы и оборудование на герметичность.
- Разбавьте самовоспламеняющиеся газы инертным газом до безопасной концентрации перед выводом в атмосферу или смешиванием с окисляющими газами.
- Необходимо исключить контакт между азидом натрия и тяжелыми металлами в пределах газового тракта системы.
- Максимальное давление в системе не должно превышать безопасных уровней отдельных частей системы.
- Необходимо обязательно изучить информацию о мерах безопасности при работе с перекачиваемыми веществами (паспорта материалов).
- Рассмотрите возможность применения безмасляных насосов вместо ротационно-поршневых и центробежно-лопастных насосов с масляным уплотнением, которые опасны из-за присутствия масла в рабочем объеме.

- При использовании вакуумных насосов Edwards для перекачивания потенциально огнеопасных смесей необходимо учесть все возможные источники возгорания и последствия потенциального взрыва.

7. Выбор оборудования

Для того чтобы выбрать подходящее для применения оборудование, необходимо рассмотреть пределы, в рамках которых должна работать система. Технические характеристики оборудования Edwards приведены в каталоге изделий, маркетинговых материалах и в соответствующих руководствах по эксплуатации оборудования. В большинстве случаев дополнительную информацию можно получить по запросу в компании Edwards.

При проектировании вакуумной системы необходимо принимать во внимание соответствующие характеристики механических насосов, например:

- максимальное статическое давление (на впуске и выпуске);
- максимально допустимое давление на впуске;
- максимально допустимое давление выхлопных газов;
- проводимость деталей впускной и выпускной части;
- характеристики по давлению других узлов, установленных в насосе;
- необходимость контроля давления на случай блокирования выпускного трубопровода.

Для роторных поршневых и роторных лопастных насосов с масляным уплотнением необходимо также учитывать, например:

- расход балластного газа;
- расход газа продувки масляной камеры;
- газы и пары, запертые в масляной камере;
- газы и пары, абсорбированные маслом в масляной камере.

Максимальное статическое давление определяет максимальное давление, которое может быть подано на впускное и выпускное соединения неработающего насоса. Это давление зависит от механической конструкции насоса.

Роторные лопастные насосы и роторные поршневые насосы с масляным уплотнением предназначены для работы при давлении на впуске ниже атмосферного давления. Хотя максимальное допустимое статическое давление может быть выше атмосферного давления, максимальное давление на впуске работающего насоса не должно превышать атмосферное. Некоторые производители ограничивают постоянное давление на впуске своих насосов значением атмосферного давления. Максимальное давление на впуске работающего насоса называется максимальным рабочим давлением.

Причина ограничения максимального рабочего давления не всегда связана с механической целостностью насоса. Обычно максимальное давление пропорционально номинальной мощности насоса и ассоциируется с потенциальной опасностью перегрева механических компонентов насоса или электродвигателя.

По подобным причинам рекомендуется поддерживать давление на выпуске вакуумного насоса на минимально возможном уровне (обычно ниже 0,15 бар (м), $1,15 \times 10^5$ Па для непрерывной работы). Насосы предназначены для работы с незаблокированными выпускными каналами, и давления на выпуске 0,15 бар (м) ($1,15 \times 10^5$ Па) обычно вполне достаточно для перемещения выхлопных газов через систему отвода выхлопных газов и обрабатываемое оборудование.

7.1 Роторные лопастные и поршневые насосы с масляным уплотнением

К роторным насосам с масляным уплотнением компании Edwards относятся центробежно-лопастные насосы серий E1M, E2M, ES и RV и поршневые насосы Stokes Microvac. В целом, все вакуумные насосы предназначены для работы с давлением на впуске ниже атмосферного давления и со свободным выпуском в атмосферу.

Роторные лопастные и поршневые насосы с масляным уплотнением являются объемными компрессорами и могут создавать очень высокое давление на выпуске в случае его блокирования или ограничения. В этих случаях давление может превосходить безопасное статическое давление масляной камеры насоса, а часто и безопасное статическое давление компонентов системы, расположенных за насосом (например, полипропиленовых очистителей или вакуумных соединений с уплотнительными кольцами). Поэтому компания Edwards настоятельно рекомендует устанавливать высокоточные датчики выпускного давления в выпускном трубопроводе.

Для обеспечения безопасного уровня разбавления балластный газ может добавляться устройством продувки масляной камеры (если имеется), присоединяемым к масляной камере насоса. Повышение расхода балластного газа и подачи через устройство продувки масляной камеры увеличивает объем масла, переносимого в выпускную систему.

Все насосы с масляным уплотнением компании Edwards имеют масляные камеры большого объема, в которых могут задерживаться огнеопасные и взрывоопасные газовые смеси. Масло в масляной камере может эффективно впитывать или конденсировать пары и газообразные побочные продукты. Попавшие в масло пары и газы могут быть самовоспламеняющимися или токсичными. Поэтому для обеспечения безопасности при проведении технического обслуживания необходимо разработать специальный порядок обращения с оборудованием.

7.2 Безмасляные насосы Edwards

Максимальное рабочее давление ограничивается теми же факторами, которые влияют на характеристики насосов с масляным уплотнением (а именно, потенциальная опасность перегрева механических частей насоса и электродвигателя).

Безмасляные насосы Edwards являются объемными компрессорами и могут создавать высокое давление выхлопных газов. При установке насосов в системах, где в технологическом процессе могут образовываться твердые побочные продукты (и, следовательно, существует вероятность закупорки выпускного трубопровода), компания Edwards настоятельно рекомендует снабжать их высокоточными датчиками давления выхлопных газов. Информацию о требуемых параметрах рабочего давления реле см. в руководстве по эксплуатации.

Безмасляные насосы Edwards могут обеспечивать высокую скорость пропускания балластного газа. Чтобы оптимизировать подавление реакции, в механизм насоса может добавляться разбавляющий газ, например азот. Расход продувочного газа указан в руководстве по эксплуатации насоса.

7.3 Конструкция трубопроводов

7.3.1 Сильфоны

Сильфоны — это короткие, тонкостенные детали с глубокими изгибающимися канавками. Они используются для уменьшения передачи вибраций от насоса к вакуумной системе.

Сильфоны следует устанавливать только по прямой, надежно закрепив оба конца. При правильной установке сильфоны способны выдерживать незначительное положительное внутреннее давление (дополнительную информацию см. в руководстве, входящем в комплект сильфонов). Не устанавливайте компенсаторы на выпусках безмасляных насосов; вместо этого используйте гибкие плетеные трубопроводы (см. «Гибкие трубопроводы» Гибкие трубопроводы *Гибкие трубопроводы* на стр. 32).

Учтите вероятность усталостного разрушения сильфонов в результате частого циклического нагружения.

7.3.2 Гибкие трубопроводы

Гибкие трубопроводы имеют более толстые стенки и менее глубокие вырезы, чем сильфоны. Гибкие трубопроводы обеспечивают удобное подключение компонентов вакуумной системы и позволяют компенсировать несовпадения и незначительные перемещения жестких вакуумных трубопроводов. Гибкие трубопроводы можно изгибать под относительно острыми углами, и они будут сохранять это состояние.

Гибкие трубопроводы предназначены для использования в статических системах. Они не пригодны для регулярного изгиба, которое может привести к усталостному разрушению.

При использовании гибких трубопроводов используйте трубопроводы минимальной длины и избегайте ненужных изгибов. В тех случаях, когда может наблюдаться высокое давление выхлопных газов, следует использовать гибкие плетеные трубопроводы.

Гибкие плетеные трубопроводы являются сильфонами с внешним защитным слоем, выполненным из плетеной обмотки из нержавеющей стали. При использовании гибких плетеных трубопроводов необходимо обеспечить минимальный радиус изгиба, указанный в руководстве, входящем в комплект поставки.

7.3.3 Точки крепления

Необходимо надлежащим образом закреплять трубопроводы и их компоненты. Например, при неправильном креплении сильфонов они не снижают вибрацию от насоса, и это приводит к усталостному разрушению трубопроводов.

7.3.4 Уплотнения

Когда существует вероятность появления положительного давления в любой части вакуумной системы (даже в случае неисправности), необходимо использовать подходящие уплотнители и материалы, способные выдерживать ожидаемые вакуум и положительное давление.

7.4 Физическая защита от избыточного давления

Как указывалось выше, избыточное давление может возникать в результате ограничения или блокирования системы или одного из ее компонентов. Избыточное давление может возникать в результате подачи сжатого газа от насоса или внешних источников сжатого газа (например, системы разбавления). Существует два основных метода защиты системы от избыточного давления, которые описаны в последующих параграфах: сброс давления и предупреждение (аварийное отключение) в случае избыточного давления.

7.4.1 Ограничение (сброс) давления

Для сброса избыточного давления применяются предохранительные мембраны или клапаны. Рабочее давление устройства должно быть ниже расчетного номинального давления системы. Устройства необходимо присоединить к соответствующим трубопроводам в тех местах, где можно безопасно стравливать технологические газы и где отсутствуют препятствия для стравливания. Если в технологическом процессе образуются твердые побочные продукты, защитные устройства необходимо регулярно осматривать на предмет блокирования или ограничения проходного диаметра. В конструкции таких устройств необходимо учесть влияние пульсации давления на усталостный ресурс предохранительной мембраны или на срок службы клапана.

7.4.2 Сигнализация и останов при избыточном давлении

Этот метод защиты часто используется компанией Edwards. Данный способ рекомендуется для любых систем, но может быть непригоден для систем, в которых происходит образование твердых побочных продуктов.

7.4.3 Регуляторы давления

Существует два основных типа регуляторов давления: сбрасывающие и несбрасывающие.

Сбрасывающие регуляторы выпускают воздух в атмосферу или отдельную выпускную магистраль для поддержания постоянного давления на выходе в условиях отсутствия потока. Сбрасывающие регуляторы, в основном, используются в системах, где большое значение имеет целостность трубопроводов.

Несбрасывающие регуляторы способны поддерживать постоянное давление на выходе только при наличии потока.

В условиях отсутствия потока давление на выходе некоторых регуляторов может подниматься до уровня давления подачи. Скорость подъема давления зависит от характеристик регулятора и объема, к которому присоединено выпускное устройство. Подъем давления может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов.

Регуляторы давления не предназначены для работы в качестве запорных клапанов и должны использоваться совместно с соответствующими изолирующими устройствами (например, с электромагнитным клапаном), если требуется отсечка. В противном случае необходимо принять меры для сброса избыточного давления.

7.4.4 Пламегасители

Пламегасители не являются устройствами предотвращения взрывов. Они предназначены для предотвращения распространения фронта пламени вдоль

трубопровода или воздуховода (см. раздел «Использование систем защиты с пламегасителями» Использование защитных систем с пламегасителями *Использование защитных систем с пламегасителями* на стр. 26). Пламегасители имеют большую площадь поверхности и малые зазоры пропускания фронта пламени. Таким образом они обеспечивают быстрое подавление пламени. В целом, пламегасители пригодны только для систем, которые используются для откачивания чистых газов и паров.

Энергия взрыва газовой смеси увеличивается с увеличением давления. Большинство пламегасителей предназначены для защиты зон, в которых внутреннее давление не превышает атмосферное. Убедитесь, что рабочее давление в системе отвода выхлопных газов, связанной с пламегасителем, не превышает максимальное значение. Однако если пламегасители имеют сертификат об использовании с химическими безмасляными вакуумными насосами Edwards, максимальное допустимое давление указано в руководстве ATEX. Кроме того, необходимо учитывать максимально допустимое противодавление вакуумного насоса.

Принцип работы пламегасителей основан на отборе тепла сгорания из фронта пламени, поэтому они имеют максимальную безопасную рабочую температуру. Нельзя допускать превышения этой температуры при обогреве трубопроводов, использовании изоляции или за счет температуры проходящего газа.

Способность пламегасителя задерживать пламя зависит от скорости фронта пламени, которая, в свою очередь, зависит от расстояния до источника возгорания. При использовании совместно с химическими вакуумными насосами Edwards Chemical их необходимо подключать рядом с впуском и выпуском. В некоторых насосах при определенных условиях для соединения пламегасителя с насосом могут применяться колена и тройники. За дополнительной информацией обращайтесь в компанию Edwards.

7.5 Системы продувки

Системы продувки инертным газом можно использовать для удаления из системы остатков газа после окончания технологического цикла.

Надлежащее применение продувочного газа позволяет удалять агрессивные продукты, предотвращать повреждения насоса и, что более важно, предотвращать повреждения защитных устройств, например пламегасителей. Кроме этого, удаление технологических газов позволяет исключить нежелательные и потенциально опасные химические реакции между используемыми в разных циклах процесса веществами.

7.6 Выводы — выбор оборудования

- Выбирайте оборудование, соответствующее требованиям конкретного применения.
- Используйте все надлежащие защитные устройства, необходимые для обеспечения безопасности в случае выхода оборудования из строя.
- Устраняйте застойные зоны.
- Обеспечьте надлежащий контроль и регулирование системы.
- При необходимости установите устройства сброса давления.
- При необходимости используйте пламегасители.
- Перед эксплуатацией проверьте системы и оборудование на герметичность.

8. Процедура эксплуатации и обучение

Для безопасной работы с оборудованием необходимо надлежащим образом обучить персонал, дать четкие и емкие указания, а также проводить регулярное техническое обслуживание. Очень важно надлежащим образом обучить и подготовить весь персонал, работающий с вакуумным оборудованием, и, если необходимо, контролировать работу персонала.

В случае сомнений относительно эксплуатации и обеспечения безопасности при работе с оборудованием Edwards, обращайтесь в компанию Edwards за рекомендациями.

9. Выводы

- Для выявления и по возможности устранения или минимизации всех опасностей проведите их оценку. Ее следует проводить на этапе проектирования, монтажа, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, технического обслуживания и вывода из эксплуатации вакуумной системы.
- Учитывайте все возможные химические реакции в системе. Внесите поправки на внештатные химические реакции, включая такие, которые могут произойти при неисправности.
- При оценке потенциальной опасности используемых технологических материалов см. паспорт безопасности материалов, например, для получения данных о самовоспламенении.
- Используйте методику разбавления для минимизации реакции с окислителями и огнеопасными материалами.
- Используйте надлежащую смазку для насоса при перекачке окислителей и самовоспламеняющихся материалов.
- Если в процессе используется или производится азид натрия, не используйте тяжелые металлы в газовом тракте насосной системы.
- При расчете параметров безопасности необходимо учесть все безопасные уровни давления для всех компонентов системы. Обязательно учтите все нештатные состояния и состояния неисправности.
- Необходимо проверить пригодность ограничителей давления для работы в системе и соответствие их характеристик номинальным параметрам применения.
- Не допускайте блокировки выпускной части.
- Система подачи разбавляющих газов должна быть снабжена надлежащими регуляторами и контрольными датчиками.
- Если предполагается использовать систему для перекачивания опасных веществ, ее конструкция должна обеспечивать переход в безопасное состояние в случае возникновения неисправности.
- При перекачивании окислителей используйте ПФПЭ (перфторполиэфирные) масло и смазку.
- Для разбавления огнеопасного и самовоспламеняющегося газа до безопасной концентрации или превышения верхнего концентрационного предела взрываемости (распространения пламени) используйте инертный газ с учетом соответствующих факторов безопасности во всех режимах процесса, включая неисправности.
- Максимальное давление в системе не должно превышать безопасных уровней отдельных частей системы.
- Рассмотрите возможность применения безмасляных насосов вместо насосов с масляным уплотнением, опасных из-за присутствия масла в рабочем объеме.
- Устраняйте застойные зоны.
- Обеспечьте надлежащий контроль и регулирование системы.
- При необходимости используйте пламегасители.
- Перед эксплуатацией проверьте системы и оборудование на герметичность.

