ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 54426— 2011 (МЭК 60480:2004)**

# РУКОВОДСТВО ПО ПРОВЕРКЕ И ОБРАБОТКЕ ЭЛЕГАЗА ($SF_6$), ВЗЯТОГО ИЗ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

**IEC 60480:2004**
**Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride ($SF_6$) taken from electrical equipment and specification for its re-use**
**(MOD)**

**Издание официальное**

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

**Сведения о стандарте**

1 ПОДГОТОВЛЕН Некоммерческим партнерством «Инновации в электроэнергетике» (НП «ИНВЭЛ»), Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН ТК 039 «Энергосбережение, энергетическая эффективность, энергоменеджмент»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2011 г. № 357-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 60480:2004 «Сера шестифтористая ($SF_6$), взятая из электрического оборудования. Руководящие указания по проверке и обращению и технические требования к ее повторному использованию» (IEC 60480:2004 «Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride ($SF_6$) taken from electrical equipment and specification for its re-use»), при этом дополнительные слова (ссылки, фразы, показатели и их значения), учитывающие потребности национальной экономики Российской Федерации и/или особенности российской стандартизации, выделены курсивом

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2014

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 . . . . . 1
4 Типичное применение элегаза . . . . . 2
5 Примеси и их источники . . . . . 2
6 Экологические аспекты . . . . . 4
7 Здоровье и безопасность персонала . . . . . 4
8 Требования к качеству повторно используемого элегаза во вновь вводимом или действующем коммутационном электрооборудовании . . . . . 5
9 Аналитические методы исследования элегаза и их значение . . . . . 7
10 Извлечение, хранение и транспортирование . . . . . 9
Приложение А (рекомендуемое) Максимально допустимые уровни влажности при повторном использовании элегаза . . . . . 12
Приложение В (рекомендуемое) Описание различных методов анализа (на месте эксплуатации и в лаборатории) . . . . . 14
Приложение С (рекомендуемое) Рекомендации по регенерации и порядок действий на месте эксплуатации . . . . . 20
Библиография . . . . . 23

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# РУКОВОДСТВО ПО ПРОВЕРКЕ И ОБРАБОТКЕ ЭЛЕГАЗА ($SF_6$), ВЗЯТОГО ИЗ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride ($SF_6$) taken from electrical equipment and specification for its re-use

**Дата введения — 2013—01—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к проверке и обработке элегаза после извлечения из электрооборудования и его повторного использования в процессе эксплуатации или по завершении его срока службы.

Настоящий стандарт также устанавливает методы восстановления потребительских свойств элегаза до требуемого уровня, позволяющего его дальнейшее использование в новом или действующем оборудовании.

Настоящий стандарт является руководством для оперативного и эксплуатационного персонала по испытаниям и надежной эксплуатации использованного элегаза.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты с учетом их изменений и дополнений:

*ГОСТ 18311—80 Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий*

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарта заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

### 3.1 Основные термины

3.1.1 **электрооборудование** (electrical equipment):

1) любое оборудование, предназначенное для производства, преобразования, передачи, распределения или потребления электроэнергии, например машины, трансформаторы, аппараты, измерительные приборы устройства защиты, кабельная продукция, бытовые электроприборы;

*2) совокупность электрических устройств, объединенных общими признаками.*

*Примечание — Признаками объединения в зависимости от задач могут быть: назначения (например, технологические), условия применения (например, в тропиках), принадлежность объекту (например, станку).*

3.1.2 **оболочка** (enclosure): *По ГОСТ 18311.*

**Издание официальное**

3.1.3 **техническое обслуживание и ремонт** (maintenance): Совокупность технических и административных мероприятий, включая оперативно-диспетчерские, по поддержанию или восстановлению работоспособности оборудования в процессе эксплуатации, в том числе его опробование, испытание, наладка и регулирование, предполагающее содержание и восстановление устройства, поддержание его в состоянии, в котором оно способно выполнять требуемые функции.

### 3.2 Физические характеристики

3.2.1 **диэлектрический материал** (insulating material): Электротехнический материал, обладающий большим удельным электрическим сопротивлением (низкой электропроводностью) и способностью поляризоваться, используемый для разделения токопроводящих частей с различными электрическими потенциалами.

3.2.2 **изолирующий газ** (insulating gas): Газ с очень низкой электропроводностью, используемый для разделения проводящих частей с различными электрическими потенциалами.

3.2.3 **электрод** (electrode): Проводящая деталь, выполняющая функции проводника между элементами различной проводимости.

3.2.4 **резервуар (емкость)** (reservoir): Стационарный сосуд (контейнер), предназначенный для хранения газообразных, жидких и других веществ.

### 3.3 Экологические характеристики

*3.3.1* ***элегаз*** *(new sulfur hexafluoride): «Электрический газ» (шестифтористая сера $SF_6$), используемый в аппаратах высокого напряжения для изоляции и гашения дуги и никогда ранее не использовавшийся.*

3.3.2 **используемый элегаз** (used sulfur hexafluoride): «Электрический газ» (шестифтористая сера $SF_6$), используемый в аппаратах высокого напряжения для изоляции и гашения дуги, находящийся в электрооборудовании.

3.3.3 **рециркуляция** (recycling): Последовательность операций замены или очистки газа с целью возврата к первоначальному состоянию в циклическом процессе.

3.3.4 **регенерация** (reclaiming): Восстановление свойств до первоначального состояния или до уровней, указанных в настоящем стандарте.

*Примечание — Восстановление свойств предполагает удаление растворимых или нерастворимых загрязнений из изолирующего газа или изолирующей жидкости средствами химической адсорбции в дополнение к средствам очистки от механических примесей.*

3.3.5 **твердый адсорбент** (solid sorbent): Твердые вещества, которые могут быть использованы для адсорбции посторонних примесей.

3.3.6 **регенератор** (reclaimer): Устройство для очистки используемого газа с целью его повторного использования по месту эксплуатации.

3.3.7 **повторное использование** (re-use): Использование восстановленного газа для заполнения вводимого вновь или действующего электрооборудования [1].

3.3.8 **восстановленный газ** (reclaimed gas): Газ, обработанный в регенераторе [1].

3.3.9 **извлечение** (recovery): Перемещение газа из электрооборудования в регенератор или резервуар для хранения.

3.3.10 **окончательная утилизация** (final disposal): Вид работы по обеспечению ресурсосбережения, при которой осуществляется переработка и/или вторичное использование по другому назначению, либо уничтожение путем, допустимым экологическими требованиями [1].

## 4 Типичное применение элегаза

Типичное применение элегаза описано в [*5*] или [*9*].

## 5 Примеси и их источники

### 5.1 Предварительная оценка

Элегаз, извлеченный из действующего электрооборудования, содержит несколько видов примесей. Ряд из них уже присутствует в составе исходного элегаза как результат технологического процесса.

Происхождение этих примесей и их допустимое количество рассматривается в [5] и [9]. Предполагаемое количество дополнительных примесей в элегазе, извлеченном из электрооборудования, образуется в результате как действия газа, так и работы оборудования. В таблице 1 приведены данные об основных посторонних примесях и их источниках [1] и [2].

Таблица 1 — Происхождение примесей в элегазе

| Состояние и использование элегаза | Источники примесей | Возможные примеси |
|---|---|---|
| При управлении и эксплуатации | Утечка и неполное извлечение. Десорбция | Воздух, масла, $H_2O$ |
| Функция изоляции | Частичные разряды: коронный и искровой разряды | HF, $SO_2$, $SOF_2$, $SOF_4$, $SO_2F_2$ |
| Коммутация оборудования | Эрозия под влиянием коммутационной дуги | $H_2O$, HF, $SO_2$, $SOF_2$, $SOF_4$, $SO_2F_2$, $CuF_2$, $SF_4$, $WO_3$, $CF_4$, $AlF_3$ |
| | Механическая эрозия | Металлическая пыль и частицы |
| Внутренняя дуга | Плавление и разложение материалов | Воздух, $H_2O$, HF, $SO_2$, $SOF_2$, $SOF_4$, $SO_2F_2$, $SF_4$, $CF_4$. Металлическая пыль и частицы, $AlF_3$, $FeF_3$, $WO_3$, $CuF_2$ |

### 5.2 Примеси как результат функционирования и обслуживания

Заполнение и извлечение элегаза из оборудования может привести к возникновению дополнительных воздушных включений и влаги.

Влага может быть также результатом десорбции с внутренней поверхности оборудования или его полимерных частей. Масло из работающего оборудования (насосы и компрессоры) также может случайно проникнуть в элегаз.

### 5.3 Примеси в электрооборудовании при выполнении элегазом функций электроизоляции

Основным процессом при выполнении элегазом функций электроизоляции является разложение элегаза под действием электрических разрядов (коронный и исходный разряды). В результате образуются продукты разложения элегаза, такие как $SF_5$, $SF_4$ и F, которые при соединении с $O_2$ и $H_2O$ образуют такие соединения, как HF, $SO_2$, $SOF_2$, $SOF_4$ и $SO_2F_2$. Вследствие небольшой мощности частичных разрядов суммарное количество этих соединений весьма незначительно.

### 5.4 Примеси при коммутации электрооборудования

При отключении тока высокотемпературный дуговой разряд приводит к образованию продуктов разложения элегаза; также это приводит к испарению металла с электродов, пластика и посторонних примесей. Кроме того, имеют место химические реакции между образовавшимися продуктами (см. таблицу 1).

Количество побочных продуктов регулируют рядом операций, конструкцией оборудования и использованием адсорберов (твердых адсорбентов).

Коммутируемое оборудование может также содержать частицы и металлическую пыль в результате взаимодействия контактов.

### 5.5 Примеси при внутренних дуговых разрядах

Внутренние дуговые разряды возникают крайне редко. Возникающие примеси в элегазе поврежденного оборудования подобны тем, что образуются при коммутации оборудования. Различие состоит в количестве примесей, которых оказывается вполне достаточно, с большой вероятностью риска, для образования токсичных веществ [9]. Кроме того, при возникновении внутренних дуговых разрядов происходит значительное испарение металлических материалов с образованием дополнительных продуктов реакции.

## 6 Экологические аспекты

### 6.1 Предварительная оценка

Деятельность человека оказывает воздействие на окружающую среду. Масштаб такого воздействия определяется количеством вовлеченных в эту деятельность веществ. Вследствие этого необходимо рассматривать степень воздействия элегаза на окружающую среду.

### 6.2 Влияние на экосистему

Элегаз является инертным газом (см. [3]). Поскольку его растворимость в воде крайне низка (см. [3]), он не представляет опасности для поверхностных и грунтовых вод или почвы. Элегаз также не накапливается в продуктах питания. Таким образом, элегаз не оказывает вреда на экосистему.

### 6.3 Истощение слоя озона

Элегаз не разрушает озоновый слой в стратосфере (см. [3]).

### 6.4 Парниковый эффект

Элегаз влияет на развитие парникового эффекта. Однако относительное количество используемого элегаза таково, что это влияние составляет менее 0,001 % относительно суммарного влияния других веществ. Влияние элегаза на развитие парникового эффекта весьма мало.

Успешный опыт эксплуатации, описанный в настоящем стандарте, дает гарантию, что незначительное влияние элегаза на развитие парникового эффекта поддерживается в течение длительного времени (см. [3]).

### 6.5 Продукты разложения

Продукты распада элегаза выбрасываются в атмосферу в незначительных количествах. В конце жизненного цикла электрооборудования эти продукты могут быть нейтрализованы без оказания отрицательного влияния на окружающую среду.

### 6.6 Заключение

Использование элегаза в электрооборудовании оказывает незначительное воздействие на окружающую среду и экосистему. Однако настолько незначительный уровень воздействия сохраняется при условии особого внимания персонала к предотвращению утечки элегаза из электрооборудования в процессе его эксплуатации.

## 7 Здоровье и безопасность персонала

### 7.1 Общие положения

Элегаз не имеет запаха, вкуса и цвета. При комнатной температуре химически устойчив и не воспламеняется.

Смесь, состоящая из 20 %-ного кислорода и 80 %-ного элегаза, при проникновении в органы дыхания не приводит к неблагоприятному воздействию на организм. Однако обычно считается, что максимальная концентрация элегаза в окружающем рабочем пространстве не должна превышать 1000 мл/л. Эта величина является допустимой в течение всего рабочего времени (8 ч в день при пятидневной рабочей неделе).

Данное требование к содержанию элегаза в окружающем рабочем пространстве не касается проблем токсичности — оно установлено для всех нетоксичных газов, которые обычно не присутствуют в атмосфере.

### 7.2 Меры предосторожности при работе с элегазом

Дополнительно необходимо рассмотреть ряд мер предосторожности при работе с элегазом. Рассматриваются следующие (по значимости) основные области.

#### 7.2.1 Истощение запасов кислорода

Элегаз почти в пять раз тяжелее воздуха. При выбросах элегаза в больших количествах в зону работающего персонала возможно скопление элегаза в низкорасположенных помещениях. В связи с этим воздух вытесняется и в результате количество кислорода снижается.

При содержании кислорода в воздухе ниже 16 % (см. [9]) будет существовать опасность удушья для персонала, находящегося в этих зонах. Это особенно ощутимо будет проявляться в зонах, находящихся ниже уровня земли, слабо вентилируемых или в которых вентиляция полностью отсутствует, например, в кабельных каналах, траншеях, смотровых колодцах и дренажных системах.

Тем не менее со временем, в зависимости от степени циркуляции воздуха и вентиляции, элегаз станет смешиваться с воздухом в зоне окружающей рабочей среды и его местная концентрация снизится до допустимых уровней.

**7.2.2 Механическая часть**

В большинстве используемых технологий давление элегаза находится на уровне, превышающем атмосферное. При этом должны быть приняты специальные меры для работающего оборудования с целью предотвращения опасности воздействия на персонал при механическом повреждении корпуса.

**7.2.3 Замораживание**

При быстром выбросе сжатого элегаза его внезапное расширение уменьшает окружающую температуру воздуха. При этом температура газа может упасть ниже 0 °С.

Персонал, случайно подвергнувшийся воздействию струи газа, например при заполнении газом оборудования, рискует получить серьезное обморожение участков тела при отсутствии защитной одежды и средств защиты глаз.

### 7.3 Меры предосторожности при использовании элегаза

При определенных условиях элегаз, используемый в электрооборудовании, может содержать продукты разложения с весьма вероятными токсичными свойствами.

Продукты разложения могут возникнуть двумя способами: при электрических разрядах и при нагреве.

**7.3.1 Продукты разложения при электрических разрядах**

Любой вид электрического разряда в элегазе способен привести к расщеплению молекул на составные части. Однако после химического распада подавляющее большинство продуктов разложения восстанавливается в составе элегаза.

Присутствие кислорода и паров воды (при наличии металлических поверхностей) способствует ускорению химических реакций (см. раздел 5). Ряд из них приводит к появлению небольшого количества побочных продуктов, которые могут обладать токсичными свойствами.

**7.3.2 Термическое разложение**

При температуре свыше 500 °С элегаз начинает распадаться на составные элементы. Такая температура может являться следствием пожаров, нагрева элементов и т. д.

Наличие металлических поверхностей способствует усилению этого эффекта за счет каталитических реакций. Продукты разложения могут возникнуть подобным образом, как указано в 7.3.1.

### 7.4 Здоровье персонала

При нормальной эксплуатации элегаз остается внутри электрооборудования и продукты разложения с устойчивой токсичностью поглощаются адсорбентами или выделяются на внутренней поверхности корпуса.

Выход элегаза из электрооборудования может происходить тремя путями:

- при утечке;
- при ненадлежащей эксплуатации;
- при повреждении корпуса.

Риск здоровью может возникнуть в случае, если продукты разложения будут присутствовать в большом количестве в окружающем рабочем пространстве в сочетании с определенной длительностью воздействия. Данные ситуации подробно рассмотрены в [9].

## 8 Требования к качеству повторно используемого элегаза во вновь вводимом или действующем коммутационном электрооборудовании

### 8.1 Блок-схема для элегаза, извлекаемого из электрооборудования для очистки

В качестве руководства для оперативного персонала рассматривается блок-схема (рисунок 1), устанавливающая выбранный порядок процедур для определения наилучшего использования элегаза после вывода его из эксплуатации для предполагаемой очистки [1], [2].

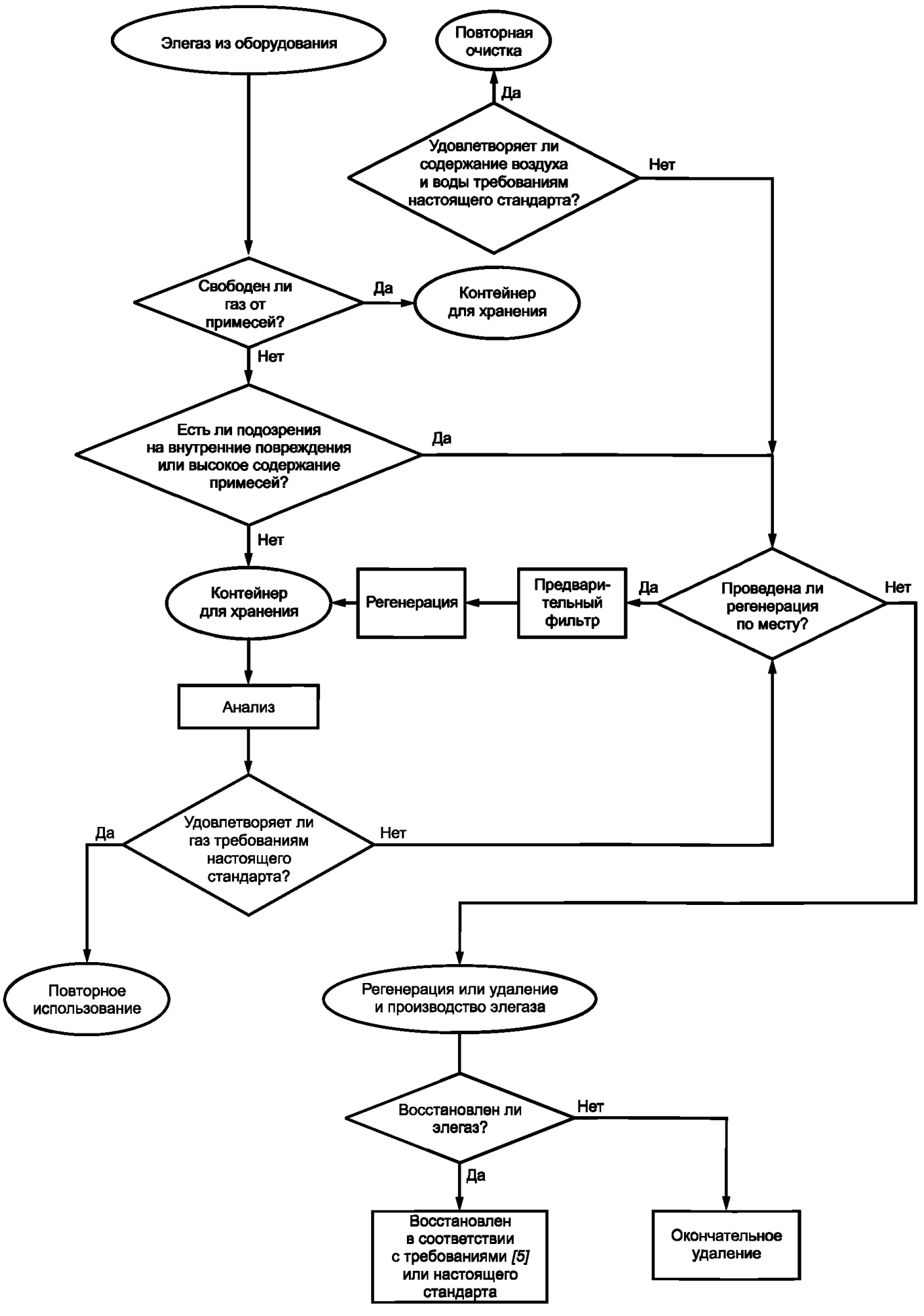



Рисунок 1 — Блок-схема для принятия решений по размещению или удалению элегаза

Максимально допустимые уровни примесей для повторного использования элегаза приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Максимально допустимые уровни примесей

| Примеси | Максимально допустимые значения | |
|---|---|---|
| | Номинальное абсолютное давление < 200 кПа[1)] | Номинальное абсолютное давление > 200 кПа[1)] |
| Воздух и/или $CF_4$ | 3 % объема[2)] | 3 % объема[2)] |
| $H_2O$ | 95 мг/кг[3),4)] | 25 мг/кг[4),5)] |
| Минеральное масло | 20 мг/кг[6)] | |
| Общее количество прореагировавших газообразных продуктов разложения | 50 мл/л в целом или 12 мл/л для ($SO_2$ + $SOF_2$) или 25 мл/л HF | |

[1)] Во всем диапазоне повторно используемых давлений, охватывающих все возможные применения (системы изоляции высокого и среднего напряжения, а также все выключатели), диапазон низких давлений повторного использования ($P$ < 200 кПа) был определен для специального выделения систем изоляции с низким давлением (в основном применяемым для оборудования на среднем напряжении).

[2)] При наличии смесей $SF_6$ уровни для этих газов должны быть установлены производителями оборудования.

[3)] 95 мг/кг массовой доли соответствует 750 мл/л объемной доли и точке росы минус 23 °С, измеренной при 100 кПа и 20 °С.

[4)] При преобразованиях до массовой миллионной доли эти уровни также должны применяться для смесей до тех пор, пока данная мера останется востребованной.

[5)] 25 мг/кг массовой доли соответствует 200 мл/л объемной доли и точке росы минус 36 °С, измеренной при 100 кПа и 20 °С.

[6)] Если газ регулируется оборудованием (насос, компрессор), содержащим масло, то может потребоваться измерение содержания масла в элегазе. Если же все оборудование, контактирующее с элегазом, свободно от масла, то при этом нет необходимости замерять содержание масла.

Следует отметить, что отбор пробы газа является важной задачей (см. приложение В).

В случае наличия в элегазе примесей воды или продуктов разложения вопрос о возможности его регенерации на месте зависит только от наличия соответствующих фильтров. Если элегаз нельзя регенерировать на месте, то его необходимо вернуть производителю или направить на регенерацию в компанию, осуществляющую его переработку.

В случае наличия в элегазе примесей воздуха и $CF_4$ вопрос о возможности его регенерации должен быть рассмотрен отдельно. Если концентрация воздуха и $CF_4$ достигнет максимально допустимого уровня (см. таблицу 2) и если в резервуаре, из которого был произведен отбор, находился элегаз в сжиженном состоянии, то элегаз, находящийся в газовой фазе, должен быть перемещен во второй резервуар. Передача должна продолжаться до тех пор, пока пробы газа из первого резервуара не станут удовлетворять максимально допустимому уровню. Содержимое второго резервуара не может быть регенерировано на месте. Для любого резервуара, в котором элегаз не содержится в сжиженном состоянии (а только в газовой фазе), требуется выполнение анализа только одного отбора на воздух или $CF_4$ для определения допустимости повторного использования элегаза или невозможности регенерации на месте.

## 9 Аналитические методы исследования элегаза и их значение

### 9.1 Общие правила

Методы анализа должны быть использованы при отборе проб элегаза. Особенности методов по отбору проб и аналитических методов представлены в приложении В.

### 9.2 Анализ по месту эксплуатации

Назначение анализа по месту эксплуатации состоит в быстром и простом контроле состояния и свойств элегаза. Порядок (алгоритм) проведения анализа устанавливается, чтобы определить, может ли газ быть повторно использован или требует регенерации (рисунок 2).

Если системы проведения указанного анализа имеются в наличии, то по нормам технических условий требуется использование минимально возможного количества элегаза, чтобы предотвратить

его выброс в атмосферу и гарантировать сохранение здоровья и безопасность персонала. Порядок проведения анализа отобранного газа с применением доступных аналитических методов приведен на рисунке 2, в таблице 3 и в приложении В.

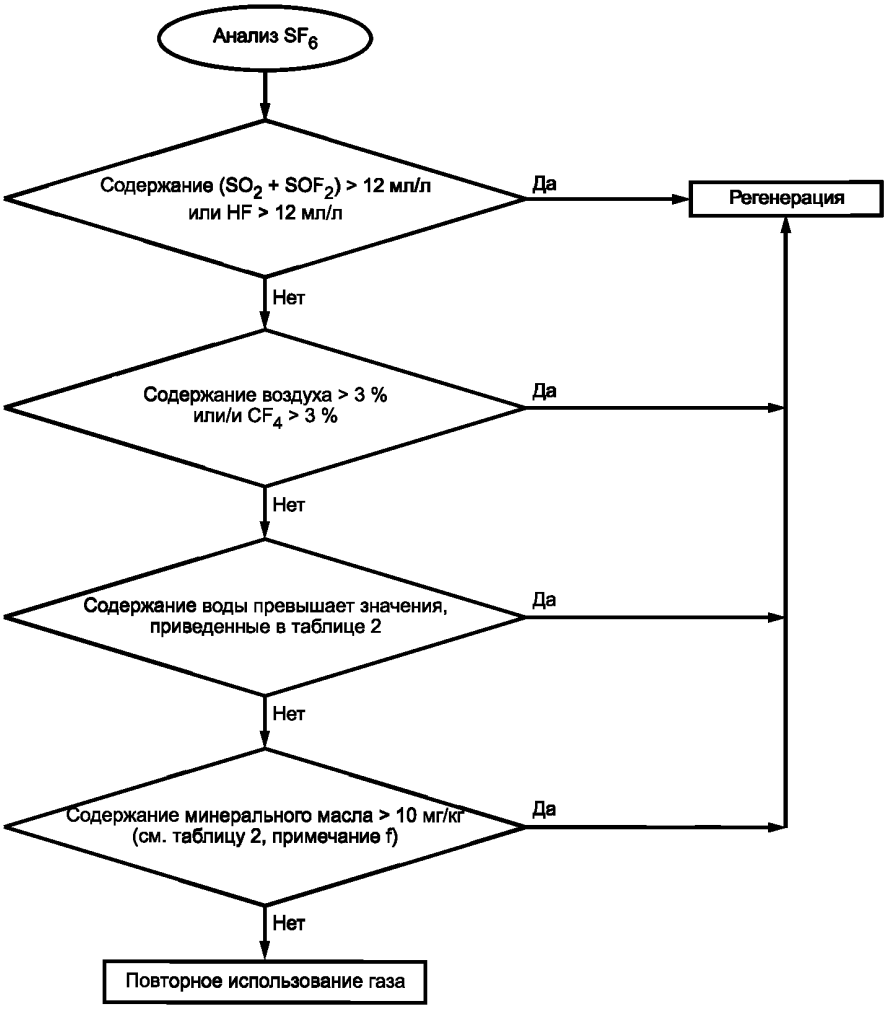



Рисунок 2 — Порядок проведения местного анализа

Таблица 3 — Методы анализа по месту эксплуатации

| Порядок анализа | Примеси | Необходимые методы |
|---|---|---|
| 1a | Продукты разложения: $SO_2$, $SOF_2$, $SO_2F_2$ (см. примечание) | Камера для $SO_2$ + $SOF_2$. Переносной хроматограф газа с термокондуктометрическим детектором |
| 1b | HF | Камера для HF |
| 2 | Воздух и $CF_4$ | Ареометр (для %-ного измерения содержания $SF_6$). Переносной хроматограф газа с термокондуктометрическим детектором |
| 3 | Вода (влага) | Сосуд для воды. Электронный ареометр. Ареометр с маленьким зеркалом. Электрохимический датчик. |
| 4 | Масло | Сосуд для минерального масла |
| Примечание — $SO_2F_2$ может быть представлен в виде газа, но не может быть измерен детекторными камерами. Гарантии утилизации этого побочного продукта приведены в приложении С. | | |

При проведении всех указанных анализов оператор должен следовать инструкциям производителя в части точности аналитического оборудования.

При проведении анализа на содержание $SO_2$, $SOF_2$ и HF требуется обязательное соблюдение двух требований: первого — по безопасности, позволяющего персоналу оценить риск, связанный с эксплуатацией используемого элегаза; и второго — по обеспечению защиты аналитического оборудования от коррозии.

### 9.3 Лабораторные анализы

При отсутствии местного оборудования должны быть использованы лабораторные методы, чтобы обеспечить количественную оценку примесей в пробе газа.

Вода является единственной примесью (загрязнением), которая не может быть определена точно с помощью сосуда для отбора. Содержание воды при отборе в камеру из резервуара не соответствует содержанию воды в резервуаре, поскольку вода осаждается на всей поверхности. Следовательно, анализ содержания воды должен всегда выполняться непосредственно в резервуаре по месту эксплуатации. Поэтому не существует рекомендуемого порядка анализа.

Таблица 4 — Лабораторные методы

| Примеси | Необходимое оборудование и методы |
|---|---|
| Воздух: кислород и азот | Газовый хроматограф с термокондуктометрическим детектором |
| $CF_4$ | Газовый хроматограф.<br>Инфракрасное поглощение |
| Масло | Инфракрасное поглощение.<br>Газовый хроматограф с пламенно-ионизационным детектором |
| Продукты распада $SO_2$, $SOF_2$, $SO_2F_2$, $SF_4$, HF | Газовый хроматограф.<br>Ионизационный хроматограф.<br>Инфракрасная абсорбция |

## 10 Извлечение, хранение и транспортирование

### 10.1 Предварительная оценка

В настоящем разделе рассматриваются операции, при которых элегаз должен находиться в оболочке электрооборудования и быть в состоянии частичного разложения или загрязнения [2], [3]. Эти операции включают в себя извлечение и перемещение элегаза в процессе эксплуатации или его расширения.

Требования к извлечению используемого элегаза возрастают, если:

a) давление газа увеличивается в герметически закрытых системах;

b) необходимо перемещение газа из оболочки (закрытого резервуара) для обслуживания, ремонта или расширения;

c) необходимо удаление газа из оборудования в конце его жизненного цикла;

d) необходимо выполнение отбора газа или измерение его давления по временным связям измерительного прибора.

Условия безопасности, представленные в настоящем разделе, применимы к любым указанным ситуациям. Перечисления a) и b) касаются, главным образом, высоковольтного оборудования, но могут иметь место и в газонаполненном оборудовании среднего напряжения, в частности, если требуется продление срока эксплуатации существующего коммутационного оборудования. Данные ситуации не распространяются на электрооборудование, использующее закрытые под давлением системы.

### 10.2 Газоизвлекающее оборудование

При удалении используемого элегаза из закрытого резервуара необходимо принять меры по предотвращению выброса газа в атмосферу, в частности, в рабочую зону.

Газоизвлекающее оборудование должно быть использовано для обеспечения возможности хранения элегаза под давлением. Такое оборудование должно обладать высокими газоперекачивающими свойствами, позволяющими откачивать максимальное количество газа из резервуара.

Газоперекачивающее оборудование считается функциональным, если оно специально разработано для работы с элегазом и обеспечено средствами регенерации при удалении газообразных и твердых продуктов разложения. Такой тип оборудования является предпочтительным, в частности, при удалении особо загрязненного элегаза, например из камер выключателя.

### 10.3 Основные требования безопасности

Руководство по обеспечению безопасности работы с элегазом требует, чтобы были учтены следующие аварийные ситуации:

a) снижение уровня кислорода (см. 7.2.1);

b) замерзание (см. 7.2.3);

c) выброс продуктов разложения (см. 7.3).

Персонал, обслуживающий извлекаемый элегаз, как и персонал, обслуживающий электрооборудование, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (защитные перчатки, очки и т. д.). Инструкции производителей и пользователей должны содержать требования, учитывающие извлечение газа в каждой из ситуаций, указанных в 10.1 и [*9*].

Персонал, осуществляющий перекачку элегаза, должен быть ознакомлен со свойствами продуктов разложения элегаза (см. раздел 5) и должен осознавать опасность угрозы здоровью (например, в результате контактов, вдыхания и т. д.) и стремиться к их минимизации. Основные рекомендации по безопасности приведены в [*9*].

#### 10.3.1 Обучение персонала

Специальное обучение правилам безопасности должно быть организовано для персонала, обслуживающего использованный элегаз. Это требование не является необходимым, если персонал уже прошел соответствующее обучение или имеет соответствующую квалификацию.

Персонал должен быть обучен правилам обращения с элегазом при его перемещении из рабочей камеры в хранилище. Инструкции по эксплуатации, разработанные производителем для такого оборудования, должны удовлетворять этим требованиям.

Инструкции по оказанию первой помощи пострадавшим должны быть включены в программу по обучению правилам безопасности.

#### 10.3.2 Средства обслуживания

При опустошении резервуара, содержащего использованный элегаз, в распоряжении персонала должны находиться соответствующие гигиенические средства.

#### 10.3.3 Работа на открытом воздухе

При работе на открытом воздухе в процессе удаления использованного элегаза из резервуара не требуется никаких специальных мер предосторожности (сверх указанных выше) для предотвращения поражения, которому персонал может подвергнуться непосредственно при воздействии продуктов разложения и выброса элегаза.

#### 10.3.4 Работа в помещении

Оборудование, установленное в помещениях, должно быть оснащено соответствующей вентиляцией.

При удалении используемого газа из резервуара в установку, находящуюся в помещении, необходимо гарантировать, чтобы уровень концентрации потенциально токсичных продуктов разложения (например, HF, $SO_2$, $SOF_2$, $SO_2F_2$) оставался в рабочей зоне на безопасном уровне.

В идеальном случае это достигается путем непосредственного измерения концентрации вещества, являющегося основным «вкладчиком» в токсичность — $SOF_2$, а также продуктов гидролиза $SOF_2$, двуоксида серы $SO_2$ и втористого водорода HF. Для среднего уровня разложения уровни безопасности этих смесей определяются максимальной концентрацией 200 мл/л элегаза в зоне (см. [*9*]). Тем не менее, это не позволяет предотвратить более серьезную опасность — выброс элегаза.

Необходимо отметить, что открытый огонь, а также курение, нагрев до температуры свыше 200 °С и сварочные работы, проводимые без выполнения специальных мер предосторожности, недопустимы. При этом инструкции по оказанию первой помощи пострадавшим при работе с элегазом в закрытом помещении (см. [*9*]) должны быть вывешены на видном месте.

### 10.4 Состояние элегаза в закрытом резервуаре

Состояние используемого элегаза в закрытом резервуаре зависит от типа и мощности электрических разрядов или дуги, образовавшейся внутри камеры. Обычно рассматриваются следующие три стадии:

a) элегаз находится в резервуаре, в котором отсутствуют движущиеся части выключателя, что не приводит к обмену газами.

Газ — нулевой или низкий уровень разложения.

Твердые тела — отсутствие или малое содержание порошкообразных отложений;

b) элегаз находится в резервуаре, содержащем движущиеся части выключателя, и связан с таким же резервуаром.

Газ — средний уровень разложения (содержание побочных продуктов зависит от эффективности поглощающего (абсорбирующего) материала, используемого в данном типе камеры).

Твердые тела — количество отложений будет зависеть от динамики процессов отключения токов выключателем;

c) элегаз находится в камере, в которой имеет место мощный дуговой разряд, но при этом камера не связана с атмосферой через предохранительный клапан или через место прожога. В этом случае внутреннее повреждение возможно, но выключатель ограничивает область повреждения прежде, чем давление в камере возрастет до уровня, достаточного для того, чтобы произошел выброс элегаза.

Газ — вероятность высокого уровня разложения.

Твердые тела — ожидается большое количество продуктов отложения. Их состав зависит от того, какие материалы подверглись нагреву со стороны дугового разряда.

Информация по отбору и испытаниям элегаза, взятого из камеры, приведена в приложении А.

### 10.5 Удаление использованного элегаза из рабочей камеры

Оборудование по утилизации (регенерации, улавливанию) элегаза, как описано в приложении С, должно быть оснащено средствами, позволяющими удалить элегаз с минимальной утечкой в атмосферу, и предпочтительно содержать средства по регенерации использованного элегаза. Такое оборудование должно включать в себя, по крайней мере, вакуумный насос, фильтрующий элемент, компрессор, соответствующие средства для управления потоком элегаза и резервуар.

При невозможности регенерации элегаза на месте в пределах оборудования он должен быть отправлен производителю, регенерирующей компании или на ликвидацию (см. рисунок 1).

### 10.6 Хранение и транспортирование использованного элегаза

Хранение и транспортирование нового, неиспользованного и использованного элегаза должны быть осуществлены полностью в соответствие с конкретными инструкциями.

В процессе регенерации и транспортирования в другие пункты расположения (для повторного использования в другом оборудовании) элегаз должен храниться в сосудах, предпочтительно цилиндрической конструкции (баллонах).

Баллоны должны иметь специальную окраску и маркировку для предотвращения смешивания использованного и нового элегаза (см. приложение С).

Баллоны, которые были маркированы для загрузки нового элегаза или в которых был перевезен новый, не бывший в употреблении элегаз, ни при каких условиях не должны быть применены для хранения использованного элегаза.

Для большей части оборудования для утилизации элегаза, а также для его хранения и заправки новым газом может использоваться один и тот же тип газовых баллонов давлением до 5 МПа. На этом основании использованный элегаз может храниться в безопасном соотношении: 1 кг элегаза на 1 л объема без предъявления специальных требований к обслуживанию этих баллонов.

## Приложение А
## (рекомендуемое)

### Максимально допустимые уровни влажности при повторном использовании элегаза

Для определения влажности, как указывается в настоящем стандарте, рассматриваются три основных уровня [1]:

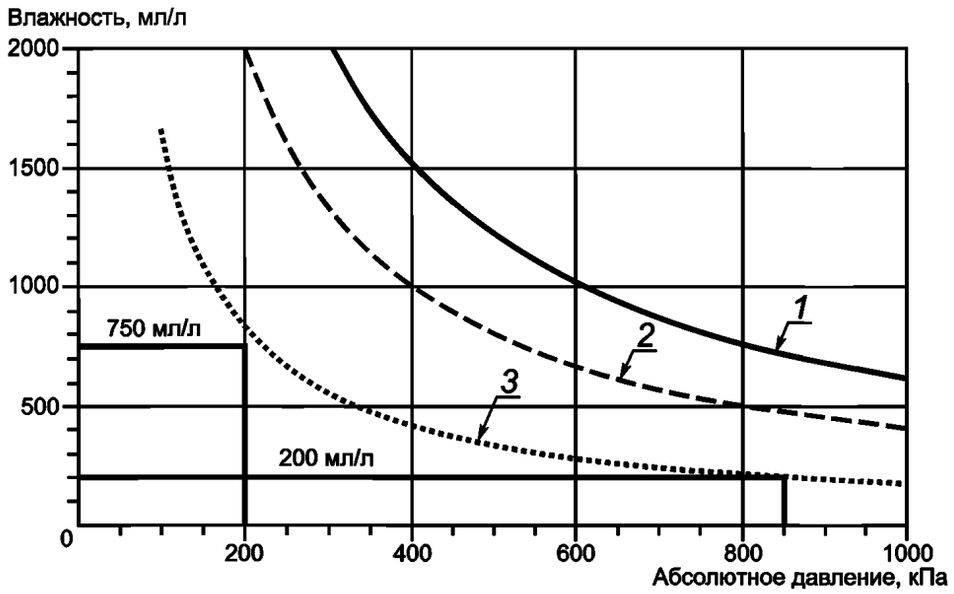
a) уровень влажности, выше которого осуществляется конденсация паров жидкости и которая в единицах парциального давления насыщенного водяного пара составляет 611 Па (см. [*9*]);

b) максимально допустимый уровень для оборудования (в соответствии с [*8*]), принятый с целью безопасного предотвращения конденсации влаги. Это точно определяется точкой росы в 5 °С, что соответствует давлению насыщенного водяного пара 400 Па (см. [*9*]), составляющему около двух третей уровня конденсации воды $P_{H_2O}$ = 611 Па;

c) основной уровень влажности для оборудования обычно находится в диапазоне от 100 до 300 Па [4]. Этот уровень устанавливается как результат сорбционных — десорбционных процессов на внутренних поверхностях оборудования и адсорберов и является характеристикой конструкции и состояния резервуара. Рассматриваемый уровень не может быть уменьшен путем наполнения сухим газом, поскольку поверхности и адсорбер содержат на два порядка большую величину влажности за счет использования влажного газа [1].

Следовательно, определение уровня влажности может рассматриваться как соответствующее требование-критерий для повторного использования элегаза: давление насыщенного водяного пара в газе не должно превышать 150 Па [*9*], при точке росы минус 15 °С. Этот уровень обеспечивает запас надежности с показателем 2,7 по отношению к максимально допустимому уровню для оборудования (400 Па) и запас надежности с показателем 4 по отношению к уровню, выше которого имеет место конденсация паров жидкости (611 Па).

На рисунке А.1 представлены указанные выше уровни влажности при рабочем давлении *P*.




Примечание — Ступенчатая кривая рекомендуется для упрощения, с целью различия между низшим (менее 200 кПа) и высшим (менее 850 кПа) диапазонами давлений повторного использования.

*1* — предел конденсации жидкости при рабочем давлении 611 Па и температуре $T_d$ = 0 °С; *2* — максимальная концентрация в оборудовании в соответствии с [8] при рабочем давлении 400 Па и температуре $T_d$ = минус 5 °С; *3* — рекомендуемый максимально допустимый уровень для повторного использования при рабочем давлении 150 Па и температуре $T_d$ = минус 15 °С

Рисунок А.1 — Уровни влажности в функции давления газа *P*

Поскольку значения концентрации в миллионных долях по объему определяются как отношение давления насыщенного водяного пара $P_{H_2O}$ к давлению *P* газа, то эти значения обратно пропорционально зависят от давления *P* газа. Шкала концентраций в миллионных долях по объему позволяет осуществить непосредственное определение запасов по надежности между тремя кривыми: при конденсации жидкости, по [*8*] и рекомендуемого максимального уровня примесей при повторном использовании.

В практическом отношении затруднительно определение уровней концентрации в миллионных долях по объему для повторного использования для каждого конкретного давления. Поэтому целесообразно упростить критерий влажности для повторного использования путем определения низшего предела давлений повторного использования в полном интервале давлений в соответствии со ступенчатой кривой.

Полный диапазон давлений повторного использования элегаза ниже 850 кПа охватывает системы электрической изоляции среднего и высокого напряжений, а также всех выключателей. Основная задача регенерируемого оборудования заключается в сжатии элегаза до его снижения.

Низкий уровень давления повторного использования ниже 200 кПа используется только для систем электроизоляции среднего напряжения. При этом имеющиеся в наличии малоэффективные устройства регенерации могут быть утилизированы, поскольку нет необходимости в сжатии элегаза до его сжижения, и тем самым обеспечивается лучшая экономия для использования.

Критерий повторного использования для обоих диапазонов давления выбирается таким образом, чтобы предельная кривая, соответствующая давлению насыщенного водяного пара 150 Па, практически охватывала максимальное давление повторного использования в диапазоне, то есть 200 кПа — для низшего предела давлений и 850 кПа — для высшего диапазона давлений.

Приложение В
(рекомендуемое)

## Описание различных методов анализа (на месте эксплуатации и в лаборатории)

### В.1 Отбор проб

Отбор проб должен отражать состав элегаза в резервуаре. Отбор проб следует проводить в жидкой фазе. При отсутствии элегаза в резервуаре в жидкой фазе отбор проб должен быть выполнен непосредственно в газовой фазе.

Перед отбором проб пространство всех патрубков и соединений от резервуара к аналитическому оборудованию или к цилиндру отбора должно быть очищено вакуумным насосом. Для резервуара, в случае если канал для отбора соединяется с основной камерой длинной секцией узких труб, соединения этих труб должны быть продуты с помощью газа из резервуара для обеспечения репрезентативности отбора элегаза в резервуар.

По возможности составляющие, находящиеся в контакте с элегазом, должны быть выполнены из нержавеющей стали или другого химически стойкого материала с целью минимизации реакций и загрязнений в процессе отбора. Анализируемый отбор не должен проходить через активный фильтр (молекулярный сетчатый фильтр, оксид алюминия), который способен изменить состав газа. Однако мелкоячеистый фильтр может понадобиться для защиты отбора от загрязнения мелкими частицами.

Чтобы минимизировать выброс элегаза в атмосферу и ограничить воздействие на персонал токсичных продуктов распада, должен быть использован сборный мешок или подобное средство (см. рисунки В.1 и В.2). При этом газ, находящийся в сборном мешке, должен быть регенерирован.

Процедуры отбора приведены на рисунках В.1 и В.2.

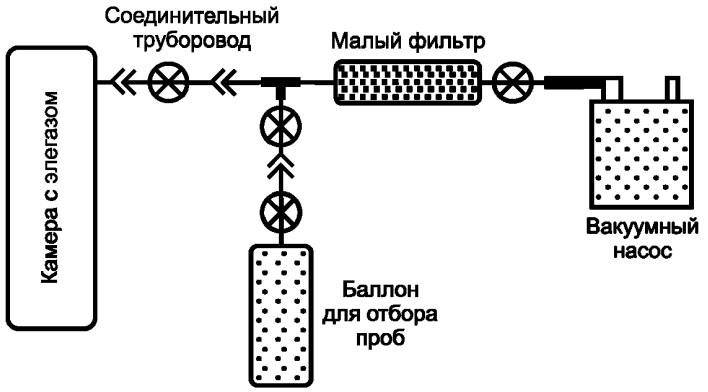



Рисунок В.1 — Установка для отбора газовой фазы элегаза: откачка

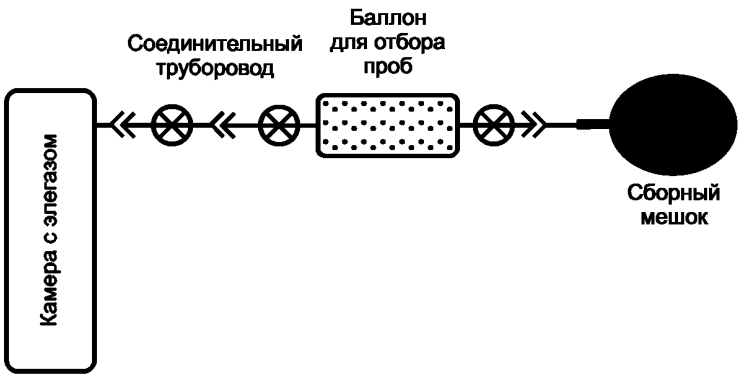



Рисунок В.2 — Установка для отбора газовой фазы элегаза: продувка

#### В.1.1 Связи для отбора на месте эксплуатации

Для выполнения отбора на месте эксплуатации требуются непосредственные связи. Линии связи должны быть выполнены трубопроводом из нержавеющей стали с внешним диаметром от 3 до 6 мм (номинал), но не менее двух метров в длину. Концы линии должны иметь запаянные патрубки или вентили для предотвращения прямой связи с внешней воздушной средой, когда этого не требуется.

**В.1.2 Отбор для лабораторного анализа**

Объем цилиндра должен находиться в диапазоне от 150 до 500 мл [больший объем, вплоть до 1000 мл, может понадобиться при анализе с помощью инфракрасного преобразования Фурье (ИПФ)]. Все материалы цилиндра и вентиля, находящиеся в контакте при отборе, должны быть выполнены из нержавеющей стали или химически стойких материалов, таких как политетрафторэтилен (ПТФЭ). Цилиндр и связи должны работать при высоких давлениях (5 МПа).

Рекомендуется следующий порядок действий для удаления какой-либо примеси (см. рисунок В.1):

- нагревают цилиндр до 100 °С и выполняют откачку в течение одного часа (первичный вакуум);
- закрывают вентиль и охлаждают цилиндр до комнатной температуры (перед повторным использованием), прочищают сухим азотом ($N_2$) и откачивают газ;
- повторяют операцию и держат цилиндр отключенным.

Соединяют цилиндр с патрубком отбора резервуара в прямом направлении. Заполняют цилиндр один раз и ждут в течение одной минуты конденсации на внутренней поверхности. Откачивают цилиндр и заполняют его вновь. После заполнения цилиндра с отбором закрывают вентиль для предотвращения потери отбора из-за случайного открытия вентиля при перевозке в лабораторию.

Заполненные патрубки облегчают процесс проведения отбора.

При продувке (см. рисунок В.2) используют сборный мешок или подобные средства, чтобы предотвратить утечку элегаза. Небольшой объем элегаза может быть пропущен через цилиндр для конденсации его внутренних стенок. После окончания отбора элегаз должен быть регенерирован.

**В.2 Анализ на месте эксплуатации**

**В.2.1 Индикаторные трубки**

В.2.1.1 Принцип действия

Индикаторные трубки предназначаются для измерения концентраций специфических газов.

Продукты химической реакции в трубках изменяют окраску. Определенное количество газа пропускают через трубку. По калиброванной шкале определяют концентрацию выбранного состава.

Степень изменения цвета на входе трубки вдоль калиброванной шкалы указывает концентрацию выбранной смеси при измерении.

В.2.1.2 Условия применения

Производители прилагают инструкции к каждому типу индикаторных трубок в зависимости от количества газа, мощности перетока и внешних условий. Поскольку индикатор реагирует на изменение цвета, длина изменения цвета в наилучшей степени характеризует степень сжатия элегаза в камере. Индикаторные трубки имеют конечный срок службы и должны храниться в соответствии с инструкциями производителей.

Индикаторные трубки, которые определяют количество водяных паров, HF, $SO_2$ и минеральные масла, должны поставляться от различных производителей.

Предполагаемая точность измерений указанных характеристик должна находиться в пределах от ± 15 % до ± 25 %.

Во всех случаях необходимо обязательно следовать требованиям инструкций производителей.

**В.2.2 Счетчик концентрации элегаза**

Концентрация элегаза определяется ареометром, измеряющим скорость звука при отборе газа. Данный тип счетчика для измерения содержания чистого элегаза в воздухе обычно калибруется с точностью не ниже ± 1 %. Однако на точность измерения может повлиять присутствие других газов (например, $CF_4$ и других продуктов разложения).

Во всех случаях необходимо точно следовать требованиям инструкции производителей.

**В.2.3 Счетчики воды (ареометры)**

Существуют следующие типы приборов:

Монитор температуры (точки росы)

Монитор температуры определяет точку росы с помощью измерения температуры, при которой происходит конденсация влаги на поверхности зеркала. Температура, при которой зеркало начинает запотевать, называется точкой росы. В [7] содержатся руководящие указания по превращению точки росы водяного пара при массовой концентрации.

Электронный гидрометр

Электронный гидрометр является датчиком, который измеряет парциальное давление водяного пара в смеси газа, как правило, посредством контроля изменения электрической емкости при прохождении газа через полупроницаемый слой. Точка росы водяного пара устанавливается в соответствии с его парциальным давлением.

Электрохимический чувствительный гидрометр

Электрохимический гидрометр определяет влажность путем измерения установившегося значения тока, требуемого для электролиза воды в потоке газа.

ВНИМАНИЕ! Измерения элегаза с содержанием HF могут повредить оборудование. Во всех случаях необходимо руководствоваться инструкциями производителей.

### В.3 Лабораторный анализ

#### В.3.1 Хроматография газа

Современные хроматографические приборы способны анализировать все газообразные примеси в элегазе на уровнях, точно определяемых в настоящем стандарте.

Действие хроматографа заключается в отделении компонентов пробы из части системы труб, называемой аналитической колонной. Каждая смесь требует различного времени для заполнения колонны. Результатом является хроматограмма, которая представляет собой временную последовательность пиков, соответствующих компонентам пробы. Высота или площадь пика пропорциональна количеству компонентов составляющей (см. рисунок В.3).

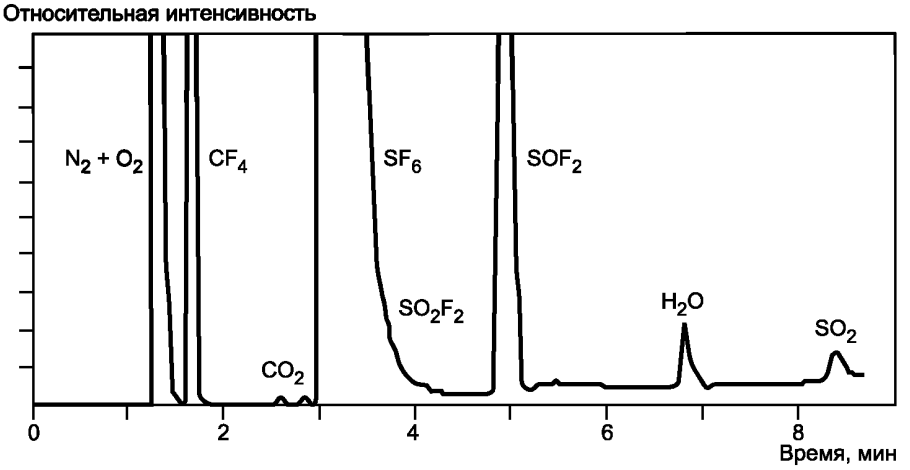



Рисунок В.3 — Типичная газовая хроматограмма при разложении элегаза (анализ выполнен с помощью колонны типа Porapak Q)

В.3.1.1 Газовая хроматография с датчиком удельной теплопроводности (ДУТ)

Воздух, $CF_4$, $CO_2$, $SF_6$ и $SOF_2$ легко анализируются. Однако количественные измерения $SO_2F_2$ и $SO_2$ могут оказаться затруднительными. Например, анализ HF невозможен, так как он не поддается обнаружению с помощью этого хроматографического прибора.

*а*) Меры предосторожности

В [5] содержится описание аналитического метода, который использует газовую хроматографию совместно с датчиком удельной теплопроводности. Точность предложенного метода может быть улучшена следующим образом:

- применение автоматического впрыскивания, использующего схему отбора 0,1—1 мл, и многополюсного коммутационного вентиля является предпочтительным по сравнению с ручным впрыскиванием с помощью стеклянного шприца. Хроматограф должен быть снабжен впускным каналом, к которому должна быть присоединена емкость для отбора проб;

- улучшение отделения следов загрязнений достигается применением температурного градиента (обычно от 60 °С до 180 °С) в большей степени, чем с помощью изотермического. В этом случае пик, соответствующий испарению водяного пара, содержащегося в газовом отборе, может быть увиден на хроматограмме. Однако содержание влаги в этом случае может быть определено только полуколичественно;

- важно отметить, что данный хроматографический метод будет выполнять соответствующие количественные измерения только в том случае, если хроматографические системы находятся в надлежащем состоянии. Это означает, что измерительный прибор должен использоваться в установленном порядке. В противном случае перед использованием требуется предварительная обработка посредством инъекции соответствующей газовой смеси, содержащей несколько сотен долей концентрации в миллионных долях по объему $SO_2$ и/или $SOF_2$ и/или HF в воздухе (или элегазе), последовательными сериями калибровочных опытов. Не существует других известных средств определения и количественной оценки продуктов разложения низкой концентрации для достижения требований, установленных в настоящем стандарте.

*б*) Типовая хроматографическая установка

При выполнении следующих условий прогнозируется получение надежных результатов со следующими параметрами:

- транспортирующий газ: гелий или водород (от 10 до 25 мл/мин), (лучшая разрешающая способность у водорода); расход должен быть оптимизирован для используемого типа колонны;

- аналитическая колонна:

колонна из нержавеющей стали заполняется пористым полимером типа Porapak Q (80/100 мешков), длина колонны от 3 до 4 м, толщина стенки 3 мм;

капилляр с широким отверстием (типа Poraplot), длиной от 20 до 30 м, толщиной 0,53 мм;

новый GS GasPro (J&W), длиной свыше 60 м; толщиной 0,32 мм.

*Примечание — Применение аналитических колонн с указанными сорбентами обеспечивает хроматографию газа с высокой степенью достоверности;*

- характеристики работы термостата:

начальная температура от 60 °С до 80 °С;

конечная температура от 120 °С до 180 °С;

скорость нагрева от 10 °С/мин до 20 °С/мин.

Типичная хроматограмма примесей элегаза и побочных продуктов разложения приведена на рисунке В.3.

*в*) Поверка

Чувствительность хроматографического детектора должна быть откалибрована для всех вышеуказанных примесей и газов побочных продуктов элегаза. При этом из-за нестабильности или отсутствия этих смесей указанная калибровка может оказаться затруднительной.

Может быть предложен следующий альтернативный порядок поверки. Он требует поверки чувствительности детектора при определенных аналитических условиях для воздуха, элегаза и может быть $CF_4$. Индивидуальная чувствительность системы для других составов может быть получена исходя из относительной чувствительности (см. таблицу В.1).

Таблица В.1 — Относительный показатель чувствительности детектора удельной теплопроводности

| Газ | Относительный показатель чувствительности детектора удельной теплопроводности |
|---|---|
| Воздух | 0,48 ± 0,08 |
| $CF_4$ | 0,76 ± 0,06 |
| $CO_2$ | 0,56 ± 0,08 |
| $SF_6$ | 1 ± 0 |
| $SO_2F_2$ | 0,78 ± 0,08 |
| $SOF_2$ | 0,68 ± 0,08 |
| $SO_2$ | 0,45 ± 0,05 |
| $H_2O$ | 0,5 ± 0,2 |
| *Примечание — Данные получены с разрешения канадской государственной компании Hydro Quebec (Идро-Кебек), французской компании Schneider Electric (Шнайдер Электрик) и группы компаний EDF (ЭДФ).* | |

*г*) Газовая хроматография с применением пламенно-ионизационного детектора (ПИД)

Содержание масел в элегазе может быть измерено с помощью следующего метода, который применяется для анализа углеводородов нефти в пределах от $C_{10}$ до $C_{50}$. Масла могут быть выделены с помощью фильтра, расположенного в трубопроводе или непосредственно в резервуаре, промытом циклогексаном. При высокой температуре пламенно-ионизационного детектора минимальная пороговая чувствительность соответствует примерно 4 мг масла в 1 мл циклогексана. Минимальная пороговая чувствительность по маслу в элегазе зависит от массы элегаза, пропускаемой через фильтр или находящейся в резервуаре, и объема циклогексана, используемого для выделения масла.

Условия, позволяющие достичь необходимого результата, представлены в следующем примере.

***Пример — Аналитическая колонна: многоканальная из нержавеющей стали 5 м в длину с внутренним диаметром 0,53 мм и оболочкой толщиной 0,15 мм.***

***Газ-носитель и его состав: гелий сверхвысокой частоты — со скоростью 15 мл/мин каждый, при полном расходе пламенно-ионизационного детектора 30 мл/мин.***

***Газ пламенно-ионизационного детектора: водород сверхвысокой частоты — при 30 мл/мин, и воздух — при 300 мл/мин.***

***Хроматограмма анализируется группой пиков для измерения площади в диапазоне от $C_{10}$ до $C_{24}$ и от $C_{24}$ до $C_{50}$ для углеводородов нефти. Эти два диапазона калибруются с помощью n-гексадекана (n-$C_{16}$) и n-гексатриаконтана (n-$C_{36}$) соответственно.***

В.3.1.2 Ионообменная хроматография

Ионная хроматография базируется на использовании ионообменных колонн. Она может быть использована для анализа следующих продуктов разложения: $SO_2$, $SOF_2$, $SO_2F_2$, $SF_4$, HF. Растворитель карбоната обладает очень низким фоновым выходом и высокой чувствительностью. Этот метод предназначен для большого числа веществ, имеющихся в окружающей среде, и использует ION PAC AS4A (*ионный хроматограф производства американской корпорации Dionex*). Дополнительные детали могут быть получены из каталога US Environmental Protection Agency (Агентство охраны окружающей среды США) [4].

**В.3.2 Инфракрасная спектроскопия**

В.3.2.1 Принципы

Луч инфракрасного света, пропущенный через материал, взятый для пробы, в направлении светочувствительного детектора, ослабляется по уровню.

Отношение проходящего светового потока к падающему, как функция длины волны, формирует инфракрасный абсорбционный спектр отобранной пробы.

Инфракрасный абсорбционный спектр отобранной пробы газа характеризуется пиками на абсорбционной длине волны газа. Размер, форма и расположение пиков спектра могут быть использованы для идентификации состава и количества газа в отборе.

Большинство примесей элегаза могут быть идентифицированы с помощью поглощения инфракрасных лучей в инфракрасной области спектра, исключая кислород и азот; двухатомные и одноатомные газы (например, аргон) не обладают значительной инфракрасной абсорбцией. Присутствие ряда примесей не может быть определено из-за наложения на их спектр спектра элегаза. Область спектра при частотах менее 580 $см^{-1}$ свободна от каких-либо влияний элегаза.

В.3.2.2 Инфракрасный спектрометр с преобразованием Фурье (ИСПФ)

ИСПФ обеспечивают высокую разрежающую способность с высоким быстродействием (чувствительностью). Полный инфракрасный спектр измеряется многократно, а затем усредняется с целью снижения воздействия помех.

Спектр получается с достаточной разрешающей способностью с целью распознавания диапазонов абсорбции при определении количества компонентов отбора.

В.3.2.3 Абсорбционный элемент

Отбор газа вводится в абсорбционный элемент внутрь спектрометра для анализа. Предпочтительно выполнять элемент из нержавеющей стали для минимизации реакции с примесями, HF из пробы. Элемент должен быть оборудован смотровыми окнами для передачи инфракрасных лучей вниз по крайней мере к 500 $см^{-1}$. Оптическая длина пути элемента должна составлять по крайней мере 10 см. Длина пути пробега в несколько метров образуется за счет использования зеркала, направляющего лучи по ломаной траектории внутри элемента для минимизации общего объема элемента. Оптимальная длина пути зависит от отношения сигнал — помеха спектрометра на частотах абсорбции, представляющих интерес, и от требуемого минимального из определяемых пределов.

В.3.2.4 Анализ

Метод спектрального анализа базируется на линейной зависимости между абсорбцией и концентрацией. Диапазон линейности зависит от используемого оборудования и абсорбционной способности.

В.3.2.5 Частоты абсорбции газов

Основные частоты пиков абсорбции для элегаза и загрязняющих примесей элегаза показаны в таблице В.2.

Таблица В.2 — Пиковая абсорбция элегаза и загрязняющих примесей

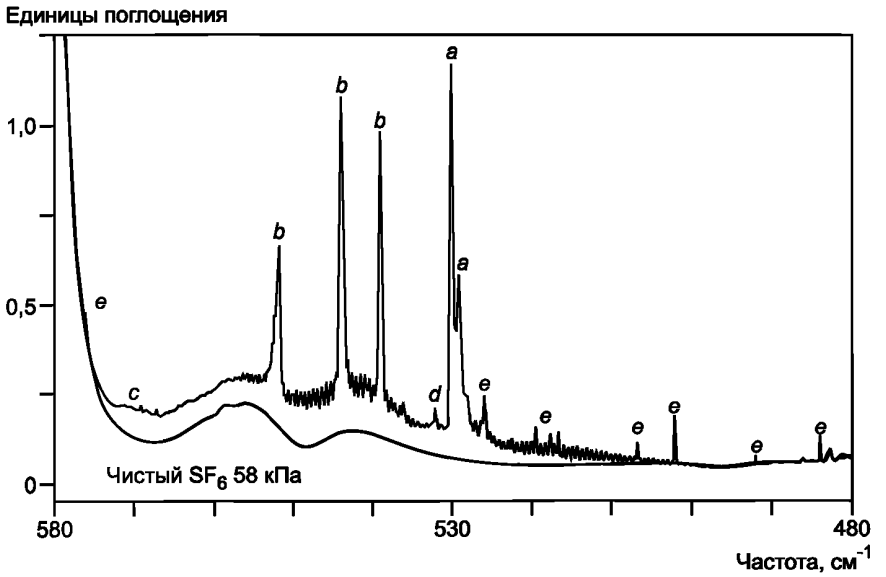
| Газ | Максимум абсорбции, ($см^{-1}$) | Пиковые коэффициенты поглощения, $10^{-6}$(кПа·мл/л·м)$^{-1}$ |
|---|---|---|
| $SO_2$ | 491, 494, 497, 500, 503, 506 | ~ 1,1 для каждого |
| $SOF_2$ | 530, 808 | 12, 46 |
| $SO_2F_2$ | 539, 544, 552 | 21, 25, 15 |
| $SOF_4$ | 570, 752 | 4, 8 |
| $SF_4$ | 532, 730 | 9, 80 |
| $CF_4$ | 1283, 2186 | 550; 2,2 |
| HF | 3644, 3693 | Слишком узкие линии для количественного распознавания |
| Минеральное масло | 2930 | Бесполезное |
| $SF_6$ | 610, 860, 950, 1260, 1560 (широкий диапазон частот) | Нет данных |

Может быть обнаружено наличие водяных паров. Однако это затруднительно выполнить количественно с применением ИСПФ. Полный метод для минеральных масел представлен в [6].

Пиковые значения коэффициентов поглощения, приведенные в таблице В.2, могут рассматриваться в качестве нормативных значений при поверке давлений и длин пробега в спектре проб. Следует отметить, что наличие элегаза изменяет внешний вид спектра, расширяя и в некоторых случаях сдвигая пики.

Стандартный спектр загрязнений должен быть получен в условиях, схожих с условиями отбора.

Типовая спектрограмма элегаза и примесей, полученная в указанных условиях, приведена на рисунке В.4.




*a* — $SOF_2$; *c* — $SOF_4$; *e* — $H_2O$; *b* — $SO_2F_2$; *d* — $SF_4$

Рисунок В.4 — Инфракрасная область спектра загрязнений элегаза

**Приложение С**
**(рекомендуемое)**

## Рекомендации по регенерации и порядок действий на месте эксплуатации

Методика регенерации на месте эксплуатации основывается на абсорбции примесей. Отработанные загрязнения должны быть уже абсорбированы в блоке фильтров потребителя. Такие фильтры являются составной частью установленного элегазового оборудования или должны быть доступными в качестве отдельных фильтрационных блоков.

### С.1 Требования к фильтрации

Фильтры должны соответствовать следующим требованиям:

- надежное извлечение указанных загрязнений;
- кассетный тип фильтра для несложного и безопасного удаления;
- вход и выход должны быть оснащены самовосстанавливающимися связями;
- замена не должна требовать разборки каких-либо установок, трубопроводов или других связей, которые могут способствовать возникновению вероятных утечек;
- замена фильтра проводится при каждой операции по очистке.

### С.2 Методы регенерации

Качество очистки элегаза должно удовлетворять следующим требованиям.

Все имеющиеся загрязнения образуются в нормальных режимах работы и могут быть удалены на местах. В таблице С.1 приведены типы загрязнений и методы, рекомендуемые для удаления примесей.

Таблица С.1 — Рекомендуемые действия по очистке

| Загрязнения | Влажность (водяные пары) | Газообразные продукты разложения | Твердые продукты разложения | Смесь элегаза с другими газами (воздухом или $CF_4$) | Загрязнения минеральными маслами |
|---|---|---|---|---|---|
| Метод восстановления | Абсорбция через молекулярное сито (ультрафильтр) | Абсорбция с помощью активированного оксида алюминия | Сепарация с применением фильтров для отделения механических примесей | Устройство для сепарации элегаза | Фильтр из активированного угля |

Различные типы адсорбентов, пригодные для удаления загрязнений и элегаза, приведены в таблице С.2.

Таблица С.2 — Типичные адсорбенты для различных примесей элегаза

| Адсорбенты | Удаляемые загрязнения |
|---|---|
| Молекулярное сито 4А | Вода, $SO_2$, $SOF_2$, $SF_4$ |
| Молекулярное сито 13Х | Вода $SO_2$, $SOF_2$, $SF_4$ (адсорбируется также некоторое количество $SF_6$) |
| Активированный оксид алюминия | Вода, $SO_2$, $SOF_2$, $SF_4$, HF |
| Натриевая известь (CaO-NaOH) | Вода, $SO_2F_2$, HF |
| Активированный уголь | Пары масел |

С помощью соответствующего управления обслуживаемыми устройствами газ очищается и поверяется. Если регенерированное вещество удовлетворяет требованиям к безоговорочному повторному использованию, в электроустановках требуется наличие средств непосредственного удаления, заправки и дозаправки для обеспечения нормального функционирования электрооборудования.

Если поверка газа указывает на наличие неприемлемого уровня продуктов разложения по сравнению с требованиями настоящего стандарта, решение, касающееся метода, который должен быть применен, зависит от уров-

ня и типа загрязнений. В целом повторная очистка газа на месте с помощью средств эксплуатации и устройств сепарации должна быть осуществлена наиболее выгодным способом. Однако если повторное использование газа не представляется возможным, необходимо его уничтожение. В этом случае газ должен быть отправлен производителю элегаза или на утилизацию.

### С.3 Транспортирование использованного элегаза по дорогам общего пользования в газовых баллонах и резервуарах

Типовые правила по перевозке использованного элегаза по дорогам общего пользования и его маркировки приведены в таблице С.3. При этом должны также учитываться и местные правила.

Настоящий стандарт не определяет минимальные концентрацию и количество опасных продуктов разложения. При этом должны применяться местные правила и руководства, если они имеются в наличии.

Дополнительная практическая информация может быть взята из норм по регенерации элегаза, разработанных [1].

#### С.3.1 Элегаз, не содержащий токсичных или агрессивных примесей, удовлетворяющий или не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта

Данный газ может быть заполнен в том же типе баллона, как и не бывший в употреблении. Благодаря содержанию инертных газов ($N_2$, $O_2$ и т. д.) коэффициент заполнения должен быть меньше, чем для нового газа. Указанные баллоны должны быть специально окрашены, чтобы их нельзя было спутать с баллонами, содержащими новый элегаз (например, с помощью оранжевого пояса на верхней трети баллона).

Должна быть указана следующая информация:

- трафаретная надпись на баллоне (обязательно): 3163 (содержит минимум два химиката, например, гексафторид серы, тетрафторидуглерода или воздух или азот);
- маркировка баллона: зеленый знак опасности (№ 2);
- транспортные документы (обязательно): 3163 сжиженный газ, n.o.s. (н.у.к.) (например, гексафторид серы, тетрафторидуглерода — обязательно), 2,2 A ADR.

*Примечание — n.o.s. (н.у.к.) — вещества и изделия, не указанные конкретно в перечне опасных грузов, относятся к «обобщенной» позиции или к позиции «не указано конкретно» согласно [10].*

*ADR означает «Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов» (ДОПОГ) (см. [10]).*

#### С.3.2 Элегаз, содержащий токсичные, но неагрессивные примеси, не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта

Данный газ должен храниться в баллонах другого вида по сравнению с новым элегазом.

Должна быть указана следующая информация:

- трафаретная надпись на баллоне (обязательно): 3162 (содержит минимум два химиката, например, гексафторид серы, фтористый водород или все токсичные примеси).

Примечание — Отсутствуют ограничения по минимальному числу опасных компонентов:

- маркировка баллона: знак опасности 6.1;
- транспортные документы (обязательно): 3162 сжиженный газ, токсичный, n.o.s. (содержит минимум два химиката, например, гексафторид серы, фтористый водород или все токсичные примеси), 2,2 T ADR.

#### С.3.3 Элегаз, содержащий токсичные и агрессивные примеси, не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта

Данный газ должен храниться в баллонах другого типа по сравнению с теми, которые используются для нового элегаза. Баллоны должны быть коррозионно-устойчивыми, иметь коррозионно-устойчивый вентиль и боковые соединительные устройства, отличающиеся от тех, которые используются в баллонах для нового элегаза (например, боковой адаптер nº 8 — по *[11, [12]*).

Должна быть указана следующая информация:

- трафаретная надпись на баллоне (обязательно): 3308 (содержит минимум два химиката, например, гексафторид серы, фтористый водород или все токсичные и агрессивные примеси);
- маркировка баллона: знак опасности 6.178;
- транспортные документы (обязательно): 3308 сжиженный газ, токсичный, агрессивный, n.o.s. (содержит минимум два химикита, например, гексафторид серы, фтористый водород или примеси — токсичные и агрессивные), 2,2 TC ADR.

Таблица С.3 — Сводные правила по перевозке элегаза

| Категория | Элегаз, не содержащий токсичные или агрессивные примеси, удовлетворяющий или не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта | Элегаз, содержащий токсичные, но неагрессивные примеси, не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта | Элегаз, содержащий токсичные и агрессивные примеси, не удовлетворяющий требованиям настоящего стандарта |
|---|---|---|---|
| UN номер | 3163 сжиженный газ | 3162 сжиженный токсичный газ | 3308 сжиженный токсичный и агрессивный газ |
| Класс | 2А | 2Т | 2ТС |
| Знак опасности | 2 | 6,1 | 6,1 + 8 |
| Итоговая классификация | UN 3163 сжиженный газ, n.o.s. (н.у.к.), $2,2^{e}$А | UN 3162 сжиженный газ, n.o.s. (н.у.к.), $2,2^{e}$ Т | UN 33083 сжиженный газ, n.o.s. (н.у.к.), $2,2^{e}$ ТС |

## Библиография


[1] CIGRE Task Force B3.02.01, $SF_6$ recycling guide (Revision 2003), CIGRE Brochure 234, August 2003, Paris

[2] CIGRE 23.02, Handling of $SF_6$ and its decomposition products in GIS, Electra № 136 (1991)

[3] CAPIEL-UNIPEDE, Does $SF_6$ contribute to the greenhouse effect? 2nd European Conference on Industrial Electrical Equipment and Environment (MEIE), Jan. 2000, Paris

[4] Catalogue of guidelines and standards for the handling and management of sulfur hexafluoride ($SF_6$), U.S. Environmental Protection Agency, January 2002, Washington D.C.

*[5] IEC 60376:1971 Элегаз. Гексафторид серы ($SF_6$) технического качества для использования в электрическом оборудовании. Технические условия*

*[6] IEC 60376A:1973 Элегаз. Гексафторид серы ($SF_6$) технического качества для использования в электрическом оборудовании. Технические условия. 1-е дополнение. Глава 13. Содержание минерального масла*

*[7] IEC 60376B:1974 Элегаз. Гексафторид серы ($SF_6$) технического качества для использования в электрическом оборудовании. Технические условия. 2-е дополнение. Пункт 26*

*[8] IEC 60694:1996 Аппаратура коммутационная и устройства управления высокого напряжения. Общие технические требования, включаемые в стандарты*

*[9] IEC 61634:1995 Аппаратура коммутационная и механизмы управления низковольтные. Применение гексафторида серы ($SF_6$) и обращение с ним*

*[10] European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road (ADR), United Nations, New York and Geneva, 2010*

*[11] DIN 477-1—2012 Клапаны газовых баллонов для испытательных давлений баллонов до 300 бар. Часть 1. Впускные и выпускные соединения клапанов*

*[12] DIN 477-5—2002 Вентили газовых баллонов на максимальное испытательное давление до 450 бар. Соединения на выходе*

УДК 621.315.618.9+661.233+621.6.05:006.354 ОКС 29.040.20
29.130

Ключевые слова: элегаз, электрооборудование, примеси, очистка, хранение, транспортирование, регенерация, экология, меры предосторожности

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *А.В. Бестужевой*

Сдано в набор 16.12.2013. Подписано в печать 25.02.2014. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,45. Тираж 93 экз. Зак. 290.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru