

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

ЭЛЕГАЗОВОЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА В ОБОРУДОВАНИИ

и

МЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ и ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

РД – 16.066 – 05

2004

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

ЭЛЕГАЗОВОЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА В ОБОРУДОВАНИИ И МЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вводится взамен РД 16-066-83

Срок действия установлен с 01.01.2005
до 31.12.2015

Настоящий руководящий документ (РД) распространяется на элегазовое электротехническое оборудование всех классов напряжения от 1000 вольт и выше и устанавливает технические требования к производству элегазового оборудования, обеспечивающие поддержание необходимого качества элегаза в течение всего установленного срока эксплуатации оборудования, методы контроля качества элегаза, меры по обеспечению санитарно-гигиенической безопасности работающего персонала и населения и мероприятия по обеспечению экологической безопасности.

Сфера действия РД – предприятия, разрабатывающие, изготавливающие и использующие элегазовое электротехническое оборудование.

В настоящем РД полностью учтены требования стандартов МЭК (60376 и 60480, 61634 и 61125).

Принятые в настоящем РД обозначения основных величин приведены в справочном приложении 1.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕГАЗОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРАТИВОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА В АППАРАТАХ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

1.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1.1. Для обеспечения норматива влажности в течение всего назначенного срока службы N_H количество уплотнений в герметизированном объеме (отсеке) оборудования и свойства материала уплотнений должны быть согласованы с объемом отсека

$$P_{H_2O} \Sigma(s/x) < 10^{-1} V / N_H$$

Для обеспечения норматива прироста содержания кислорода (главным образом, для выключателя) выбранное уплотнение должно удовлетворять условию

$$P_{O_2} \Sigma(s/x) < 10^{-6} V \rho_{SF_6}$$

Выполнения этих условий следует добиваться, применяя улучшенные сорта резины, уменьшая общее число разъемов и их диаметры, изменяя форму профиля уплотнения и канавки под нее, а также применяя герметики или увеличивая количество прокладок на одном разьеме.

Данные по коэффициентам газопроницаемости резин приведены в справочном приложении 2.

1.1.2. Выключатели должны быть оснащены поглотителями с синтетическим цеолитом NaX (ТУ 38-10281—80) в гранулах 4 – 5 мм в качестве адсорбента. Поглотители выключателя следует размещать в зоне отсутствия электрических полей для исключения попадания цеолитной пыли в электрическое поле. Крепление поглотителя должно позволять осуществить в короткий срок проведение его монтажа и демонтажа без вскрытия основных фланцев выключателя. Контейнер поглотителя должен изготавливаться из сетки или перфорированного металлического листа для обеспечения свободного доступа газа. Для ограничения попадания цеолитной пыли в объем аппарата поглотитель должен снабжаться пылезащитной оболочкой из тонкой хлопчатобумажной ткани. Конструкция контейнера должна обеспечить возможность быстрого помещения в него активированного цеолита. Толщина слоя адсорбента в поглотителе не должна превышать 4 – 5 см.

1.1.3. Масса цеолита q , г, в выключателе, достаточная для поглощения продуктов разложения элегаза и поддержания норматива влажности в течение всего срока службы, определяется по формуле

$$q = 3,4I_{кз}n_1n_2 + 60V + 8\Sigma(g_k \cdot a_k)$$

1.1.4. Элегазовое оборудование наружной установки (кроме выключателя) оснащается патроном для предотвращения конденсации влаги. Масса адсорбента в патроне для предотвращения конденсации определяется из расчета размещения 14 г прокаленного цеолита на каждый кубический метр объема аппарата. Размещение патронов следует производить в наиболее удаленной от теплотоков зоне, наилучшим образом воспринимающей температуру окружающей среды и так, чтобы пыль от цеолита не попадала в общий объем. При наружной установке патрона длина соединительного патрубка должна быть минимальной, а диаметр должен быть не менее 1/5 длины.

1.1.5. Для исключения пылеобразования штуцер для заполнения бака выключателя элегазом не должен располагаться напротив поглотителя, чтобы струя элегаза не омывала последний.

1.1.6. Штуцер, предназначенный для заполнения элегаза или вакуумирования объема аппарата, должен быть снабжен устройством, легко превращающим его в пробоотборный штуцер.

1.1.7. Конструкция элегазового аппарата должна обеспечивать возможность его сборки из подготовленных сборочных единиц за одну рабочую смену. Если процесс сборки оборудования требует по времени более одной рабочей смены, то для сборочных единиц, содержащих изоляционные материалы, должны быть спроектированы технологические заглушки для их герметизации и вакуумирования на этот период.

1.1.8. Часть элегазового оборудования, представляющая отдельное грузовое место, должна быть снабжена герметичными транспортными крышками для предотвращения загрязнения разъема и увлажнения изоляционного материала.

1.1.9. Каждый изолированный объем (аппарата или его части) должен оснащаться датчиком плотности в виде датчика давления и датчика температуры для включения в общую или индивидуальную систему контроля плотности и годовой утечки и формирования сигналов предупреждения и блокировки или плотномером для аппаратов одноразового заполнения элегазом.

1.1.10. Для минимизации утечки элегаза во всем диапазоне рабочей температуры необходимо обеспечить следующие требования к узлу уплотнения.

Основные конструктивные особенности проектирования канавок под полимерные уплотнительные кольца круглого сечения определены ГОСТ 9833—73. Тем не менее для достижения значений утечки на уровне,

эквивалентном 0,1—0,001 %/год, при конструировании канавки достаточно использовать два правила вне зависимости от формы канавки:

- 1) сечение канавки после соединения деталей должно составлять 0,95—1 сечения резинового кольца,
- 2) линейная деформация резинового кольца по диаметру сечения должна быть около 25 %.

При этом может быть использована простая форма канавки прямоугольного сечения. Во всем диапазоне давления в элегазовых аппаратах, чем выше давление, тем меньше утечка.

Требования к полимерной основе уплотнительного элемента следующие:

- 1) срок жизни до начала старения — не менее 30 лет,
- 2) влагопроницаемость — не более $2 \cdot 10^{-5}$ см³·см/(с·МПа·см²),
- 3) газопроницаемость по кислороду — не более $8 \cdot 10^{-8}$ см³·см/(с·МПа·см²),
- 4) масло- и бензостойкость,
- 5) морозостойкость до –60 °С,
- 6) допустимая деформация при сжатии — не менее 40 %,
- 7) допустимая деформация при растяжении — не менее 10 %,
- 8) светостойкость,
- 9) кислородостойкость (воздухостойкость),
- 10) отсутствие отделения пластификатора при любых деформациях.

Наконец, самое главное для нормальной работы уплотнения — обеспечение чистых поверхностей:

- 1) обеспечение минимальной шероховатости поверхности канавки, шероховатости полимерного кольца, отсутствие механических повреждений и микротрещин,
- 2) отсутствие грязи, пыли, волокон на поверхности деталей собираемого узла.

Эти правила позволяют получать скользящие и фланцевые уплотнения с эквивалентной утечкой до 0,001 %/год.

1.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

1.2.1. Относительная влажность воздуха в сборочном цехе должна быть понижена. Производство относительной влажности воздуха в цеховом помещении, %, на суммарное время контакта изоляционного изделия с воздухом цехового помещения, в часах, не должно превышать 300 %·ч.

1.2.2. Изоляционные детали или части оборудования с изоляционными деталями, а также изоляционные материалы, предназначенные для их изготовления, должны храниться в специальных хранилищах при относительной влажности не более 40 % или в индивидуальных герметичных полиэтиленовых мешках, исключаящих их увлажнение атмосферным воздухом. Допускается не помещать изоляционное изделие в специальное хранилище или полиэтиленовый мешок, если оно сразу передается на последующую операцию при условии, что суммарное время контакта

изоляционного изделия с воздухом заводских помещений от момента изготовления (выемки из термошкафа) до момента вакуумирования элегазового оборудования находится в пределе, обусловленном предыдущим пунктом. Допускается хранение изолятора в хранилище не более 6 месяцев, в полиэтиленовом мешке (при толщине полиэтилена 0,15—0,23 мм) — не более 1 месяца. Внутри мешка перед герметизацией необходимо создать небольшое разрежение, чтобы состояние мешка сигнализировало о его герметичности. В полиэтиленовый мешок может быть помещен пакет с сухим индикаторным силикагелем.

Изоляторы из фторопласта и из стеклопластика со сплошным фторопластовым покрытием, нанесенным в процессе изготовления стеклопластика, специальной сушке до сборки элегазового оборудования не подвергаются.

Хранение изоляционных материалов, предназначенных для изготовления изоляционных изделий, в специальном хранилище с относительной влажностью 40 % сроком не ограничивается.

1.2.3. Технологический цикл сборки элегазового оборудования или транспортных единиц должен обязательно заканчиваться мерами по ограничению контакта изоляционных изделий с влагой:

для собранных аппаратов — откачкой атмосферного воздуха;

для собранных транспортных единиц — установкой транспортных крышек и вакуумированием всех объемов;

для изделий, сборка которых не закончена — установкой технологических крышек и вакуумированием объемов, в которых имеются изоляционные изделия.

Сразу после вакуумирования аппарат может быть заполнен сухим азотом.

1.2.4. Прокаливание цеолита NaX по ТУ 38-10281—80 в гранулах 4—5 мм осуществляется при температуре 370 ± 10 °С в течение не менее 3,5 ч на противне в слое толщиной не более 3 см. В горячем состоянии цеолит пересыпают в контейнер поглотителя, адсорбционный патрон и прочее для использования в оборудовании или в заранее заготовленную сухую и герметичную тару, после чего ее парафинируют. В герметизированном состоянии адсорбент хранится не более 15 суток, после чего активация должна быть повторена.

1.2.5. Контакт активированного цеолита с атмосферным воздухом (от момента вскрытия тары или момента заполнения контейнера горячим цеолитом после прокаливания до начала вакуумирования аппарата) при установке адсорбционных патронов или поглотителя в выключатель должен быть ограничен: произведение квадрата относительной влажности воздуха, взятого в процентах, в цеховом помещении на время контакта активированного цеолита с воздухом цехового помещения, взятого в минутах, не должно превышать 24 000.

1.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАЦИИ НА ЭЛЕГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИЛИ СБОРКУ, ИМЕЮЩОЮ ЕДИНЬЙ ГАЗОВЬЙ ОБЪЕМ

В документации должны быть указаны:

номинальная плотность элегаза ρ_{SF_6} , кг/м³,

объем газового пространства V , м³,

масса адсорбента в адсорбционном патроне для аппарата наружной установки и в поглотителе выключателя q , г,

масса изоляционных материалов (по типам) g_{ki} , кг,

допустимая потеря массы сопла Q_c , г,

допустимая потеря массы контактов Q_k , г.

После выполнения анализов перед пуском в эксплуатацию в техническую документацию вносится:

содержание шестифтористой серы, %-масс.;

содержание кислорода, %-масс.;

содержание четырехфтористого углерода, %-масс.

1.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБСЛУЖИВАНИЮ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЭКСПЛУАТАЦИИ

1.4.1. С целью обеспечения минимального загрязнения элегаза компонентами воздуха и максимального удаления адсорбированной на поверхности деталей аппарата влаги заполнение оборудования элегазом производится посредством одной из процедур:

а) после вакуумирования до остаточного давления меньше 0,1 гПа,

б) после вакуумирования до остаточного давления меньше 5—10 гПа с заполнением сухим азотом до 0,1 МПа (абс) и повторным вакуумированием до остаточного давления меньше 5 гПа.

Вторая процедура предпочтительнее, поскольку значительно сокращает время вакуумирования, не требует прецизионных средств измерения вакуума и обеспечивает надежный результат.

В вакуумированном состоянии проверяется газоплотность аппарата на натекание. При этом за промежуток времени не менее 15 минут не должно происходить изменений показания вакуумметра.

В заполненном азотом состоянии проверяется отсутствие грубой утечки по отсутствию изменения давления за промежуток времени не менее 15 минут. В этом же состоянии можно определить объем аппарата (приложение 3), если он раньше не был установлен.

1.4.2. Заполнение оборудования элегазом и азотом необходимо произвести через противопылевой фильтр. Максимальный размер частиц, допустимый в элегазовом оборудовании, находится в пределах 20—30 мкм.

1.4.3. Перед заполнением оборудования необходимо предварительно осуществить вакуумирование или продувку всей соединительной линии.

1.4.4. Наполнение аппаратов должно производиться элегазом, соответствующим ТУ-6-02-1249-83. Заполнение выключателя производят из жидкой фазы стандартного баллона (вентилем вниз) из расчета извлечения до 34 кг из сорокалитрового баллона. Заполнение элегазового оборудования (кроме выключателя) производят из газовой фазы стандартного баллона (вентилем вверх). При этом может быть использован элегаз, оставшийся в баллонах от заполнения выключателя.

1.4.5. Допускается заполнение оборудования элегазом другими способами (с помощью специализированной установки обслуживания (УО), с помощью вакуумно-компрессорной установки (ВКУ), из емкости, содержащей элегаз и т.п.), если качество элегаза в них позволяет обеспечивать нормативы качества элегаза в оборудовании.

1.4.6. При заполнении аппаратов с помощью УО или ВКУ после присоединения и продувки соединительной линии наполнение производится согласно инструкции на эти установки.

1.4.7. Заполнение оборудования элегазом производится до давления заполнения, которое обеспечивает превышение номинальной плотности для покрытия расхода элегаза на выполнение анализов и для компенсации утечки. Номинальная плотность определяется давлением элегаза при температуре заполнения в соответствии с таблицей, приведенной в приложении 4. Там же дан пример обращения с таблицей.

1.4.8. Дозаполнение элегазового оборудования элегазом, в случае, если оно по условиям поставки доставлено на монтажную площадку с пониженной плотностью элегаза, осуществляется также как заполнение элегазом, в соответствии с требованиями данного подраздела.

1.5. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Элегазовое оборудование, установленное в промышленную эксплуатацию, изготовленное и подготовленное в соответствии с данными техническими требованиями, в течение всего срока эксплуатации не требует никакого обслуживания в части обеспечения качества элегаза.

2. ПРАВИЛА УСТАНОВКИ ПАТРОНОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ В АППАРАТАХ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ И ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ

2.1. Установка поглотителей и патронов для предотвращения конденсации влаги должна производиться после сборки и проверки всех функциональных систем и уплотнений аппаратов, непосредственно перед его окончательным вакуумированием и заполнением элегазом.

2.2. Установка поглотителей и патронов должна производиться в кратчайший срок с тем, чтобы уменьшить дезактивацию адсорбента за счет поглощения влаги из воздуха.

2.3. Элегазовое оборудование должно быть подготовлено к вакуумированию, которое осуществляется сразу же после установки поглотителей или патронов для предотвращения конденсации в соответствии с п. 1.4.1.

2.4. Операции по заполнению адсорбентом патронов предотвращения конденсации влаги и поглотителей и установке их в оборудование следует производить в соответствии с п. 1.2.5.

2.5. Максимально допустимое расчетное время пребывания адсорбента на воздухе (от вскрытия герметичных емкостей для хранения или выемки прокаленного адсорбента из печи до начала вакуумирования аппарата) τ (мин) определяется из условия, изложенного в п. 1.2.5 :

$$\tau = 24000/B^2$$

где B – относительная влажность атмосферного воздуха в помещении, %.

2.6. Тип и масса адсорбента, помещенного в элегазовое оборудование, указывается в сопроводительной технической документации.

2.7. При выполнении любого вида работ, связанных с разгерметизацией элегазового оборудования и попаданием в него атмосферного воздуха, адсорбент поглотителей или адсорбционных патронов должен быть активирован или заменен новым предварительно активированным. Активация адсорбента поглотителя выключателя может выполняться только в том случае, если выключатель не выполнял акты коммутации. В противном случае адсорбент выключателя подлежит ликвидации (заливкой водой или содовым раствором и сбросом в отвал).

3. НОРМАТИВЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА В ОБОРУДОВАНИИ И ПЛАН МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА

3.1. Нормативы качества элегаза в электрооборудовании приведены в таблице 1.

Таблица 1. Нормативы качества элегаза в высоковольтном оборудовании

Норматив*	Тип аппарата	
	Выключатель**	Прочие
Температура конденсации влаги	Ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре окружающей среды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ для аппаратов внутренней установки ¹⁾ при температуре окружающей среды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Не менее чем на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже среднесуточной температуры для аппаратов наружной установки ²⁾ во всем диапазоне рабочей температуры***	
Содержание шестифтористой серы	Не ниже 99,4 %-масс. при заполнении чистым элегазом	
	Не ниже 97,3 %-масс. для 90%-ной смеси SF ₆ с N ₂ (по объему)	
	93,4	75
	83,4	50
	68,6	30
	56,0	20
	Не ниже 93,1%-масс. для 90%-ной смеси SF ₆ с CF ₄ (по объему)	
	86,3	80
78,8	70	
70,7	60	
61,7	50	
Содержание кислорода	Не более 0,015 % -масс. при заполнении	
	Увеличение не более 1 ppm-масс./год****	
Кислотность, выраженная через HF*****	Меньше 10 ppm-масс. через 48 часов после коммутации	

* Требования нормативов должны выполняться в течение всего срока службы.

** Под этим термином понимается коммутационный аппарат.

*** Это требование может стать актуальным при повышенной температуре и для выключателя.

**** Не определяется; обеспечивается расчетом геометрических характеристик уплотнения.

***** Определяется на стадии опытного образца.

¹⁾ Соответствует категории размещения 4 по ГОСТ 15150-69.

²⁾ Соответствует категории размещения 1, 2 и 3 по ГОСТ 15150-69.

3.2. Нормативы содержания шестифтористой серы и содержание кислорода устанавливаются одновременно в результате газохроматографического анализа (раздел 5). Норматив температуры конденсации влаги устанавливается по измерению точки росы (раздел 6) в соответствии с разделом 8.

3.3. План мероприятий по определению качества элегаза в оборудовании представлен в таблице 2.

Таблица 2. План мероприятий по определению качества элегаза в оборудовании

Вид работ	Измеряемый параметр			
	содержание шестифтористой серы	содержание кислорода	температура конденсации	Кислотность
Испытания опытного образца:				
коммутационные	+ ¹⁾	+ ¹⁾	-	+ ²⁾
изоляционные	+ ¹⁾	-	-	-
Подготовка промышленного оборудования на месте эксплуатации:				
выключатель	+ ³⁾	+ ³⁾	+ ⁴⁾	-
прочее оборудование	+ ³⁾	-	+ ⁴⁾	-
Опытно-промышленная эксплуатация:				
выключатель	-	-	+ ^{4,5)}	-
прочее оборудование	-	-	+ ^{4,5)}	-
Промышленная эксплуатация	определение качества элегаза не требуется			

"+" - подлежит измерению, "-" - не подлежит измерению.

¹⁾ – до испытаний, ²⁾ – через 48 часов после коммутации, ³⁾ – через сутки после заполнения элегазом, ⁴⁾ – не менее, чем через неделю после заполнения, ⁵⁾ – один раз в год.

4. ПРАВИЛА ОТБОРА ПРОБ ЭЛЕГАЗА НА АНАЛИЗ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1.1. Определение качества элегаза в объектах, его содержащих, следует выполнять, по возможности минуя пробоотборное устройство. Анализ кислотности и влажности всегда следует выполнять, непосредственно подсоединившись переносными приборами к источнику элегаза. При невозможности выполнения хроматографического анализа непосредственно у объекта, отбирается проба элегаза.

4.1.2. Пробоотборник для хроматографического анализа элегаза представляет собой металлический баллон с гладкими и чистыми внутренними поверхностями объемом в диапазоне от 0,3 до 1 литра, прочность которого рассчитана на соответствующий запас по отношению к рабочему давлению в аппарате или источнике элегаза.

4.1.3. При хранении пробоотборник должен постоянно быть заполненным элегазом. Заранее или непосредственно перед отбором пробы пробоотборник вакуумируется до остаточного давления менее 13,3 Па (0,1мм.рт.ст.).

4.1.4. Отбор пробы имеет цель получения образца элегаза, наиболее близкого по составу элегазу в оборудовании.

4.1.5. При загрязнении пробоотборника продуктами разложения элегаза он должен быть отмыт чистым элегазом и отвакуумирован до полного исчезновения специфического запаха.

4.2. ОТБОР ПРОБЫ ЭЛЕГАЗА

4.2.1. Пробоотборник соединяется с источником элегаза короткой газовой линией из нержавеющей стали. (Аналогичная линия используется при выполнении анализа непосредственно около оборудования.)

4.2.2. После затяжки резьбовых соединений при закрытом вентиле пробоотборника приоткрывают и быстро закрывают вентиль источника элегаза с целью заполнения соединительной линии. Далее слегка освобождают одно из резьбовых соединений (желательно, у пробоотборника) и сбрасывают избыточное давление, сразу после этого затягивая ослабленную резьбу. Так повторяют несколько раз, добиваясь надежной продувки соединительной линии. После этого заполняют пробоотборник элегазом.

При отборе пробы из жидкой фазы элегаза необходимо следить за тем, чтобы жидкая шестифтористая сера не оказалась запертой между двумя закрытыми вентилями. Для предотвращения этого не оставляйте пробоотборник на линии, а сразу после закрытия вентиля отсоедините его.

4.2.3. Пробоотборник транспортируется с плотно закрытой заглушкой.

4.3. МАРКИРОВКА

4.3.1. Пробоотборник с образцом элегаза направляют на анализ, снабдив сопроводительным документом.

- 4.3.2. В направлении должно быть указано:
- цель отбора пробы,
 - образец (элегаз),
 - наименование и номер объекта, из которого взята проба,
 - причина, вызвавшая необходимость отбора пробы,
 - дата отбора пробы,
 - избыточное давление в пробоотборнике (ориентировочно, по значению давления в оборудовании).

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ШЕСТИФТОРИСТОЙ СЕРЫ И КИСЛОРОДА

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

5.1.1. Определение содержания шестифтористой серы и кислорода выполняется хроматографически в газоадсорбционном варианте на наполненной колонке. Одновременно определяются примеси азота и четырехфтористого углерода.

5.1.2. Минимальный расход элегаза на анализ – 0,3 литра.

5.1.3. Хроматограф для данного анализа должен быть оснащен детектором по теплопроводности и газом-носителем – гелием.

5.1.4. Оператор должен быть ознакомлен с методикой выполнения анализа и инструкцией по эксплуатации хроматографа.

5.2. МЕТОДИКА АНАЛИЗА

5.2.1. Методика определения содержания шестифтористой серы и кислорода в элегазе электротехнического оборудования полностью идентична методике определения кислорода, азота и четырехфтористого углерода в товарном элегазе.

5.2.2. Нормативные требования к данному анализу могут быть выражены четырьмя параметрами (приложение 5):

- степень разделения пиков (R) кислорода и азота не должна быть меньше 1,
- эффективность хроматографической колонки (N) по CF_4 не менее 1100 тт,
- минимально определяемая концентрация по кислороду не ниже 0,003 %-масс.,
- повторяемость анализа (r) не хуже 3 %.

Выбор прочих параметров анализа может оставаться за разработчиком.

Далее приводятся два варианта данного анализа: в изотермическом режиме и в режиме программирования температуры.

5.2.3. Условия анализа в изотермическом режиме:

колонка: н/с 200×0,3 см,

адсорбент: молекулярное сито NaX 0,25-0,4 мм,

тренировка: 350 °С не менее 3-х часов с рабочим потоком гелия

температура колонки: 125 °С,

газ-носитель: гелий, 33 мл/мин,

детектор: ДТП, 125 °С,

объем пробы: 0,1 мл, петля дозатора.

5.2.4. Условия анализа в режиме программирования температуры:

колонка: н/с 200×0,24 см,

адсорбент: молекулярное сито NaX 60-80 меш,

тренировка: 350 °С не менее 3-х часов с рабочим потоком гелия,
температура колонки: 100 °С, 20 °/мин, 2 мин, 30 °/мин, 200 °С,
газ-носитель: гелий, 30 мл/мин,
детектор: ДТП, 125 °С,
объем пробы: 0,1 мл, петля дозатора.

5.2.5. Времена удерживания компонентов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Времена удерживания (мин) компонентов в хроматограмме анализа элегаза

Режим	Компоненты			
	O ₂	N ₂	CF ₄	SF ₆
Изотермический	0,58	0,70	1,45	7,55
Программирование температуры	0,76	0,92	1,75	4,53

5.2.6. Расчет хроматограмм выполняется методом нормировки по площадям пиков.

5.2.7. Калибровка хроматографа выполняется по искусственно составленным смесям.

5.2.8. При нарушении нормативного требования по разделению пиков кислорода и азота осуществляется повторная тренировка колонки.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЭЛЕГАЗА

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Определение влажности элегаза осуществляется посредством измерения точки росы. Прибор, изготовленный в соответствии с публикацией МЭК 60376, или любой другой прибор измерения точки росы пригоден для этих целей. Другие инструментальные методы, обеспечивающие измерение абсолютной или относительной влажности на основе тонкопленочных датчиков, могут быть использованы для измерения влажности элегаза после сверки с результатами, получаемыми на приборе по точке росы.

Так как пробоотбор не может обеспечить надежного результата измерения, определение влажности элегаза необходимо выполнять непосредственно у элегазового оборудования посредством подсоединения измерительного прибора к элегазовому аппарату с помощью чистого трубопровода из нержавеющей стали.

Минимальный расход элегаза на определение влажности по точке росы ориентировочно составляет 15 литров.

6.2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИБОРА, рекомендованного МЭК.

Медный блок вместе с впаянными в него трубками (для термометра и хладагента) образуют охлаждаемую часть прибора. Круглый зеркально отполированный выступ охлаждаемой части клеивается или спаивается в тонкую никелевую мембрану для предотвращения потери холода на внешние детали прибора. Анализируемый элегаз направляется в прибор, омывает зеркально отполированный выступ, который контролируемо охлаждается хладагентом. Точка росы определяется как температура, при которой начинается конденсация, и рассчитывается как среднее между значением температуры, достигнутым в результате переохлаждения после прекращения добавления хладагента при первых признаках конденсата на зеркале, и значением температуры после полного исчезновения влаги при согревании. Точность определения лежит в пределах 1 °С.

В комплект прибора должны входить:

термометр спиртовой по ГОСТ 112-78 для измерения отрицательной температуры (нижний предел от –60 до –100 °С),

ротаметр РС-3А по ГОСТ 13045-81 для измерения скорости потока в интервале от 0,5 до 2,5 л/мин,

лупа с увеличением от 2 до 10 по ГОСТ 25706-83,

трубка из нержавеющей стали диаметром 3,5-4мм длиной 1,5-2м с концевиками для герметичного подсоединения к источнику элегаза и к прибору измерения влажности,

трубка из нержавеющей стали диаметром 3,5-4мм длиной 0,5м с концевиками для соединения прибора измерения влажности и ротаметра.

В качестве хладагента используется сухой лед или жидкий азот.

6.3. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

6.3.1. Собрать газовую линию, соединив прибор с источником элегаза и ротаметром соответствующими трубопроводами.

6.3.2. Установить поток элегаза, равный 0,5 л/мин.

6.3.3. Установить термометр.

6.3.4. Залить в прибор 20 мл ацетона.

6.3.5. Для удобства наблюдения процессами, происходящими на зеркальном полированном пятачке прибора, устанавливается осветительный прибор на расстоянии не менее 0,5 метра.

6.4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ

6.4.1. В резервуар с ацетоном опускают кусочки твердой двуокиси углерода размером не более 5 мм и наблюдают за показаниями термометра и состоянием зеркальной поверхности.

6.4.2. Фиксируют температуру первого появления росы (t_1) и добавление двуокиси углерода прекращают.

6.4.3. Фиксируют самую низкую температуру (t_2) зеркала прибора, до которой произойдет ее снижение после прекращения добавления двуокиси углерода. Это значение не должно отличаться от t_1 более чем на 2 °С.

6.4.4. Фиксируют температуру (t_3), при которой конденсат полностью исчезнет. Это значение на 6-8 °С выше t_2 .

6.4.5. Действительная точка росы рассчитывается как среднее между t_2 и t_3 . Можно считать полученное значение верным, если t_1 немного ниже этого значения, а первое заметное уменьшение конденсата происходит при температуре несколько выше этого значения.

6.4.6. Повторное измерение не должно отличаться больше чем на 1 °С. Причиной плохой повторяемости является либо негерметичность прибора или коммуникаций, либо недостаточная их чистота.

6.4.7. Для низкой влажности используется больший поток элегаза.

6.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОСТИ ЭЛЕГАЗА В ОБОРУДОВАНИИ

Полученное в результате анализа значение точки росы следует перенести на состояние элегаза в оборудовании с целью определения температуры конденсации влаги. Расчет абсолютной влажности и температуры конденсации влаги в элегазе, находящемся в оборудовании под давлением, определяется по гигрометрической таблице (таблица 4) из условия, что конденсируемой примесью является водяной пар.

Расчет температуры конденсации влаги в элегазе оборудования производится следующим образом. По точке росы находят значение давления насыщенного пара (или абсолютной влажности). Это значение умножают на абсолютное давление в атмосферах, тем самым получают давление насыщенного

пара (или абсолютную влажность) элегаза в реальных условиях оборудования. Температура конденсации соответствует табличному значению температуры для полученного значения давления насыщенного пара (или абсолютной влажности).

Таблица 4. Гигрометрические данные для незагрязненного водяного пара

Температура, °С	Давление насыщенно- го пара во- ды, гПа	Концентрация воды		
		абсолютная влажность, г/м ³	миллионные доли	
			ppm-об.	ppm-масс. в элегазе
35	56,18	41,57	55490	6842
34	53,14	39,32	52487	6472
33	50,25	37,19	49633	6120
32	47,50	35,15	46917	5785
31	44,88	33,21	44329	5466
30	42,38	31,36	41860	5161
29	40,01	29,61	39519	4873
28	37,75	27,94	37286	4598
27	35,61	26,35	35173	4337
26	33,57	24,84	33158	4088
25	31,64	23,41	31251	3853
24	29,80	22,05	29434	3629
23	28,06	20,76	27715	3417
22	26,40	19,54	26076	3215
21	24,33	18,37	24525	3024
20	23,26	17,30	23062	2849
19	21,95	16,26	21672	2672
18	20,62	15,26	20356	2509
17	19,36	14,33	19110	2356
16	18,17	13,45	17933	2211
15	17,04	12,61	16818	2073
14	15,97	11,82	15766	1943
13	14,96	11,08	14771	1821
12	14,01	10,37	13832	1705
11	13,11	9,71	13012	1604
10	12,27	9,09	12110	1493
9	11,47	8,49	11324	1396
8	10,72	7,93	10580	1304
7	10,01	7,41	9882	1218
6	9,34	6,91	9224	1137
5	8,72	6,45	8605	1061
4	8,13	6,01	8022	988,9
3	7,57	5,60	7476	921,6
2	7,02	5,22	6962	858,2
1	6,56	4,86	6430	793,8
0	6,11	4,52	6028	743,0
-1	5,62	4,16	5551	684,3
-2	5,17	3,83	5105	629,3
-3	4,75	3,53	4691	578,1
-4	4,37	3,25	4316	531,9
-5	4,01	2,97	3960	488,1
-6	3,68	2,73	3638	448,4
-7	3,37	2,50	3330	410,4
-8	3,09	2,29	3055	376,5
-9	2,84	2,09	2800	345,1
-10	2,59	1,92	2559	315,4

-11	2,37	1,76	2345	289,0
-12	2,17	1,61	2145	264,3
-13	1,98	1,47	1955	241,0
-14	1,81	1,34	1738	220,4
-15	1,65	1,22	1630	200,9
-16	1,51	1,11	1487	183,2
-17	1,37	1,01	1354	166,9
-18	1,25	0,992	1232	151,8
-19	1,13	0,839	1120	138,0
-20	1,03	0,763	1018	125,5
-21	0,940	0,693	925,0	114,0
-22	0,850	0,629	839,5	103,5
-23	0,770	0,570	760,5	93,73
-24	0,700	0,516	639,4	84,97
-25	0,640	0,467	630,0	71,67
-26	0,572	0,423	564,5	69,57
-27	0,520	0,382	510,5	62,92
-28	0,469	0,345	460,5	56,76
-29	0,422	0,311	415,8	51,24
-30	0,380	0,281	376,3	46,38
-31	0,342	0,253	336,8	41,51
-32	0,308	0,228	303,9	37,46
-33	0,277	0,205	273,7	33,73
-34	0,248	0,184	246,0	30,32
-35	0,223	0,165	221,0	27,24
-36	0,200	0,148	197,4	24,32
-37	0,179	0,133	176,3	21,73
-38	0,160	0,119	159,2	19,62
-39	0,143	0,106	142,1	17,51
-40	0,128	0,0948	126,6	15,59
-41	0,114	0,0840	112,9	13,91
-42	0,102	0,0754	100,8	12,42
-43	0,091	0,0672	89,61	11,04
-44	0,081	0,0598	79,87	9,84
-45	0,072	0,0532	71,05	8,76
-46	0,064	0,0472	63,03	7,77
-47	0,057	0,0419	55,92	6,89
-48	0,050	0,0371	49,60	6,11
-49	0,044	0,0329	43,82	5,40
-50	0,039	0,0291	38,82	4,78
-51	0,035	0,0257	34,34	4,23
-52	0,030	0,0227	29,21	3,60
-53	0,027	0,0200	26,71	3,29
-54	0,024	0,0176	23,42	2,88
-55	0,021	0,0155	20,66	2,55
-56	0,018	0,0136	18,16	2,24
-57	0,016	0,0119	15,92	1,96
-58	0,014	0,0104	13,95	1,72
-59	0,012	0,0091	12,37	1,52
-60	0,010	0,0080	10,66	1,31
-61	0,0094	0,0070	9,32	1,15
-62	0,0082	0,0061	8,12	1,00
-63	0,0072	0,0053	7,07	0,87
-64	0,0062	0,0046	6,15	0,76
-65	0,0054	0,0040	5,34	0,66
-66	0,0047	0,0035	4,63	0,57
-67	0,0041	0,0030	4,01	0,49
-68	0,0035	0,0026	3,47	0,43
-69	0,0030	0,0023	3,00	0,37
-70	0,0026	0,0019	2,59	0,32

Примечания к таблице:

1. Под температурой понимается также и температура конденсации, и точка росы.
2. Абсолютная влажность выражена в граммах воды на кубический метр геометрического объема.
3. Взаимосвязь концентрации в г/м^3 , в ppm-об. и в ppm-масс. соответствует температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ и давлению 1013 гПа.
4. При температуре, указанной в столбце 1, водяной пар имеет давление насыщения, указанное в столбце 2.
5. Газ при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 1013 гПа с абсолютной влажностью, указанной в столбце 3, имеет точку росы, указанную в столбце 1, а концентрация может быть считана в выражении миллионных долей (столбцы 4 и 5).
6. При давлении, отличном от 1013 гПа, столбец 1 отражает температуру конденсации.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ЭЛЕГАЗА

Степень загрязненности элегаза продуктами его разложения может быть оценена посредством измерения кислотности. Кислотность элегаза определяется кислотно-щелочным титрованием. В настоящее время это определение выполняется методом, основанном на сухих реактивах.

Элегаз с содержанием кислотных примесей продувается через трубочку, заполненную окрашенным индикаторным адсорбентом. Кислотность в виде миллионных массовых долей эквивалентов HF (ppm-масс.) определяется как отношение длины обесцветившегося участка к объему пропущенного газа

$$[\text{HF}] = kL / v$$

где k — коэффициент, определяемый калибровкой; L — длина обесцветившегося участка, см; v — объем пропущенного газа, л.

7.1. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ТРУБОК

Полисорб (10 г) фракции 0,1—0,25 мм смачивают спиртом, добавляют к нему 0,2 мл насыщенного спиртового раствора бромкрезолового индикатора (0,5 г индикатора на 3—4 мл спирта) и 0,25 мл 1 Н раствора NaOH, перемешивают и высушивают, перемешивая в сушильном шкафу при температуре 75—80 °С. Такой реактив образует очень яркую и четкую границу цвета «сиреневый-желтый» при титровании его газом с кислотными примесями. При заполнении стеклянных трубок окрашенный полисорб фиксируется тампонами из хлопковой ваты (со стороны подачи потока газа — минимального размера) и уплотняется постукиванием.

7.2. КАЛИБРОВКА ИНДИКАТОРНЫХ ТРУБОК

В пустую стеклянную трубочку того же диаметра помещают 5 мкл 0,2 Н раствора соляной кислоты и соединяют ее с индикаторной трубочкой и источником воздуха. Продувают трубочки до исчезновения капли раствора кислоты и далее до полной остановки перемещения границы цвета. Калибровочный коэффициент трубочки равен

$$k = 3,3 / L$$

Значение коэффициента, определенное таким образом, распространяется на всю партию трубок, полученных из одной партии реагентов. Коэффициент примерно равен $k = 3 \text{ ppm} \cdot \text{л} \cdot \text{см}^{-1}$ для окрашенного полисорба в трубках диаметром 4 мм.

7.3. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КИСЛОТНОСТИ

Индикаторная трубочка с известным калибровочным коэффициентом соединяется с резиновой камерой для фиксации определенного объема пропущенного газа (посредством ее заполнения до установленного шаблоном размера) и подсоединяется к небольшому потоку элегаза из анализируемого объема после тщательной продувки этим элегазом соединительных коммуникаций. Для более точного, при необходимости, измерения объема можно использовать мерный цилиндр, опущенный в воду. После заполнения камеры до определенного размера (объема) или измерения объема пропущенного газа мерным цилиндром измеряют обесцветившийся участок и рассчитывают кислотность по приведенной формуле.

Минимально определяемая концентрация метода составляет 0,1 ppm-масс. При такой кислотности потребуются прокачать через трубочку сравнительно большой объем элегаза. Так, для окрашенного полисорба с $k = 3$ при обесцвечивании 2 мм окрашенного адсорбента (минимальное значение) потребуется 6 л элегаза. Поэтому при определении малой концентрации желательно использовать короткие трубки для обеспечения малого сопротивления потоку газа и использования максимально допустимой скорости газа (до 60 мл/мин). Для определения высокой кислотности, наоборот, потребуются трубки повышенной длины и малая скорость потока газа.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА НОРМАТИВУ ВЛАЖНОСТИ

Установленные нормативы качества элегаза должны выполняться в течение всего срока службы. Результат конкретного анализа влажности элегаза из аппарата должен быть оценен во всем диапазоне рабочей температуры и экстраполирован во времени до конца срока службы.

8.1. В аппарате внутренней установки^{*)} норматив влажности будет выполнен в течение всего срока эксплуатации, если измеренная в какой-либо момент абсолютная влажность $A_{\text{изм}}$ будет ниже расчетного значения

$$A_{\text{изм}} \leq \frac{4,5 + (2,6 / V) \sum (g_k a_k^0) - 4,31 N / N_H}{1 + 10 \sum (g_k a_k^0) / (VA_t)}$$

Это уравнение позволяет проанализировать соответствие измеренного значения влажности нормативу влажности при любой температуре аппарата внутренней установки (через значение A_t) и в любой момент времени (через N), если конструкция аппарата соответствует установленным техническим требованиям (раздел 1).

8.2. В аппарате наружной установки^{**)} норматив влажности будет выполнен в течение всего срока эксплуатации, если измеренная в какой-либо момент абсолютная влажность $A_{\text{изм}}$ будет ниже расчетного значения

$$A_{\text{изм}} \leq \frac{0,0532 + (1,139 / V) \sum (g_k a_k^0) + (q / V) (0,225 - a_{\text{NaX}}) - 2,54 N / N_H}{1 + 10 \sum (g_k a_k^0) / (VA_{t_{\text{cp}}})}$$

Это неравенство позволяет проанализировать соответствие измеренного значения влажности при любой среднесуточной температуре (через значение $A_{t_{\text{cp}}}$) и в любой момент времени (через значение N) установленному нормативу в аппарате наружной установки, конструкция которого соответствует установленным техническим требованиям. Выполнение неравенства будет означать, что норматив влажности будет выполняться до конца назначенного срока службы N_H .

^{*)} Соответствует категории размещения 4 по ГОСТ 15150-69.

^{**)} Соответствует категории размещения 1, 2 и 3 по ГОСТ 15150-69.

8.3. В выключателе норматив влажности будет выполнен в течение всего срока эксплуатации, если измеренная в какой-либо момент влажность $A_{\text{изм}}$ будет ниже расчетного значения

$$A_{\text{изм}} \leq \frac{0,281 + (0,162/V)\Sigma(g_{\text{к}}a_{\text{к}}^0) + (0,1143/V)[q - 3,4I_{\text{кз}}n_1n_2]}{1 + 10\Sigma(g_{\text{к}}a_{\text{к}}^0)/(VA_{t_{\text{ср}}})} +$$

$$+ \frac{(0,0578/V)[I_{\text{кз}}n_1n_2 - (a_{\text{NaX}}/V)[q - 3,4n_2\Sigma(I_i n_i)] - n_2\Sigma(I_i n_i)]}{1 + 10\Sigma(g_{\text{к}}a_{\text{к}}^0)/(VA_{t_{\text{ср}}})} -$$

$$- \frac{5,33N/N_{\text{н}}}{1 + 10\Sigma(g_{\text{к}}a_{\text{к}}^0)/(VA_{t_{\text{ср}}})}$$

Приведенное уравнение для выключателя, конструкция которого отвечает установленным техническим требованиям, позволяет оценить соответствие состояния элегаза выключателя нормативу влажности по измеренному значению $A_{\text{изм}}$ при любой температуре (через $A_{t_{\text{ср}}}$) в любой момент времени (через N) и при выработке части ресурса отключений [через $\Sigma(I_i n_i)$].

8.4. Значения предельного влагосодержания некоторых изоляционных материалов $a_{\text{к}}^0$ приведено в приложении 2. Уравнения для расчета адсорбционной емкости цеолита по воде a_{NaX} приведены в приложении 6.

9. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Санитарно-гигиенические и экологические проблемы техногенной деятельности человека занимают все большее внимание общественных организаций и государственных органов. Задачами законодательства об охране атмосферного воздуха являются регулирование общественных отношений в этой области с целью сохранения чистоты и улучшения состояния атмосферного воздуха, предотвращения и снижения вредных химических, физических, биологических и иных воздействий на атмосферу, вызывающих неблагоприятные последствия для населения, народного хозяйства страны, растительного и животного мира, а также укрепление законности в области охраны атмосферного воздуха.

9.1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В сферу санитарно-гигиенических задач входит обеспечение безопасных условий работы персонала в течение всего рабочего времени и обеспечение безопасного проживания населения за пределами санитарной зоны предприятия.

Санитарно-гигиеническое обеспечение предприятий с элегазовым оборудованием опирается на установленные санитарные нормы чистоты.

9.1.1. Санитарно-гигиеническое обеспечение работающего персонала

9.1.1.1. Основные правила безопасной работы с элегазом и элегазовым оборудованием

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Элегаз — газ без цвета и запаха, в пять раз тяжелее воздуха, не токсичен, не горюч, не поддерживает горения, не взрывоопасен, не образует взрывоопасных смесей, является химически инертным соединением, физиологически безвреден, кумулятивным свойством не обладает. Отсутствие токсичных примесей, имеющих место в технологии его производства, гарантируется заводом-изготовителем на основе биологического контроля партии.

Элегаз поставляется в баллонах объемом 40 л в количестве до 41,6 кг в баллоне в жидком состоянии под давлением до 2,2 МПа (при 20 °С) и используется в качестве газообразной и дугогасящей среды высоковольтных электротехнических установок с давлением до 1,5 МПа. Класс опасности 4 по ГОСТ 12.1.007—76.

Опасность работы с чистым элегазом обусловлена особенностью элегаза заполнять углубления (траншеи, кабельные каналы, закрытые помещения), вытесняя из них воздух и тем самым создавая в них атмосферу, непригодную для дыхания.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны производственных помещений $\text{ПДК}_{\text{p.з}} = 5000 \text{ мг/м}^3$.

Шестифтористая сера обладает высокой термической устойчивостью. Диссоциация элегаза, приводящая к образованию вредных для здоровья человека веществ, начинается только при 1600 °С. Однако в присутствии примесей в элегазе, конструкционных металлических и полимерных материалов разложение шестифтористой серы может происходить при температуре от 200 °С. В результате действия дугового, искрового, тлеющего, коронного и частичных разрядов, а также под влиянием сварочных работ, работ с открытым пламенем элегаз разлагается с образованием низших фторидов серы, оксифторидов серы, фторидов и сульфидов металлов, входящих в состав материалов, на которых формируется разряд. Низшие фториды серы являются реакционноспособными соединениями и могут вступать во взаимодействие с кислородом, водой и другими соединениями, образуя целую гамму серо- и фторсодержащих соединений, способных к дальнейшему гидролизу с образованием сернистого газа и кислот (плавиковой, сернистой, серной).

Токсичные свойства продуктов разложения элегаза определяются как самими низшими фторидами, так и продуктами их гидролиза. Низшие фториды серы и продукты их гидролиза обладают резким специфическим запахом и в связи с этим их наличие легко обнаруживается органолептически в концентрациях значительно более низких, чем опасные. Персонал, ощутив характерный запах, получает предупреждение о необходимости покинуть помещение, в воздухе которого появились токсичные продукты.

Нормальная работа коммутационного элегазового аппарата приводит к образованию газообразных низших фторидов серы и твердых продуктов, выделяющихся в виде пыли. Твердые продукты, представляющие собой фтористые и сернистые соли металлов, входящих в состав материалов дугогасительных контактов, представляют опасность как мелкодисперсные материалы и как материалы, содержащие в адсорбированном состоянии газообразные токсичные компоненты.

Контакт с элегазом и продуктами его разложения может возникнуть при заполнении оборудования, его обслуживании, при плановом или аварийном ремонте оборудования, при ликвидации оборудования, а также в случае аварийного выброса продуктов разложения в рабочее помещение. Особую опасность представляет элегаз, загрязненный продуктами разложения.

ХРАНЕНИЕ БАЛЛОНОВ С ЭЛЕГАЗОМ И ОБРАЩЕНИЕ С НИМИ

Обращение с баллонами, заполненными элегазом, должно быть бережным, как с баллонами под давлением. Их следует хранить в прохладном, сухом, хорошо проветриваемом помещении вдали от воспламеняющихся или взрывчатых материалов. Баллоны должны быть защищены от прямого солнечного света, установлены на чистом и ровном основании в вертикальном положении вентилем вверх и защищены от падения. На баллонах должно быть четко обозначено их содержимое. Баллоны с товарным элегазом должны быть отделены от баллонов с использованным (бывшем в употреблении) элегазом.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЧИСТЫМ ЭЛЕГАЗОМ

1. Основная опасность при работе с чистым элегазом заключается в возможности (вероятности) попасть в среду с пониженной концентрацией кислорода и в связи с этим непригодную для дыхания. За счет высокой плотности элегаз способен длительное время сохраняться в открытых сосудах с горловиной в верхней части и заполнять углубления, траншеи, кабельные каналы, закрытые помещения, вытесняя из них воздух.

Пребывание человека в среде с пониженной концентрацией кислорода (ниже 13 %) может привести к удушью. Следует помнить, что человек теряет сознание без каких-либо тревожных симптомов.

2. В помещении, где производятся работы с элегазом и элегазовым оборудованием, должна быть установлена приточно-вытяжная вентиляция с забором воздуха из нижнего уровня.

3. Помещения, где возможно затопление элегазом, должны быть специально помечены плакатом и вход в них ограничен.

4. Прежде чем приступить к работе в аппарате, траншее, кабельном канале или закрытом помещении, необходимо включить вентиляцию и убедиться в наличии там подходящей для дыхания среды. Это можно сделать аналитическими методами или, в крайнем случае, с помощью горячей свечи или лучины: если огонь не горит, вентиляцию следует продолжить. При необходимости выполнения работ в заполненном элегазом помещении или углублении следует пользоваться изолирующим противогазом. При организации работ в траншее, кабельном канале и тому подобное необходимо иметь наблюдающего наверху, в поле зрения которого будут находиться все работающие, и средства для экстренного подъема работающих наверх.

5. Пострадавший — потерявший сознание в заполненном элегазом помещении вследствие удушья — должен быть немедленно вынесен на свежий воздух и приведен в сознание с помощью энергичного искусственного дыхания.

6. При выбросе чистого элегаза (в результате, например, прорыва мембраны в аппарате или других неполадок) немедленно должна быть включена аварийная вентиляция на срок, обеспечивающий снижение концентрации до ПДК.

7. Категорически запрещается оставлять открытыми сосуды заполненные элегазом.

8. При выполнении каких-либо работ с элегазом и элегазовым оборудованием (заполнение, дозаполнение, отбор пробы на анализ и т.д.) в помещении запрещается курить, пользоваться нагревательными приборами и открытым пламенем.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕГАЗОМ, ЗАГРЯЗНЕННОМ ПРОДУКТАМИ РАЗЛОЖЕНИЯ

1. В результате актов коммутации, а также при электрическом пробое изоляции в оборудовании может произойти накопление вредных для здоровья человека веществ: газообразных (фтор, фтористый водород, низшие фториды серы и

продукты их гидролиза) и твердых (фториды, сульфиды и другие соединения металлов, на которых горела дуга). В результате прожога оболочек или разрыва мембран образовавшиеся вредные вещества могут попасть в атмосферный воздух подстанционных помещений. Газообразные продукты разложения элегаза ядовиты и обладают резким, специфическим запахом.

2. При аварийном выбросе элегаза из аппарата необходимо включить аварийную вентиляцию и продолжить вентилировать до значительного снижения специфического запаха.

3. Выполнение работ по ликвидации последствий выброса продуктов разложения в подстанционное помещение сводится к удалению вредной пыли и производится дежурной бригадой посредством сухой (пылесосами) или мокрой обработки после продолжительной вентиляции. При этом должны быть использованы легкий защитный костюм, перчатки, очки и респиратор. При мокрой уборке дополнительно используются резиновые перчатки и сапоги.

4. При необходимости экстренного выполнения работ в помещении, воздух которого загрязнен продуктами разложения элегаза, необходимо вместо респиратора воспользоваться противогазом: если выброс элегаза в расчете на объем помещения не превышает 1 % по объему и помещение не представляет собой углубление, предрасположенное к затоплению, то для работы по ликвидации аварии может быть использован фильтрующий противогаз, а в противном случае — изолирующий.

5. Ревизия коммутационных аппаратов осуществляется в ремонтном помещении, оснащенном местной вентиляцией, позволяющей осуществить отсасывание газов из вскрытого аппарата. Перед вскрытием элегазовый аппарат должен быть освобожден от элегаза с применением дополнительного адсорбционного фильтра-поглотителя для удаления продуктов разложения и отвакуумирован форвакуумным насосом с выхлопом в вентиляцию или за пределы помещения с барботажем через щелочный раствор. Вскрытый аппарат должен проветриваться с помощью местной вентиляции до значительного ослабления запаха.

6. При аварийном выходе из строя элегазового аппарата без нарушения его герметичности производится его замена на резервный. Ремонт вышедшего из строя аппарата осуществляется в ремонтном помещении, также как и ревизия коммутационного аппарата.

7. Обработка внутренних полостей и деталей коммутационных аппаратов и аппаратов, в которых произошел электрический пробой, с целью удаления ядовитой пыли осуществляется в комбине зоне или защитном костюме, очках, респираторе и хлопчатобумажных перчатках, а при мокрой уборке — в резиновых перчатках и сапогах.

8. Дополнительный фильтр-поглотитель, использованный для очистки элегаза при его эвакуации, подлежит разборке в средствах индивидуальной защиты с целью ликвидации адсорбента (замачиванием водой или содовым раствором с последующим выбросом в отвал) и промывки всех деталей водой.

9. Средства индивидуальной защиты подлежат машинной стирке.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЛАНОВОМ РЕМОНТЕ

Плановый ремонт элегазовых аппаратов осуществляется посредством замены на резервные. Демонтированные аппараты отправляются для ревизии в специальное помещение для ремонтных работ. Ремонтное помещение должно быть оборудовано местной вентиляцией, позволяющей осуществить отсасывание газов из вскрытого аппарата.

Перед вскрытием элегазовый аппарат должен быть отвакуумирован форвакуумным насосом с выхлопом в вентиляцию или за пределы здания и заполнен атмосферным воздухом.

Коммутационные аппараты могут быть вскрыты по истечении 48 часов после последней коммутации. Перед вскрытием коммутационный аппарат должен быть отвакуумирован форвакуумным насосом с выхлопом в вентиляцию или за пределы помещения с барботажем через щелочной затвор (0,1 кг едкого натра или карбоната натрия на 10—12 л воды).

Вскрытый коммутационный аппарат должен быть оставлен для проветривания до значительного ослабления запаха, но не более, чем на сутки.

Обработка внутренних полостей и деталей коммутационного аппарата должна осуществляться в хлопчатобумажном костюме, комбинезоне или легком защитном костюме и хлопчатобумажных перчатках при сухой обработке или резиновых перчатках при мокрой обработке.

Удаление твердых продуктов разложения элегаза из аппарата производится пылесосом с дополнительным бумажным фильтром с выхлопом в вентиляцию. Собранная пыль вместе с фильтром нейтрализуется водой или слабой щелочью и выбрасывается в отвал, матерчатые фильтры пылесоса подлежат стирке.

Адсорбент выключателя нейтрализуется водой или слабой щелочью и выбрасывается в отвал.

Хлопчатобумажные средства защиты подлежат машинной стирке.

*ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ АВАРИЙНОМ РЕМОНТЕ
(БЕЗ ВЫБРОСА ЭЛЕГАЗА В РАБОЧЕЕ ПОМЕЩЕНИЕ)*

При аварийном выходе из строя элегазового аппарата, происшедшем без нарушения его герметичности, производится его замена на резервный. Ремонт вышедшего из строя аппарата осуществляется в ремонтном помещении с соблюдением правил техники безопасности при плановом ремонте. При этом, если причиной выхода из строя аппарата является электрический пробой или неизвестная причина, но элегаз обладает специфическим запахом, то обработка аппарата осуществляется так же, как обработка коммутационного аппарата.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УСТРАНЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ С ВЫБРОСОМ ЭЛЕГАЗА

При выбросе чистого элегаза (в результате разрыва мембраны, из аппарата без напряжения и др.) немедленно включается аварийная вентиляция на срок, обеспечивающий снижение концентрации выброса до значения ПДК. При

дальнейшем осмотре необходимо руководствоваться общими правилами и правилами техники безопасности при плановом ремонте.

При аварийном выбросе элегаза с продуктами разложения (разрыв мембраны от перекрытия, прожог оболочки и пр.) немедленно включается вентиляция до значительного ослабления специфического запаха и на срок, обеспечивающий снижение концентрации выброса до ПДК. Выполнение работ по ликвидации последствий выброса продуктов разложения элегаза производится дежурной бригадой. Обработка сводится к удалению выброшенной пыли. Эта операция осуществляется пылесосами и влажными тряпками. Уборка помещения пылесосами осуществляется так же, как при удалении пыли из коммутационного аппарата, но выполняется в легком защитном костюме, перчатках и противогазе (при наличии запаха продуктов разложения) или респираторе (при отсутствии запаха). При мокрой обработке используются резиновые перчатки и сапоги. Если выброс элегаза в расчете на объем помещения не превышает 1 % по объему для работы по ликвидации аварии может быть использован фильтрующий противогаз. В противном случае, так же, как для работы внутри аппарата, в затопляемой траншее, заглублении и прочее, должен быть использован изолирующий противогаз или предварительно осуществлена адекватная вентиляция.

Аварийное оборудование демонтируется и отправляется в ремонтное помещение. Разборка аварийного оборудования осуществляется с соблюдением правил техники безопасности, предъявляемых к коммутационной аппаратуре.

9.1.2. Санитарно-гигиеническое обеспечение населенных мест

Требования к качеству воздуха в населенной местности значительно выше. Концентрация выброса загрязняющих веществ, производимого действующим предприятием, достигая населенной местности, должна быть значительно снижена за счет разбавления атмосферным воздухом. В связи с этим вокруг производственного предприятия устанавливается санитарно-защитная зона, отделяющая его от селитебной зоны — зоны проживания населения.

При технологическом или аварийном выбросе элегаза в производственное помещение может произойти превышение значения $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$ как в отдельных его частях, так и повсеместно. Задача вентиляции за определенный короткий промежуток времени (в течение которого запрещается входить в производственное помещение без соответствующих средств защиты) снизить концентрацию выброса до $\text{ПДК}_{\text{р.з}}$. Но чем больше производительность вентиляции и соответственно меньше интервал времени необходимого включения вентиляции, тем больше мощность выброса за пределы рабочей зоны и санитарной зоны. Однако выхлоп за пределы производственного помещения должен быть организован так, чтобы в приземном слое воздуха за пределами санитарной зоны предприятия не возникла концентрация загрязнителя больше максимальной разовой предельно допустимой концентрации $\text{ПДК}_{\text{м.р}}$. С другой стороны, чем меньше объем производственного помещения, тем большая концентрация вредных ве-

ществ образуется в нем за счет выброса, и наоборот. Чем больше концентрация в помещении, тем больше опасности, что при выбросе этого загрязненного воздуха за пределы рабочей зоны будут созданы неприемлемые условия в прилегающей селитебной зоне. Таким образом, объем рабочей зоны и производительность вентиляции должны быть связаны с обеспечением качества воздуха за пределами предприятия. В этом и состоит суть согласования режимов выброса вредных веществ на стадии проектирования.

Условие обеспечения санитарно-гигиенической безопасности элегазовой подстанции, вентиляция которой рассчитана по модели полного перемешивания, выражается неравенством

$$K < 6790 / (AC_M I_{кз})$$

Условие обеспечения санитарно-гигиенической безопасности элегазовой подстанции, вентиляция которой рассчитана по модели полного вытеснения, выражается неравенством

$$K < 3900 / (AC_M I_{кз})$$

Идеологическая сущность приведенных неравенств: кратность вентиляции ответственная за безопасность выброса и не должна превышать расчетного значения. Значения максимальной концентрации загрязнителя на местности C_M приведены в приложении 7. Коэффициент температурной стратификации A приведен в приложении 8.

9.2. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Элегаз нашел применение в электротехнике, электронике, в авиации, при производстве легких металлов и сплавов, в офтальмологии, в метеорологии, в подводном плавании и многих других областях благодаря уникальному комплексу физических и химических свойств. Но примерно 80 % общего производимого объема элегаза используется в электротехнике в качестве изоляции высоковольтных аппаратов. В естественной природе SF_6 отсутствует и является продуктом техногенной деятельности человека. Фоновое содержание в атмосферном воздухе $(0,3—1,5) \cdot 10^{-10}$ %-об. У поверхности Земли шестифтористая сера безвредна.

По аналогии с фреонами влияние элегаза на окружающую среду надо рассматривать в двух направлениях: влияние на парниковый эффект и разрушение стратосферного озона. И то, и другое направление оценки лучше всего выполнять в сравнении с фреонами.

Присутствие в атмосфере. К началу девяностых годов производство фреонов составляло примерно 10^6 т/год, и средняя концентрация фреонов в атмосфере приблизилась к значению 1,6 ppb-об. (миллиардных долей по объему). Производство элегаза постоянно увеличивается с 1970 года и в ближайшее десятилетие составит 10^4 т/год. Учитывая, что основной объем элегаза удерживается в электрооборудовании в течение нескольких десятилетий и в атмосферу попадают только случайные выбросы или постоянная утечка на регламентированном уровне менее 1 %/год, расчетная величина средней концентрации шестифтористой серы в атмосфере оценивается значением 1,5 ppt-об. (триллионные доли по объему). Таким образом, можно считать, что соотношение концентрации шестифтористой серы и фреонов в атмосфере составляет 1:1000 с тенденцией к увеличению в будущем.

Парниковый эффект. Средняя температура тропосферы устанавливается в результате инфракрасного излучения поверхности Земли и частичного его отражения обратно такими газами, как вода, озон и углекислый газ в области от 7 до 13 мкм. Естественная отражательная способность тропосферы в этом спектральном диапазоне усиливается в результате активной деятельности людей за счет увеличения содержания метана, углекислого газа, окислов азота, окислов серы и фреонов. В результате средняя температура поверхности Земли увеличивается, что и называется «парниковым эффектом».

Спектральные характеристики шестифтористой серы в данном «атмосферном окне» похожи на таковые для фреонов. Шестифтористая сера имеет сильную волну при 10,6 мкм (и другие в этом окне), а следовательно, так же как и фреоны вносит свой вклад в парниковый эффект. И только за счет соотношения концентрации ее относительный вклад пока еще остается незначительным (< 0,01 %).

Разрушение озонового слоя. Механизм разрушения стратосферного озона сводится к взаимодействию озона с галогенами (хлором, бромом, йодом), образовавшимися из фреонов. Исключительно разрушительным эффектом обладает хлор. Подобным эффектом обладают и бром, и йод, но их в атмосфере намного меньше. Фтор, являющийся единственным представителем галогенов в молекуле шестифтористой серы, способен к подобной реакции, но из-за своей химической активности по отношению к водороду не обладает каталитическими способностями к поддержанию этой цепной реакции: как только атом фтора тем или иным путем образуется в стратосфере, он будет быстро нейтрализован с образованием молекулы фтористого водорода. Образованная в конечном счете фтористоводородная кислота является очень устойчивой молекулой, нейтральной по отношению к озоновому слою. Водород как партнер этой химической реакции содержится в молекуле воды, представленной в стратосфере в большой концентрации. Поэтому шансы фтора вступить в реакцию с озоном ничтожны и его каталитическая активность оценивается меньше, чем 1:10 000 по отношению к хлору. А с учетом существенной разницы их содержания в верхних слоях

атмосферы вклад в разрушение озонового слоя шестифтористой серой оценивается как одна десятимиллионная доля от общего воздействия фреонов.

Что касается серы, то ее количество, которое образуется от разложения SF_6 в стратосфере, ничтожно мало по сравнению с мировыми промышленными и природными выбросами соединений серы и заметного влияния на экологическую ситуацию оказать не может.

Перспективы. В настоящее время нет экологической опасности использования элегаза. Но нам следует проанализировать и отдаленную перспективу, так как шестифтористая сера является активным газом, создающим «парниковый эффект». Меры совершенствования культуры производства и использования элегаза будут способствовать снижению роста концентрации шестифтористой серы в атмосфере за счет снижения постоянной утечки, регламентированных и случайных выбросов. Необходимо создать условия для возврата отработанного элегаза на завод-производитель для переработки в товарный продукт с целью снижения необходимости производства нового элегаза, что и является главным, так как, в конечном счете, все, что произведено, быстрее или медленнее будет выпущено в атмосферу!

Элементы экологического сознания в обращении с элегазом. Все рассмотренные выше обстоятельства экологического воздействия элегаза диктуют новые, дополнительные, еще более жесткие требования к обращению с элегазом:

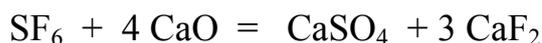
- потери элегаза в атмосферу должны быть снижены и в части регламентированных и случайных выбросов, и в части снижения процента утечки до 0,1 %/год;
- шире использовать смеси с пониженным содержанием элегаза с целью снижения его расхода;
- обеспечить полную утилизацию отработанного элегаза с обязательным повторным его использованием как экономически выгодную и экологически необходимую технологию.

Постоянное подчеркивание безопасности применения элегаза для персонала привело к формированию мнения об очень свободном обращении с ним, допускающем любые сбросы в атмосферу рабочих помещений. Отсутствие контроля расходуемого количества или постоянного контроля концентрации в воздухе рабочего помещения только способствует этому. Поэтому, необходимо уже сейчас создавать общественное мнение о недопустимости выпуска элегаза в атмосферу и подкреплять это и установкой контролирующей аппаратуры, и разработкой соответствующего законодательства. Внедрение жестких правил обращения с элегазом позволит в дальнейшем избежать возможных экологических проблем.

9.3. УНИЧТОЖЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ликвидация оборудования не представляет собой какой-либо специфической задачи при соблюдении правил техники безопасности, изложенных в предыдущем разделе.

Ликвидация элегаза должна осуществляться промышленным способом. Одним из наиболее простых, экономичных и экологичных способов является процесс, выполняемый по химической реакции взаимодействия шестифтористой серы с гашеной известью при повышенной температуре (более 600 °С)



Получаемые по реакции продукты – соли кальция – безопасны и экологически нейтральны и могут быть сброшены в отвал или подвергнуться дальнейшей переработке.

10. СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Аракелян В.Г. Физическая химия элегазового электротехнического оборудования. Издательство МЭИ, 2002 г., 296 стр.

Приложение 1.
(справочное)

Обозначения

A	— абсолютная влажность, г/м ³ ; коэффициент стратификации
A_t	— абсолютная влажность при насыщении, г/м ³ , при температуре t
B	— относительная влажность атмосферного воздуха, %
C	— концентрация
$I_{кз}$	— ток короткого замыкания, кА, действующее значение
F	— объемная скорость газа-носителя, мл/мин; производительность вентиляции, м ³ /с или м ³ /час
K	— кратность обмена
L	— длина, см
N	— интервал времени до конца назначенного срока эксплуатации, год; число теоретических тарелок
N_n	— назначенный срок эксплуатации
P	— коэффициент газопроницаемости, см ³ ·см/(см ² ·МПа·с)
Q_c	— износ сопла, г
Q_k	— износ контактов, г
R	— степень разделения хроматографических пиков
V	— объем аппарата, м ³
v	— объем газа, л
$a_{1/2}$	— ширина хроматографического пика на середине высоты
a^0	— влагосодержание материала при нормальном давлении, 20 °С и 100 %-ной относительной влажности, %-масс
a_k	— влагосодержание изоляционного материала, % по массе
a_{NaX}	— влагосодержание цеолита, г/г
g_k	— масса изоляционного материала, г
k	— калибровочный коэффициент
n_1	— число отключений тока
n_2	— число разрывов в выключателе
q	— масса цеолита, г
r	— повторяемость результатов, %
s	— площадь сечения уплотнения, перпендикулярного потоку диффузии, см ²
t	— время; температура, °С
t_R	— время удерживания (выхода) хроматографируемого вещества
x	— длина диффузионного пути, см
ρ	— плотность элегаза, кг/м ³
τ	— интервал времени, мин

Обозначение единиц концентрации:

%-масс., %-об. — процентное содержание по массе или объему

ppm-масс., ppm-об. — миллионные доли по массе или объему (10^{-4} %)

ppb-масс., ppb-об. — миллиардные доли по массе или объему (10^{-7} %)

ppt-масс., ppt-об. — триллионные доли по массе или объему (10^{-10} %)

Приложение 2.
(справочное)

Свойства уплотнительных и изоляционных материалов

Диффузионные свойства резин по воде, элегазу и кислороду

Марка резины	Коэффициент газопроницаемости, $\text{см}^3 \cdot \text{см} / (\text{см}^2 \cdot \text{МПа} \cdot \text{с})$		
	H_2O	SF_6	O_2
51-2095	$2,3 \cdot 10^{-6}$	} $< 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$
ИРП-1225А	$1,3 \cdot 10^{-5}$		$2,4 \cdot 10^{-8}$
ИРП-1345	$1,6 \cdot 10^{-5}$		$3,0 \cdot 10^{-8}$
51-1481-1	$2,2 \cdot 10^{-5}$		$3,9 \cdot 10^{-7}$
ИРП-1376	$3,2 \cdot 10^{-5}$		$5,1 \cdot 10^{-7}$
51-2060	$1,3 \cdot 10^{-4}$		$1,2 \cdot 10^{-7}$
НО-68	$1,3 \cdot 10^{-4}$		-

Влагосодержание изоляционных материалов при полном и равномерном насыщении и температуре 20 °С (давление атмосферное)

Изоляционный материал	Влагосодержание, %-масс.
Компаунд КЭ-3 (наполнитель SiO_2)	0,35
Компаунд КФ-1 (наполнитель CaF_2)	0,42
Компаунд КФ-4 (наполнитель Al_2O_3)	0,46
Стеклотекстолит	0,02
Лавсан-текстолит	0,03
Фторопласт-4	0,006

Приложение 3.
(рекомендуемое)

Определение объема газового пространства оборудования

Объем газового пространства **нового** аппарата, ориентировочно известный по чертежам, должен быть измерен и внесен в техническую документацию. Эту процедуру следует выполнить в тот момент, когда аппарат заполнен азотом (для этого случая — с некоторым избыточным давлением).

Определение объема оборудования основано на измерении давления в оборудовании при удалении части рабочего газа (азота). Удаляемая часть рабочего газа при этом может быть измерена газовым счетчиком или помещена в сосуд известного объема. В первом случае расчет объема осуществляется по формуле

$$V_a = \Delta v (p_6 - p_{\text{H}_2\text{O}}) T_a \cdot 10^{-4} / (\Delta p T_{\text{сч}})$$

где V_a — объем газового пространства, дм^3 ; T_a — температура окружающей среды (аппарата), К; $T_{\text{сч}}$ — температура воды в счетчике, К; Δv — разница показаний газового счетчика, дм^3 ; Δp — изменение давления, МПа; p_6 — атмосферное давление, гПа (мбар); $p_{\text{H}_2\text{O}}$ — давление насыщенного пара воды при $T_{\text{сч}}$ (таблица 4).

Во втором случае расчет выполняется по формуле

$$V_a = V_m (p_2 - p_6 \cdot 10^{-4}) / (p_1 - p_2)$$

где p_1 — давление в аппарате до перепуска части газа, МПа; p_2 — давление в аппарате после перепуска части газа, МПа; V_m — мерный объем, дм^3 ; p_6 — атмосферное давление, начальное давление в мерном объеме, гПа (мбар), причем $p_1 - p_2 \geq 0,05$ МПа и $p_2 \geq 0,1$ МПа (избыточное). Определение объема необходимо выполнять в условиях отсутствия тепловых потоков, при постоянной температуре.

Приложение 4.
(справочное)

Абсолютное давление элегаза, МПа, при температуре заполнения для обеспечения номинальной плотности

Температура за- полне- ния, °С	Плотность элегаза, кг/м ³ , (в скобках давление при 20 °С) (ниже давление, МПа, и температура, °С, конденсации элегаза данной плотности)										
	15,49 (0,25 МПа) (0,181, 54,5)	18,69 (0,3 МПа) (0,220, 50,8)	21,93 (0,35 МПа) (0,270, 47,0)	25,20 (0,40 МПа) (0,300, 44,0)	28,52 (0,45 МПа) (0,340, 41,0)	31,88 (0,50 МПа) (0,385, 37,5)	35,28 (0,55 МПа) (0,425, 34,5)	38,73 (0,60 МПа) (0,470, 31,5)	42,24 (0,65 МПа) (0,520, 29,0)	45,82 (0,7 МПа) (0,560, 26,5)	49,47 (0,75 МПа) (0,607, 24,1)
-45	0,188	0,224	0,259								
-30	0,202	0,242	0,231	0,320	0,358	0,397	0,435	0,473			
-20	0,212	0,254	0,295	0,336	0,377	0,418	0,458	0,498	0,539	0,579	0,619
-15	0,217	0,260	0,302	0,344	0,386	0,428	0,470	0,511	0,553	0,595	0,636
-10	0,222	0,263	0,309	0,352	0,396	0,439	0,482	0,525	0,567	0,610	0,653
-8	0,224	0,268	0,312	0,356	0,399	0,443	0,486	0,530	0,573	0,616	0,659
-6	0,226	0,270	0,315	0,359	0,403	0,447	0,491	0,535	0,579	0,622	0,666
-4	0,227	0,272	0,317	0,362	0,407	0,451	0,496	0,540	0,584	0,628	0,672
-2	0,229	0,275	0,320	0,365	0,410	0,455	0,500	0,545	0,590	0,634	0,678
0	0,231	0,277	0,323	0,368	0,414	0,459	0,505	0,550	0,595	0,640	0,685
2	0,233	0,279	0,326	0,372	0,418	0,464	0,509	0,555	0,601	0,646	0,692
4	0,235	0,282	0,328	0,375	0,421	0,468	0,514	0,560	0,606	0,652	0,698
6	0,237	0,284	0,331	0,378	0,425	0,472	0,519	0,565	0,612	0,658	0,705
8	0,239	0,286	0,334	0,381	0,429	0,476	0,523	0,570	0,617	0,664	0,711
10	0,241	0,289	0,337	0,384	0,432	0,480	0,528	0,575	0,623	0,670	0,717
12	0,243	0,291	0,339	0,387	0,436	0,484	0,532	0,580	0,628	0,676	0,723
13	0,243	0,292	0,341	0,389	0,438	0,486	0,534	0,582	0,631	0,679	0,728
14	0,244	0,293	0,342	0,391	0,439	0,488	0,537	0,585	0,634	0,682	0,731
15	0,245	0,294	0,343	0,392	0,441	0,490	0,539	0,588	0,636	0,685	0,734
16	0,246	0,295	0,345	0,394	0,443	0,492	0,541	0,590	0,639	0,688	0,737
17	0,247	0,297	0,346	0,395	0,445	0,494	0,543	0,593	0,642	0,691	0,740
18	0,248	0,298	0,347	0,397	0,446	0,496	0,546	0,595	0,645	0,694	0,744
19	0,249	0,299	0,349	0,398	0,448	0,498	0,548	0,598	0,647	0,697	0,747
20	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,550	0,600	0,650	0,700	0,750
21	0,251	0,301	0,351	0,402	0,452	0,502	0,552	0,603	0,653	0,703	0,753
22	0,252	0,302	0,353	0,403	0,454	0,504	0,555	0,605	0,655	0,706	0,756
23	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456	0,506	0,557	0,607	0,658	0,709	0,760
24	0,254	0,305	0,355	0,406	0,457	0,508	0,559	0,610	0,661	0,712	0,763
25	0,255	0,306	0,357	0,408	0,459	0,510	0,561	0,612	0,664	0,715	0,766
26	0,256	0,307	0,358	0,409	0,461	0,512	0,563	0,615	0,666	0,718	0,769
27	0,257	0,308	0,359	0,411	0,463	0,514	0,566	0,617	0,669	0,721	0,772
28	0,258	0,309	0,361	0,413	0,464	0,516	0,568	0,620	0,672	0,724	0,775
29	0,258	0,310	0,362	0,414	0,466	0,518	0,570	0,622	0,674	0,726	0,779
30	0,259	0,311	0,364	0,416	0,468	0,520	0,572	0,625	0,677	0,729	0,782
40	0,268	0,323	0,377	0,431	0,485	0,540	0,604	0,669	0,734	0,798	0,863

Пример. Номинальная проектная плотность элегаза в аппарате 18,69 кг/м³ (0,3 МПа при 20 °С) – третья колонка таблицы – будет обеспечена при заполнении до абсолютного давления 0,260 МПа при минус 15 °С, 0,292 МПа при 13 °С и 0,311 при 30 °С.

Приложение 5.
(справочное)

Расчет нормативных параметров хроматографического разделения примесей в элегазе

1. Степень разделения пары кислород-азот контролирует достоверность определения концентрации кислорода. Степень разделения R в газовой хроматографии подсчитывается как кратность размещения полуширин соседних пиков $a_{1/2}$, взятых на середине высоты, на расстоянии между их максимумами

$$R = (t_{R2} - t_{R1}) / (a_{1/2}^{(2)} + a_{1/2}^{(1)})$$

где t_R – время выхода соседних пиков (1 и 2).

2. Эффективность хроматографической колонки обеспечивает остроту пика, а следовательно, достижение необходимого требования по чувствительности в сочетании с геометрией колонки. Эффективность хроматографических колонок в газовой хроматографии оценивается для каждого пика (компонента) числом теоретических тарелок N (тт) по выражению

$$N = 5,54 (t_R / a_{1/2})$$

3. Максимально определяемая концентрация оценивается для всех анализируемых компонентов как удвоенное наименьшее значение, которое может быть объективно зафиксировано в данном методе.

4. Повторяемость характеризует пригодность аналитической системы в целом. Повторяемость r двух соседних последовательно получаемых результатов (A_1 и A_2) на том же самом приборе оценивается как удвоенная разность между ними, деленная на их сумму, и выраженная в процентах

$$r = 200 (A_1 - A_2) / (A_1 + A_2)$$

Приложение 6.
(справочное)

Адсорбционные свойства цеолита NaX

Изотермы адсорбции воды цеолитом a_{NaX} (в граммах на грамм) выражены уравнениями во всем диапазоне относительной влажности p/p_s и в рабочем диапазоне температуры от -40 до $+60$ °С :

для $p/p_s < 0,0227$

$$a_{\text{NaX}} = 0,81[\exp(-1,35 \cdot 10^{-5} T^2)] / [2,1431 + 0,0013/(p/p_s)]$$

для $p/p_s > 0,0227$

$$a_{\text{NaX}} = (p/p_s)^{0,2081} \cdot 0,81 \exp(-1,35 \cdot 10^{-5} T^2)$$

где T – температура, К.

Приложение 7.
(обязательное)

Удельная максимальная приземная концентрация загрязнителя C_M и расстояние до нее от источника $x_{M,М}$ *) в условиях, близких к условиям эксплуатации элегазового оборудования

Высота трубы 20 м, скорость выброса 13 м/с						
Диаметр трубы, $D, м$	Производительность вентиляции		Перепад температуры 5 °С		Перепад температуры 10 °С	
	$м^3/с$	$м^3/ч$	$C_M, мг/м^3$	$x_{M,М}$	$C_M, мг/м^3$	$x_{M,М}$
0,5	2,55	9 185	0,137383	109	0,117277	124
0,6	3,67	13 226	0,108556	127	0,092691	144
0,7	5,00	18 002	0,088739	145	0,075738	163
0,8	6,33	23 512	0,074369	162	0,063436	182
0,9	8,27	29 758	0,063532	179	0,054164	200
1,0	10,2	36 738	0,055107	196	0,046970	219
1,2	14,7	52 903	0,042955	229	0,036632	254
1,4	20,0	72 007	0,034704	261	0,029667	289
1,6	26,1	94 049	0,028805	293	0,024735	324
1,8	33,1	119 031	0,024425	324	0,021113	358
2,0	40,8	146 031	0,021074	355	0,018381	391
2,5	63,8	229 613	0,015467	431	0,014101	466
3,0	91,9	330 642	0,012118	506	0,011781	513
3,5	125	450 041	0,010081	573	0,010111	557
4,0	163	587 808	0,008804	617	0,008853	598
4,2	180	648 058	0,008378	634	0,008432	614
4,8	235	846 444	0,007312	682	0,007377	660
5,0	255	918 450	0,007013	698	0,007081	674
6,0	367	1 322 568	0,005819	773	0,005894	744
6,5	431	1 552 181	0,005360	809	0,005437	778
Высота трубы 50 м, скорость выброса 15 м/с						
0,5	2,94	10 598	0,035519	169	0,029238	187
0,6	4,24	15 260	0,028394	196	0,023467	227
0,7	5,77	20 771	0,023477	221	0,019439	256
0,8	7,54	27 130	0,019886	246	0,016478	284
0,9	9,54	34 336	0,017156	270	0,014218	312
1,0	11,8	42 390	0,015014	294	0,012443	339
1,2	17,0	61 042	0,011886	341	0,009847	391
1,4	23,1	83 084	0,009726	387	0,008056	442
1,6	30,1	108 518	0,008156	431	0,006758	492
1,8	38,2	137 344	0,006971	475	0,005782	541
2,0	47,1	169 560	0,006050	518	0,005028	588
2,5	73,6	264 938	0,004469	624	0,003746	705
3,0	106	381 510	0,003485	726	0,002966	818
3,5	144	519 278	0,002829	827	0,002461	928
4,0	188	678 240	0,002370	925	0,002172	993
4,2	208	747 760	0,002224	964	0,002074	1017
4,8	271	976 666	0,001880	1080	0,001827	1087
5,0	294	1 059 750	0,001796	1116	0,001757	1109
6,0	424	1 526 040	0,001502	1228	0,001475	1216
6,5	498	1 790 978	0,001388	1280	0,001366	1266

*) В.Н.Шаприцкий. Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы. Справочник. М.: Металлургия, 1990.

Приложение 8.
(справочное)

Температурный коэффициент стратификации атмосферы на территории СССР

Коэффициент температурной стратификации атмосферы учитывает региональные неблагоприятные условия вертикального и горизонтального перемешивания примесей, поступающих в атмосферу, и принимается в соответствии с ОНД—86 равным:

250 — для районов Средней Азии южнее 40° с.ш., Бурятской АССР и Читинской области;

200 — для европейской территории страны, для районов РФ южнее 50° с.ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии, для азиатской территории РФ и стран СНГ;

180 — для европейской территории СНГ и Урала от 50 до 52° с.ш., за исключением районов Украины;

160 — для европейской территории РФ и стран Балтии (за исключением центра) и Урала севернее 52° с.ш., а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне от 50 до 52° с.ш. — 180, а южнее 50° с.ш. — 200);

140 — для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕГАЗОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРАТИВОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА В АППАРАТАХ В ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	2
1.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	2
1.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.....	4
1.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАЦИИ НА ЭЛЕГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИЛИ СБОРКУ, ИМЕЮЩУЮ ЕДИНЫЙ ГАЗОВЫЙ ОБЪЕМ.....	6
1.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБСЛУЖИВАНИЮ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	6
1.5. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	7
2. ПРАВИЛА УСТАНОВКИ ПАТРОНОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ В АППАРАТАХ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ И ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ.....	8
3. НОРМАТИВЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА В ОБОРУДОВАНИИ И ПЛАН МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА.....	9
4. ПРАВИЛА ОТБОРА ПРОБ ЭЛЕГАЗА НА АНАЛИЗ.....	11
4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	11
4.2. ОТБОР ПРОБЫ ЭЛЕГАЗА.....	11
4.3. МАРКИРОВКА.....	11
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ШЕСТИФТОРИСТОЙ СЕРЫ И КИСЛОРОДА.....	13
5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	13
5.2. МЕТОДИКА АНАЛИЗА.....	13
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ЭЛЕГАЗА.....	15
6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	15
6.2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИБОРА, рекомендованного МЭК.....	15
6.3. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ.....	16
6.4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ.....	16
6.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОСТИ ЭЛЕГАЗА В ОБОРУДОВАНИИ.....	16
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ЭЛЕГАЗА.....	20
7.1. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ТРУБОК.....	20
7.2. КАЛИБРОВКА ИНДИКАТОРНЫХ ТРУБОК.....	20
7.3. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КИСЛОТНОСТИ.....	21
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕГАЗА НОРМАТИВУ ВЛАЖНОСТИ.....	22
9. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	24
9.1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	24
9.2. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	30
9.3. УНИЧТОЖЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	33
10. СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	33
Приложение 1. Обозначения.....	34
Приложение 2. Свойства уплотнительных и изоляционных материалов.....	36
Приложение 3. Определение объема газового пространства оборудования.....	37
Приложение 4. Абсолютное давление элегаза, МПа, при температуре заполнения для обеспечения номинальной плотности.....	38
Приложение 5. Расчет нормативных параметров хроматографического разделения примесей в элегазе.....	39
Приложение 6. Адсорбционные свойства цеолита NaX.....	40
Приложение 7. Удельная максимальная приземная концентрация загрязнителя C_m и расстояние до нее от источника x_m в условиях, близких к условиям эксплуатации элегазового оборудования.....	41
Приложение 8. Температурный коэффициент стратификации атмосферы на территории СССР.....	42