ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 72541— 2026 (ИСО 12039:2019)**

# ВЫБРОСЫ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

## Определение массовых концентраций монооксида углерода, диоксида углерода и кислорода в отходящих газах. Эксплуатационные характеристики автоматических измерительных систем

**(ISO 12039:2019, MOD)**

**Издание официальное**

**Москва**
**Российский институт стандартизации**
**2026**

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха» (АО «НИИ Атмосфера») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 457 «Качество воздуха»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 февраля 2026 г. № 107-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 12039:2019 «Выбросы стационарных источников. Определение массовых концентраций монооксида углерода, диоксида углерода и кислорода в отходящих газах. Эксплуатационные характеристики автоматических измерительных систем» (ISO 12039:2019 «Stationary source emissions — Determination of the mass concentration of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygen in flue gas — Performance characteristics of automated measuring systems», MOD) путем внесения технических дополнений по отношению к применяемому международному стандарту, которые выделены курсивом. Перечень технических отклонений и объяснение причин их внесения приведены в дополнительном приложении ДА.

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДБ

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р ИСО 12039—2011

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

© ISO, 2019
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

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

## Содержание

1 Область применения . . . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . . . 1
3 Термины и определения . . . . . 2
4 Обозначения и сокращения . . . . . 4
5 Основные принципы . . . . . 5
6 Описание автоматических измерительных систем . . . . . 5
7 Эксплуатационные характеристики и критерии соответствия их значений требованиям . . . . . 6
8 Выбор процедуры и установки . . . . . 7
9 Обеспечение качества измерений и процедуры его контроля . . . . . 9
10 Протокол испытаний . . . . . 10
Приложение А (справочное) Метод инфракрасного поглощения (CO или $CO_2$) . . . . . 11
Приложение В (справочное) Метод прямого экстрактивного измерения $O_2$ . . . . . 16
Приложение С (справочное) Метод прямого экстрактивного измерения CO, $CO_2$ и $O_2$ . . . . . 21
Приложение D (обязательное) Рабочие газы . . . . . 24
Приложение Е (обязательное) Процедуры определения эксплуатационных характеристик . . . . . 25
Приложение F (обязательное) Примеры результатов оценки измерения CO, $CO_2$ или $O_2$ автоматической измерительной системой . . . . . 31
Приложение G (справочное) Расчет неопределенности измерения CO, $CO_2$ и $O_2$ . . . . . 36
Приложение ДА (справочное) Перечень технических отклонений, внесенных в содержание национального стандарта при его модификации по отношению к примененному международному стандарту . . . . . 42
Приложение ДБ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте . . . . . 43
Библиография . . . . . 44

## Введение

Монооксид углерода, диоксид углерода и кислород — это газы, которые содержатся в отходящих газах процессов сгорания. Определение содержания этих газов необходимо операторам для оптимизации условий процессов горения. Определение $O_2$ и $CO_2$ также необходимо для приведения содержания других контролируемых газов и пыли к заданным условиям. Существует большое количество методов для определения содержания $CO_2$, CO и $O_2$ в отходящих газах.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ВЫБРОСЫ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

# Определение массовых концентраций монооксида углерода, диоксида углерода и кислорода в отходящих газах. Эксплуатационные характеристики автоматических измерительных систем

Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygen in flue gas. Performance characteristics of automated measuring systems

**Дата введения — 2026—06—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает основные эксплуатационные характеристики автоматизированных измерительных систем для определения массовых концентраций монооксида углерода CO, диоксида углерода $CO_2$ и кислорода $O_2$ в отходящих газах стационарных источников выбросов. Настоящий стандарт также описывает порядок проведения и оборудование для измерения содержания газов.

Порядок проведения позволяет осуществлять непрерывный мониторинг с помощью постоянно установленных измерительных систем выбросов CO, $CO_2$ и $O_2$. Настоящий стандарт содержит описание экстрактивных систем и *in situ* (неэкстрактивных) систем, включающих газоанализаторы, принцип действия которых основан на одном из следующих методов:

- инфракрасной спектроскопии (CO и $CO_2$);
- парамагнитном методе ($O_2$);
- использовании оксида циркония ($O_2$);
- использовании электрохимической ячейки ($O_2$);
- диодно-лазерной абсорбционной спектроскопии (CO, $CO_2$ и $O_2$).

Допускается использование других методов измерения, обеспечивающих определение регламентируемых соединений с требуемой точностью и избирательностью.

*Настоящий стандарт не распространяется на проведение испытаний автоматических измерительных систем в целях утверждения типа и их поверок.*

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

*ГОСТ Р 8.958 Государственная система обеспечения единства измерений. Наилучшие доступные технологии. Автоматические измерительные системы для контроля вредных промышленных выбросов. Методы и средства испытаний*

*ГОСТ Р 8.959 Государственная система обеспечения единства измерений. Наилучшие доступные технологии. Автоматические измерительные системы для контроля вредных промышленных выбросов. Методика поверки*

*ГОСТ Р 8.960 Государственная система обеспечения единства измерений. Наилучшие доступные технологии. Метрологическое обеспечение автоматических измерительных систем для контроля вредных промышленных выбросов. Основные положения*

*ГОСТ Р 70803 Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Общие технические требования*

*ГОСТ Р 70804.1 Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Система сбора и обработки данных. Часть 1. Требования к системам сбора и обработки данных*

**Издание официальное**

*ГОСТ Р 70804.2 Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Система сбора и обработки данных. Часть 2. Требования к обработке данных и отчетности*

*ГОСТ Р 70805 Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Методика расчета массового выброса*

*ГОСТ Р ИСО 10396 Выбросы стационарных источников. Отбор проб при автоматическом определении содержания газов с помощью постоянно установленных систем мониторинга*

ГОСТ Р ИСО 14956 Качество воздуха. Оценка применимости методики выполнения измерений на основе степени ее соответствия требованиям к неопределенности измерения

*ГОСТ Р ЕН 15259 Качество воздуха. Выбросы стационарных источников. Требования к выбору измерительных секций и мест измерений, цели и плану измерений и составлению отчета*

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 ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **газоанализатор** (analyser): Аналитический блок в экстрактивной или *in situ* АИС для прямого измерения.

3.2 **автоматическая измерительная система** (automated measuring system): Измерительная система, которая при контакте с исследуемым отходящим газом, возвращает выходной сигнал, пропорциональный физической единице измеряемой величины, в автономном режиме.

*Примечания*

*1 См.* [*1*], *2.1.2.*

2 В настоящем стандарте АИС — это система, которая может быть установлена на газоходе или дымовой трубе для непрерывного или периодического измерения массовой концентрации CO, $CO_2$ и $O_2$.

3.3 ***in situ* АИС** (*in situ* AMS): Неэкстрактивные системы, измеряющие содержание целевого компонента непосредственно в газоходе или дымовой трубе без необходимости отбора и транспортировки проб.

Примечание — Неэкстрактивные системы проводят измерения либо в поперечном сечении трубы/газохода вдоль оптического пути излучения, либо в точке внутри трубы/газохода.

*3.4* ***экстрактивные АИС*** (*extractive AMS*): *Системы, измеряющие содержание целевого компонента в пробе отходящего газа, отобранной в трубе/газоходе и поданной на вход анализатора с помощью системы пробоотбора и транспортировки проб.*

*3.5* **параллельные измерения** (parallel measurements): Измерения, выполненные в одном и том же газоходе в одной и той же измерительной плоскости за тот же период времени с помощью проверяемой АИС и референтной методики (метода) в точках, расположенных на максимально возможном близком расстоянии друг от друга, с получением пар измеренных значений.

*3.6* **перекрестная чувствительность к помехам** (interference cross-sensitivity): Отрицательное или положительное влияние на отклик измерительной системы, вызванное компонентом пробы, не являющимся измеряемой величиной.

*3.7* **помеха (мешающее вещество)** (interferent, interfering substance): Вещество, присутствующее в исследуемом отходящем газе, содержание которого не является измеряемой величиной, но которое влияет на выходной сигнал АИС.

*3.8* **несоответствие** (lack-of-fit): Систематическое отклонение в пределах диапазона калибровки между результатами измерений, рассчитанными по калибровочной функции, построенной с применением сертифицированных стандартных образцов, и соответствующими аттестованными значениями этих стандартных образцов.

Примечания

1 Несоответствие может зависеть от результата измерения.

2 Термин «несоответствие» часто заменяется в повседневном языке для линейных отношений на «линейность» или «отклонение от линейности».

*3 См.* [*1*], *2.2.9.*

*3.9* **измеряемая величина** (measurand): Конкретная величина, подлежащая измерению.

*Примечание — См.* [*2*], *B.2.9.*

*3.10* **эксплуатационные характеристики** (performance characteristic): Технические характеристики оборудования, определяющие качество его работы.

Примечание — Эксплуатационные характеристики могут быть описаны значениями, допусками или диапазонами.

*3.11* **период автономной работы** (period of unattended operation): Максимальный интервал времени, в течение которого эксплуатационные характеристики остаются в заданном диапазоне без внешнего обслуживания.

***Пример — Заправка, регулировка.***

*Примечания*

*1 См.* [*1*], *2.2.11.*

*2* Период автономной работы часто называют интервалом технического обслуживания.

*3.12* **аттестованный (сертифицированный) стандартный образец** (reference material): *Стандартный образец с сопроводительной документацией, выданной авторитетным органом, в которой указано одно или более значений определенного свойства с соответствующими показателями точности (неопределенностями) измерений и прослеживаемостью, которые установлены с использованием обоснованных процедур.*

Примечание — Для целей настоящего стандарта используются аттестованные стандартные образцы — газовые смеси в баллонах под давлением, дифракционные решетки или оптические фильтры.

*3.13* **референтная методика (метод) измерений** (reference method): *Методика* (*метод*) *измерений, принятый для получения результатов измерений, которые могут быть использованы для оценки правильности измеренных значений величины, полученных по другим методикам* (*методам*) *измерений величин того же рода, а также для калибровки или для определения характеристик стандартных образцов.*

*3.14* **время транспортировки пробы (в измерительной системе)** (transport time <measuring system>): Период времени для транспортировки пробы отбираемого газа от пробоотборного зонда до входа аналитического блока АИС.

*3.15* **время отклика (при скачкообразном воздействии)** (response time): Интервал времени от момента, когда значение величины на входе средства измерений или измерительной системы скачкообразно изменяется до определенного уровня (значения), до момента, когда соответствующее показание средства измерений или измерительной системы достигает установившегося конечного значения и остается в заданных пределах.

Примечания

*1* Определяется как сумма времени задержки и времени нарастания в режиме увеличения сигнала либо времени задержки и времени спада в режиме уменьшения сигнала.

*2 См.* [*1*], *2.2.4.*

*3* Время задержки, время нарастания и время спада определены в [*1*].

*3.16* **газ для контрольной точки** (span gas): Газ или газовая смесь, используемые для настройки и проверки отклика измерительной системы.

Примечание — Контрольную точку выбирают в диапазоне от 70 % до 90 % от полной шкалы.

*3.17* **контрольная точка диапазона** (span point): Значение выходной величины (измеренного сигнала) автоматической измерительной системы, представляющее собой правильное измеренное значение, полученное с помощью сертифицированного стандартного образца, служащее для проверки настройки, калибровки и т. д.

*3.18* **стандартная неопределенность (измерений)** (standard uncertainty): Неопределенность результата измерения, выраженная в виде стандартного отклонения.

*Примечание — См.* [*2*], *2.3.1.*

*3.19* **неопределенность (измерений)** (uncertainty): Параметр, относящийся к результату измерения и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

*Примечание — См.* [2], *2.2.3.*

*3.20* **валидация автоматической измерительной системы** (validation of automated measuring system): Процедура проверки статистической взаимосвязи между значениями измеряемой величины, полученными с помощью автоматической измерительной системы, и соответствующими значениями, определенными методом параллельных измерений, проводимых одновременно в той же точке измерения или отбора проб.

*3.21* **нулевой газ** (zero gas): Газ или смесь газов, используемый(ая) для настройки нулевой точки на графике калибровочной характеристики в пределах заданного диапазона концентрации.

3.22 **нулевая точка** (zero point): Заданное значение выходной величины (измеренного сигнала) АИС, которое в отсутствие измеряемой величины представляет собой пересечение нуля на графике калибровочной характеристики.

*Примечание* — В случае АИС $O_2$ нулевая точка интерпретируется как наименьшее измеряемое значение.

## 4 Обозначения и сокращения

$e_i$ — параметр, характеризующий несоответствие для $i$-й точки диапазона;

$k$ — коэффициент охвата;

$N$ — количество измерений;

$s_r$ — стандартное отклонение повторяемости;

$u(\gamma_X)$ — суммарная неопределенность массовой концентрации $X$ (CO, $CO_2$ и $O_2$);

$U(\gamma_X)$ — расширенная неопределенность массовой концентрации $X$ (CO, $CO_2$ и $O_2$);

$M_X$ — молярная масса компонента $X$ (CO, $CO_2$ и $O_2$, г/моль);

$V_M$ — молярный объем (22,4 дм$^3$/моль при стандартных условиях, 273,15 К; 101,325 кПа);

$\varphi_X$ — объемная доля компонента $X$ (CO, $CO_2$ и $O_2$, %);

$\gamma_X$ — массовая концентрация CO, $CO_2$ и $O_2$ при стандартных условиях (273,15 К; 101,325 кПа), мг/м$^3$;

$\gamma_R$ — массовая концентрация CO, $CO_2$ и $O_2$ при стандартных условиях (273,15 К; 101,325 кПа; с поправкой на содержание $H_2O$), мг/м$^3$;

$\overline{x}$ — среднее значение измеренных значений $x_i$;

$x_i$ — измеренное значение $i$;

$\overline{x}_i$ — среднее значение измеренного значения на уровне $i$;

$\dot{x}_i$ — значение, оцениваемое линией регрессии на уровне $i$;

АИС — автоматическая измерительная система;

ДЛС — диодно-лазерная абсорбционная спектроскопия;

ИК — инфракрасный;

ИКПФ — ик-спектроскопия с преобразованием Фурье;

КГФ — корреляция газового фильтра;

КК — контроль качества;

НДИК — недисперсионная ИК-спектроскопия;

ОК — оценка качества;

ПТФЭ — политетрафторэтилен;

ПФА — перфторалкоксиалкан;

ФИФ ОЕИ — Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

## 5 Основные принципы

*Примечание — Общие сведения о составе и функциональной структуре систем автоматического контроля выбросов и основных технических требований к ним приведены в ГОСТ Р 70803, ГОСТ Р 70804.1, ГОСТ Р 70804.2, ГОСТ Р 70805.*

Настоящий стандарт устанавливает требования к АИС отбора и подготовки проб для определения содержания CO, $CO_2$ и $O_2$ в отходящих газах с использованием инструментальных методов (газоанализаторов).

Существует два вида АИС, отличающихся наличием или отсутствием устройств пробоотбора, а также местом размещения газоанализатора:

- экстрактивные;
- неэкстрактивные (*in situ*).

В экстрактивных системах представительная проба газа отбирается из трубы/газохода с помощью пробоотборного зонда и, через линию транспортировки проб и устройство пробоподготовки (*при необходимости*), передается в газоанализатор, который находится вне стационарного источника (трубы/газохода).

Оборудование систем *in situ*, включая газоаналитический блок, размещается на стационарном источнике (трубе/газоходе) и не содержит линий транспортировки проб. *При установке систем обоих видов необходимо выбрать определенное место на газоходе, обеспечивающее представительность состава отходящего газа по ГОСТ Р ЕН 15259.*

Системы, описанные в настоящем стандарте, измеряют концентрацию CO, $CO_2$ и $O_2$ с помощью инструментальных методов, значения эксплуатационных характеристик которых должны соответствовать минимальным значениям, *указанным в разделе 7.*

## 6 Описание автоматических измерительных систем

### 6.1 Системы отбора и подготовки проб газа

Системы отбора и подготовки проб газа для экстрактивных систем и схемы размещения измерительного оборудования для двух типов неэкстрактивных систем (*с измерением в точке и вдоль оптической линии прохождения излучения*) должны соответствовать *ГОСТ Р ИСО 10396.*

В экстрактивных системах пробы отходящего газа подвергают обработке с удалением аэрозолей, твердых частиц и других мешающих веществ перед подачей в приборы. *В зависимости от характеристик проб, поступающих на вход газоанализатора*, различают три типа экстрактивных систем по *ГОСТ Р ИСО 10396*:

a) холодный/сухой;

b) горячий/влажный;

c) с разбавлением пробы.

*Неэкстрактивные системы проводят измерения непосредственно в газоходе/трубе и наличие линий транспортировки проб и устройств пробоподготовки не требуется. Неэкстрактивные системы с измерениями в точке оборудованы зондом для локализации места измерений и обеспечения диффузионного контакта измерительной ячейки газоанализатора с потоком отходящего газа по ГОСТ Р ИСО 10396. В случае значительного содержания взвешенных веществ зонд может быть дополнительно оборудован фильтром для очистки потока газа, поступающего в измерительную ячейку газоанализатора.*

*Подробные сведения об экстрактивных системах приведены в приложении А; информация о двух типах типа систем in situ* (*с измерениями в точке и вдоль оптического пути излучения*) *представлена в приложении В*. В приложении С показаны два типа систем *in situ*.

### 6.2 Газоанализаторы

Примеры доступных газоанализаторов описаны в приложениях А, В и С.

Газоанализаторы и системы отбора проб (для экстрактивных систем) газоанализаторов должны соответствовать минимальным значениям эксплуатационных характеристик, указанным в разделе 7.

*При использовании настоящего стандарта требуется применение рабочих газов, характеристики которых приведены в приложении D.*

# 7 Эксплуатационные характеристики и критерии соответствия их значений требованиям

## 7.1 Критерии соответствия требованиям

В таблице 1 приведены основные эксплуатационные характеристики и критерии их соответствия требованиям настоящего стандарта для газоанализатора и измерительной системы, подлежащие оценке в ходе проверки функционирования посредством процедур ОК/КК в лаборатории и в процессе эксплуатации на объекте. Эксплуатационные характеристики на соответствие критериям оценивают посредством постоянного КК измерений с помощью АИС. Процедуры оценки приведены в приложении Е.

Таблица 1 — Основные эксплуатационные характеристики АИС для измерений CO, $CO_2$ и $O_2$ и критерии их соответствия требованиям настоящего стандарта

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | | Процедура оценки |
|---|---|---|---|
| | CO и $CO_2$ | $O_2$ | |
| Время отклика | ≤ 200 с | ≤ 200 с | Е.2 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке | ≤ 2,0 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения[a] | ≤ 0,2 % для объемной концентрации $O_2$[b] | Е.3.2 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | | | Е.3.3 |
| Несоответствие (линейность) | | | Е.4 |
| Дрейф нулевой точки в течение 24 часов | | | Е.8 |
| Дрейф точки диапазона в течение 24 часов | ≤ 2,0 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | ≤ 0,2 % для объемной концентрации $O_2$ | Е.8 |
| Дрейф нулевой точки в течение периода автономной работы | ≤ 3,0 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | | Е.9 |
| Дрейф точки диапазона в течение периода автономной работы | | | Е.9 |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа, при изменении давления на 2 кПа | | | Е.11 |
| Чувствительность к потоку анализируемого газа для экстрактивной АИС | ≤ 2,0 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | | Е.12 |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К в диапазоне температур, указанном производителем | ≤ 3,0 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | ≤ 0,3 % для объемной концентрации $O_2$ | Е.13 |
| Чувствительность к электрическому напряжению, указанному производителем | ≤ 2,0 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | ≤ 0,2 % для объемной концентрации $O_2$ | Е.14 |
| Перекрестная чувствительность | ≤ 4,0 % верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | ≤ 0,2 % для объемной концентрации $O_2$ | Е.5 |

*Окончание таблицы 1*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | | Процедура оценки |
|---|---|---|---|
| | CO и $CO_2$ | $O_2$ | |
| Потери и утечки в пробоотборной линии и системе кондиционирования | ≤ 2,0 % от измеренного значения | — | E.6 для потерь, E.7 для утечек |
| Отклонение измерительного потока поперечного сечения установки АИС | ≤ 2,0 % от измеренного значения самого низкого используемого диапазона измерения | | E.10 |
| [a] Процентное значение как процент от верхнего предела самого низкого используемого диапазона измерений.<br>[b] Процентное значение как объемная концентрация кислорода (объемная доля). | | | |

Диапазон измерения определяется двумя значениями измеряемой величины или величины, которую следует получить, в пределах которых установлены границы неопределенности измерений средства измерений. Верхний предел самого низкого используемого диапазона измерения должен быть установлен таким образом, чтобы значения величин находились в пределах от 20 % до 80 % диапазона измерений.

### 7.2 Определение эксплуатационных характеристик

#### 7.2.1 Оценка значений эксплуатационных характеристик

Эксплуатационные характеристики АИС определяют по процедурам, приведенным в приложении Е.

Значения эксплуатационных характеристик должны соответствовать критериям, указанным в таблице 1.

При определении эксплуатационных характеристик документируют условия окружающей среды.

Неопределенность измерения измеренных значений АИС рассчитывают в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 14956* при оценке значений эксплуатационных характеристик, и она должна соответствовать значению неопределенности в рамках предполагаемого использования. В ходе оценки значений эксплуатационных характеристик неопределенность измерения должна соответствовать уровню погрешности, приемлемому для предполагаемого использования. Характеристики могут быть определены либо производителем, либо пользователем.

#### 7.2.2 Постоянный контроль качества

Пользователь должен проверять конкретные эксплуатационные характеристики во время непрерывной работы измерительной системы с периодичностью, указанной в таблице 2.

Неопределенность измерений при применении в полевых условиях должна определяться пользователем измерительной системы в соответствии с применимыми международными или национальными стандартами. Для мониторинга процесса (нерегулируемое применение) значение неопределенности должно соответствовать предполагаемому использованию. Его определяют прямым или косвенным подходом к оценке неопределенности (см. [*3*]). Неопределенность измеренных значений при эксплуатации в полевых условиях зависит не только от эксплуатационных характеристик самого газоанализатора, но и от факторов неопределенности, связанных:

- с линией отбора и подготовки проб;
- специфическими условиями места отбора;
- сертифицированными стандартными образцами — газовыми смесями в баллонах под давлением, используемыми для калибровки.

*Примеры результатов оценки измерения газов АИС приведены в приложении F.*

*Примеры характеристик автоматических измерительных систем приведены в приложении G.*

## 8 Выбор процедуры и установки

### 8.1 Выбор измерительной системы

Для выбора подходящего газоанализатора, пробоотборной линии и блока кондиционирования необходимо до начала измерения учитывать следующие характеристики отходящих газов:

- диапазон температуры воздуха окружающей среды;
- диапазон температуры отходящих газов;
- содержание водяного пара в отходящих газах;

- запыленность отходящих газов;
- ожидаемый диапазон концентраций CO, $CO_2$ и $O_2$;
- ожидаемая концентрация потенциально мешающих веществ.

Чтобы избежать длительного времени отклика и эффектов памяти, линия отбора проб должна быть максимально короткой. При необходимости следует использовать байпасный насос. Если в анализируемом газе содержится большое количество пыли, следует использовать соответствующий подогреваемый фильтр.

Перед мониторингом выбросов пользователь должен убедиться, что были выполнены необходимые процедуры ОК/КК.

### 8.2 Отбор проб

#### 8.2.1 Место отбора проб

Место отбора проб должно быть доступным пространством для размещения оборудования для отбора проб и газоанализатора. Кроме того, место отбора проб следует выбирать с учетом безопасности персонала, доступности и наличия электроэнергии.

#### 8.2.2 Представительный отбор проб

Необходимо убедиться, что место, в котором осуществляются измерения концентрации CO, $CO_2$ и $O_2$ в отходящем газе (при использовании систем *in-situ*), или отбор проб (при использовании экстрактивных систем) относятся к представительным измерительным точкам.

Примечание — Выбор точек для представительного отбора с учетом неоднородности состава отходящего газа, колебаний его расхода, температуры и других параметров приведен в *ГОСТ Р ИСО 10396* и *ГОСТ Р ЕН 15259*.

### 8.3 Расчет

#### 8.3.1 Расчет преобразования объемной доли в массовую концентрацию CO

Результаты измерения CO выражают в единицах массовой концентрации при нормальных условиях.

Если концентрацию CO определяют в единицах объемной доли ($10^{-6}$) $\varphi_{CO}$, то для перерасчета в массовые концентрации $\gamma_{CO}$, мг/м$^3$, следует использовать формулу

$$\gamma_{CO} = \varphi_{CO} \cdot \frac{M_{CO}}{V_M}, \quad (1)$$

где $\varphi_{CO}$ — объемная доля CO (по объему, $10^{-6}$);

$M_{CO}$ — молярная масса CO (28,010 г/моль);

$V_M$ — молярный объем (22,4 дм$^3$/моль при 273,15 К; 101,325 кПа).

#### 8.3.2 Преобразование концентраций CO, $CO_2$ и $O_2$ из влажных условий в сухие

Концентрация CO, измеренная во влажном газе $\gamma_{CO}$, мг/м$^3$, должна быть скорректирована до концентрации CO при стандартных условиях по формуле

$$\gamma_S = \gamma_{CO} \cdot \frac{T}{273{,}15} \cdot \frac{101{,}325}{101{,}325 + p}, \quad (2)$$

где $\gamma_S$ — массовая концентрация CO при стандартных условиях, мг/м$^3$ (273,15 К; 101,325 кПа; с поправками на влажность);

$T$ — температура, К;

$p$ — разница между статическим давлением анализируемого газа и стандартным давлением, кПа.

При необходимости концентрацию CO, измеренную во влажном газе, следует скорректировать до концентрации CO в исходных условиях (сухой газ) $\gamma_r$, мг/м$^3$ (273,15 К; 101,325 кПа; с поправками на влажность) по формуле

$$\gamma_r = \gamma_{CO} \cdot \frac{T}{273{,}15} \cdot \frac{101{,}325}{101{,}325 + p} \cdot \frac{100\ \%}{100\ \% - h}, \quad (3)$$

где $\gamma_{CO}$ — массовая концентрация CO во влажном газе, мг/м$^3$;

$T$ — температура, К;

$p$ — разница между статическим давлением анализируемого газа и стандартным давлением, кПа;

$h$ — значение относительной влажности (об.доля), %.

Концентрация CO, измеренная во влажном газе, должна быть пересчитана в концентрацию CO при стандартных условиях (сухой газ) по формуле (3), с заменой $\gamma_{CO}$ на $CO_2$ или $O_2$.

## 9 Обеспечение качества измерений и процедуры его контроля

### 9.1 Общие положения

ОК/КК важны для того, чтобы гарантировать, что неопределенность измеренных значений CO, $CO_2$ и $O_2$ сохраняется в пределах, установленных для задачи измерения. Результаты процедур ОК/КК должны быть задокументированы.

### 9.2 Частота проверок

АИС следует регулировать и проверять после установки, а затем во время непрерывной эксплуатации. В таблице 2 представлены минимально необходимые процедуры ОК/КК и их периодичность. В процедурах ОК/КК необходимо использовать сертифицированные стандартные образцы, характеристики которых обеспечивают значения неопределенности измерений, указанные в приложении Е. Результаты процедур ОК/КК должны быть задокументированы.

Таблица 2 — Минимальная частота проверок ОК/КК во время работы

| Параметры | Минимальная частота | Процедура оценки |
|---|---|---|
| Время отклика | Раз в год | Е.2 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке | | Е.3.2 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | | Е.3.3 |
| Несоответствие | Раз в год и после внесения значительных изменений или ремонта АИС, которые могут существенно повлиять на полученные результаты | Е.4 |
| Степень герметичности системы отбора проб | Раз в год и после внесения значительных изменений или ремонта АИС, которые могут существенно повлиять на целостность системы отбора проб | Е.7 |
| Выравнивание потока (только для АИС *in situ*) | Раз в год | Согласно требованиям производителя |
| Ослабление интенсивности света за счет чистоты и запыленности (только *in situ* АИС) | В соответствии с требованиями производителя или периодом, указанным в национальном стандарте | Согласно требованиям производителя |
| Очистка или замена фильтров | Фильтры твердых частиц необходимо периодически менять в зависимости от запыленности в месте отбора проб. Во время этой замены фильтра необходимо очищать корпус фильтра | Согласно требованиям производителя |
| Дрейф нуля[a] | Один раз в период автономной работы или в период, указанный в национальном стандарте | Е.8 |
| Дрейф точки[a] | | |
| Регулярное обслуживание газоанализатора | Согласно рекомендациям производителя | |

[a] Для этого определения газоанализаторы можно проверить с помощью внутренних ячеек или оптических фильтров.

Пользователь должен реализовать процедуру, гарантирующую, что используемые стандартные образцы соответствуют требованиям неопределенности, указанным в приложении Е, например, по сравнению с эталонным газом более высокого качества.

### 9.3 Калибровка, валидация и неопределенность измерений

Калибровку и валидацию АИС следует выполнять ежегодно и после ремонта анализатора в соответствии с применимыми национальными или международными стандартами.

*Примечание — В Российской Федерации АИС для контроля выбросов должны соответствовать требованиям, установленным законодательством по обеспечению единства измерений (см. [4]), что предполагает необходимость испытаний АИС в целях утверждения типа и ее поверку. Кроме того, АИС должна обеспечивать выполнение обязательных метрологических требований к измерениям, установленным Правительством Российской Федерации для измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (см. [5]).*

Стационарно установленная АИС для непрерывного мониторинга должна быть откалибрована и утверждена путем сравнения:

a) с независимым методом измерения или

b) сертифицированным стандартным образцом.

В любом случае валидация должна включать определение неопределенности измеренного значения, полученного при калибровке АИС. Перед каждой калибровкой АИС должна подвергаться регулировкам и испытаниям эксплуатационных характеристик в соответствии с 9.2. Это гарантирует, что неопределенность измерения является представительной для применения на конкретном предприятии.

Валидация должна включать оценку неопределенности измерений путем использования в качестве объекта измерений сертифицированного стандартного образца — газовой смеси в баллоне под давлением.

*Примечание — Процедуры испытаний и поверки, а также общие требования к метрологическому обеспечению АИС приведены в ГОСТ Р 8.960, ГОСТ Р 8.958, ГОСТ Р 8.959.*

Неопределенность измеренных значений должна соответствовать критерию неопределенности, установленному для цели измерения.

*Примечание — В Российской Федерации к обязательным метрологическим требованиям к измерениям, выполняемым в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, относятся диапазон и пределы допускаемой погрешности измерений (см. [5]).*

## 10 Протокол испытаний

Если не указано иное, протокол испытаний должен включать по крайней мере следующую информацию:

a) ссылку на настоящий стандарт;

b) описание цели измерения;

c) принцип отбора проб газа;

d) информацию о газоанализаторе, описание линии отбора и подготовки проб;

e) идентификационные данные используемого газоанализатора и его эксплуатационные характеристики согласно таблице 1;

f) рабочий диапазон;

g) температуру и давление измеряемого газа, а также длину пути через оптическую ячейку (требуется только для измерения *in situ*);

h) подробные сведения о качестве и концентрации используемых газовых смесей для процедур ОК/КК;

i) описание установки и процесса;

j) идентификацию плоскости отбора проб и ее расположение;

k) действия, предпринятые для получения представительных проб;

l) описание расположения точки(ек) отбора проб в плоскости;

m) описание рабочих условий производственного процесса;

n) изменения в работе предприятия во время отбора проб;

o) дату, время и продолжительность отбора проб;

p) усредненные значения за соответствующие периоды времени;

q) измеренные значения;

r) неопределенность измерения;

s) результаты проверок ОК/КК;

t) любые отклонения от настоящего стандарта.

**Приложение А**
**(справочное)**

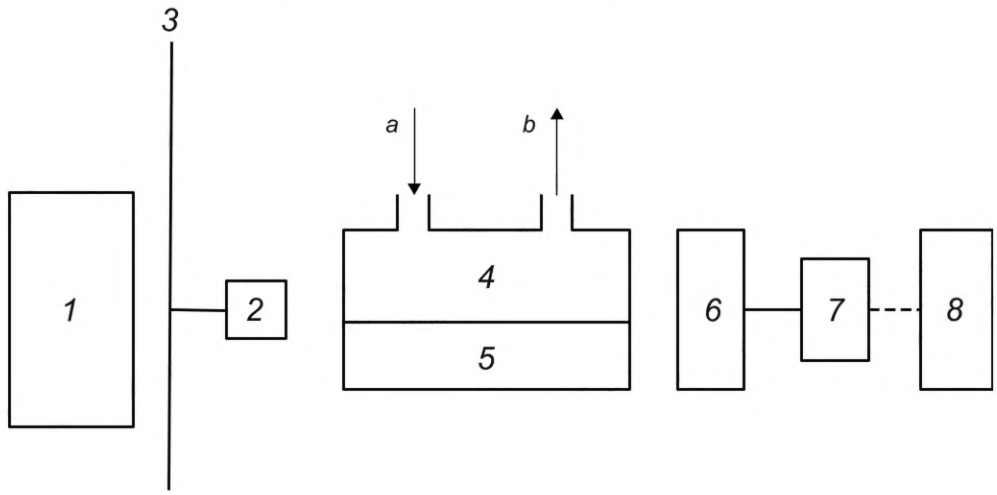
## Метод инфракрасного поглощения (CO или $CO_2$)

### А.1 Метод недисперсионной инфракрасной спектроскопии

Метод НДИК основан на том, что газы, состоящие из молекул с разными атомами, поглощают ИК-излучение с уникальной длиной волны. Метод измерения включает аспекты, перечисленные в *А.1.1—А.1.3.*

***А.1.1*** **Двухлучевой метод**

Излучение, испускаемое ИК-источником, разделяется на два луча, а затем модулируется: один пучок проходит через ячейку с пробой, а другой — через эталонную ячейку, содержащую газ, неактивный в ИК-излучении, обычно азот. Если проба газа содержит CO или $CO_2$, часть энергии ИК-излучения поглощается и разница в энергии ИК-излучения, достигающей детектора, пропорциональна количеству присутствующего CO или $CO_2$. Детектор разработан таким образом, что он чувствителен только к длинам волн, специфичным для CO или $CO_2$.




*1* — ИК-источник; *2* — двигатель прерывателя; *3* — прерыватель или диск прерывателя; *4* — ячейка с пробой; *5* — эталонная ячейка; *6* — детектор; *7* — датчик; *8* — дисплей; *a* — входное отверстие для пробы газа; *b* — выходное отверстие

Рисунок А.1 — Схема двухлучевого газоанализатора НДИК

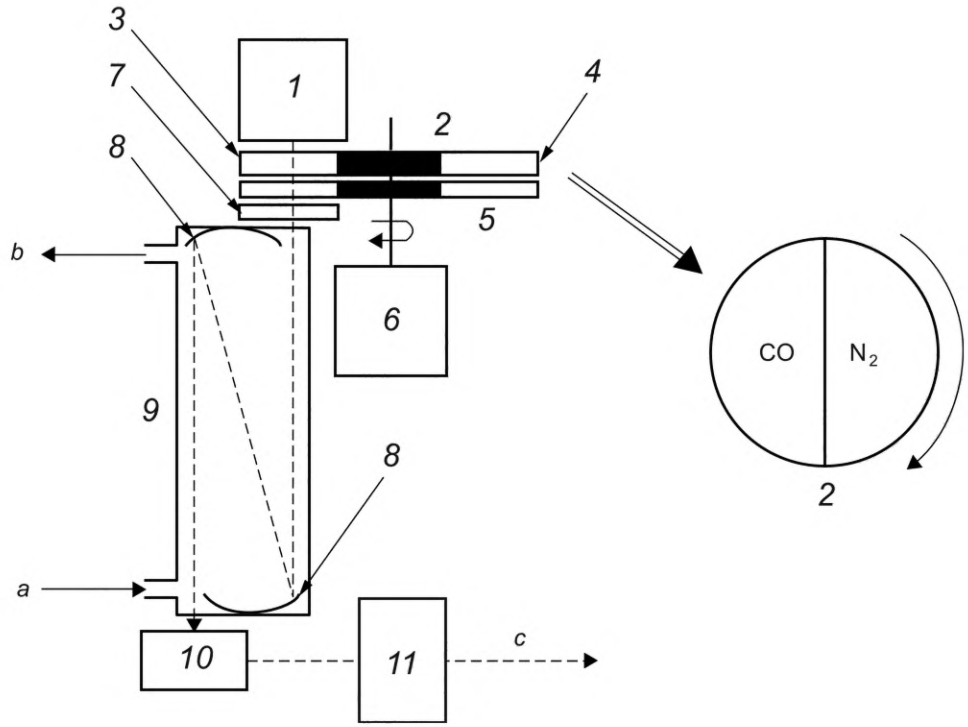
***А.1.2*** **Однолучевой метод**

Существует как минимум три типа однолучевых методов:

- использование интерференционных фильтров, причем один фильтр используется в полосе поглощения измеряемого газа, а другой — в эталонной длине волны. Тогда концентрация газа является функцией отношения измеренной и эталонной длин волн. Вместо нескольких фильтров можно использовать настраиваемый фильтр с изменяющейся длиной волны полосы пропускания;

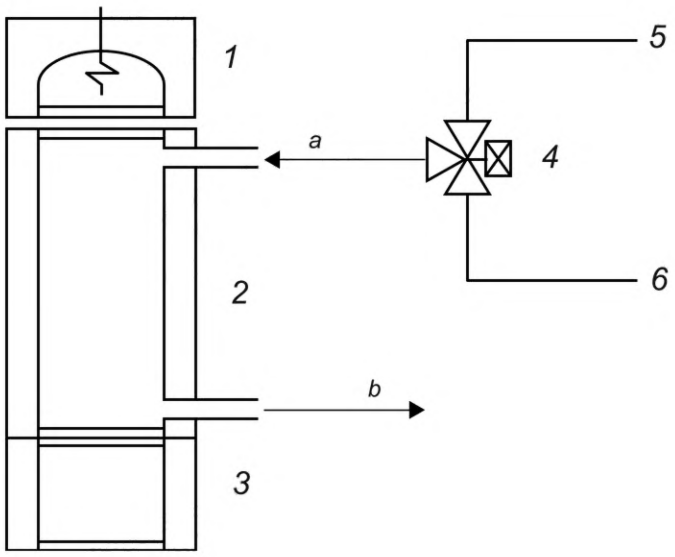
- в методе КГФ фильтр измерительных помех заменяется газовым фильтром; в остальном метод подобен предыдущему. Газоанализатор состоит из газовых корреляционных фильтров, которые состоят из фильтра анализируемого газа, заполненного высоким уровнем измеряемого газа, включая CO или $CO_2$, фильтра эталонного газа, заполненного корреляционным нулевым газом — азотом $N_2$, и колеса прерывателя. После введения анализируемого газа в измерительную ячейку корреляционные фильтры газа и колесо прерывателя постоянно вращаются. Газоанализатор измеряет дифференциальное ИК-поглощение луча, который попеременно проходит через фильтр анализируемого газа и фильтр эталонного газа. Это дает лучшую чувствительность и уменьшает эффекты перекрестной чувствительности. Для минимизации влияния мешающих газов можно использовать дополнительные газовые фильтры;

- недисперсионный ИК-газоанализатор с перекрестной модуляцией определяет разницу в поглощении ИК-излучения, вызванную поочередным введением в измерительную ячейку анализируемого газа и эталонного газа (например, воздуха с удаленным оксидом азота, $SO_2$ и т.д.). Измеренная разность представляет собой концентрацию, обусловленную измеряемой величиной, и таким образом устраняется влияние мешающих компонентов.




*1* — ИК источник; *2* — газовый корреляционный фильтр; *3* — фильтр пробы газа; *4* — эталонный газовый фильтр; *5* — прерыватель; *6* — мотор; *7* — оптический фильтр; *8* — зеркало; *9* — ячейка для пробы; *10* — детектор; *11* — усилитель; *a* — вход пробы газа; *b* — выход газа; *c* — выходной сигнал

Рисунок А.2 — Схема газоанализатора НДИК корреляционного типа с газовым фильтром



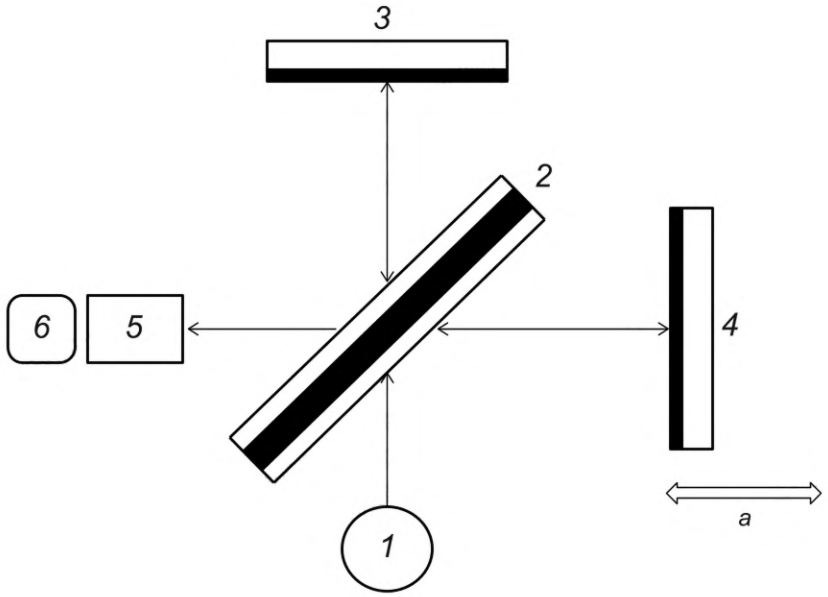

*1* — ИК-источник; *2* — ячейка для пробы; *3* — оптический фильтр и детектор; *4* — электромагнитный клапан; *5* — проба газа; *6* — эталонный газ; *a* — вход пробы газа; *b* — выход газа

Рисунок А.3 — Схема газоанализатора НДИК с перекрестной модуляцией

***А.1.3*** **Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье**

В двухлучевом интерферометре, обычно используемом для ИКПФ, свет, излучаемый ИК-источником, коллимируется и направляется на светоделитель. Часть света проходит через светоделитель к зеркалу, а остальная часть света отражается к другому зеркалу. В зависимости от конструкции интерферометра одно или несколько

зеркал могут перемещаться, и в результате лучи проходят разные расстояния. Когда два луча отражаются обратно к светоделителю, между ними возникает разность фаз. Комбинированный выходной пучок, выходящий из интерферометра, будет иметь разную интенсивность в зависимости от разности оптических путей (положения зеркала). Этот сигнал переменной интенсивности называется интерферограммой, и он связан со спектром длин волн посредством преобразования Фурье. Спектр получают путем записи интерферограммы, применения к ней некоторой цифровой обработки сигнала (фильтрация, фазовая коррекция) и вычисления его обратного преобразования Фурье. Полученный спектр сравнивают со спектрами из установленной библиотеки для определения концентрации интересующих газов (CO или $CO_2$).




*1* — ИК-источник; *2* — светоделитель (полусеребристое зеркало); *3* — неподвижное зеркало; *4* — движущееся зеркало; *5* — ячейка для пробы; *6* — детектор; *a* — направление движения

Рисунок А.4 — Схема ИК-газоанализатора с преобразованием Фурье

**А.2 Описание автоматической измерительной системы**

**А.2.1 Холодная/сухая экстрактивная система**

Представительный объем отходящего газа отбирается из источника выбросов с контролируемой скоростью потока. Пыль, присутствующая в отобранном объеме, удаляется фильтрацией, прежде чем проба газа кондиционируется и поступает в аналитический прибор. На рисунке А.5 показана схема измерительной системы с различными возможностями реализации.

**А.2.2 Горячая/влажная экстрактивная система**

При использовании газоанализаторов с подогреваемой кюветой для проб (для ИКПФ, НДИК и др.) применяют АИС, показанную на рисунке А.6.

**А.3 Компоненты систем отбора проб и подготовки газа для отбора проб**

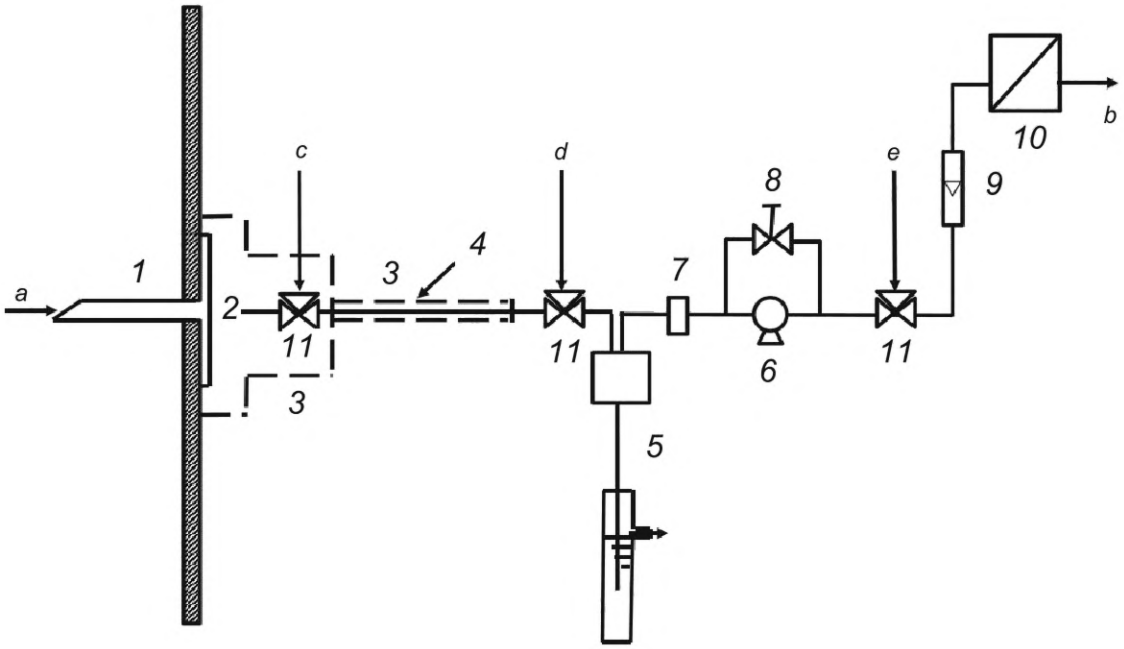
**А.3.1 Пробоотборный зонд**

Пробоотборный зонд должен быть изготовлен из подходящего коррозионно-стойкого материала (например, нержавеющей стали, боросиликатного стекла, керамики; ПТФЭ подходит только для работы с температурой отходящих газов ниже 200 °С).

**А.3.2 Фильтр**

Фильтр необходим для удаления твердых частиц и защиты системы отбора проб и газоанализатора. Фильтр должен быть изготовлен из керамики, ПТФЭ, боросиликатного стекла или спеченного металла. Он должен нагреваться выше точки росы воды или кислоты. Рекомендуется использовать фильтр, который задерживает частицы размером более 2 мкм. Размер фильтра определяется исходя из требуемого расхода пробы и данных производителя о расходе на единицу площади.

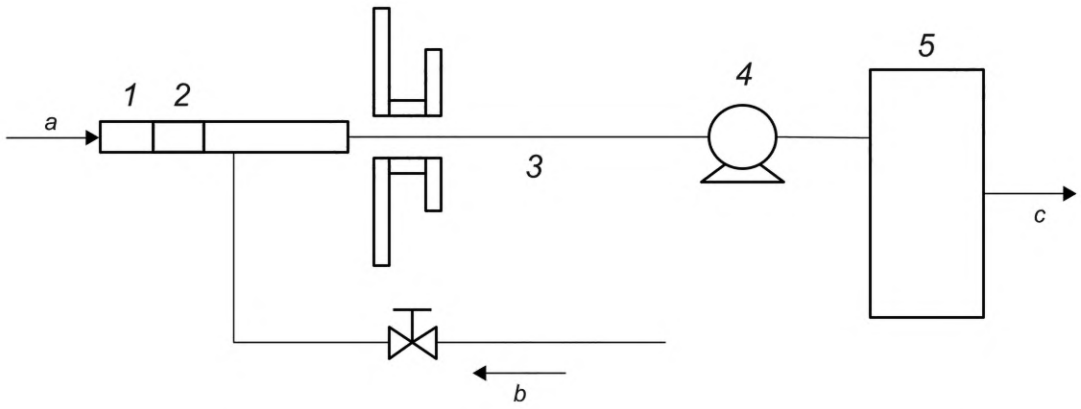
Температура пробоотборника и фильтра должна быть как минимум на 10 °С — 20 °С выше точки росы воды или кислоты в газах.




*1* — пробоотборник; *2* — первичный фильтр; *3* — система нагревания (при необходимости); *4* — линия отбора проб (подогреваемая при необходимости); *5* — система охлаждения с отводом влаги; *6* — насос; *7* — вторичный фильтр; *8* — игольчатый клапан; *9* — расходомер; *10* — газоанализатор; *11* — клапан; *a* — вход для пробы газа; *b* — выход газа; *c* — вход для нулевого газа и газовых смесей, используемых для калибровки (желательно перед соплом) для проверки всей системы; *d* — вход для нулевого газа и газовых смесей, для проверки системы кондиционирования и газоанализатора; *e* — вход для нулевого газа и газовых смесей, используемых для калибровки

***Пример — Экстрактивная система холодного/сухого типа.***

Рисунок А.5 — Схема измерительной системы




*1* — пробоотборник с подогревом (при необходимости); *2* — фильтр (внутри или вне сечения); *3* — линия отбора проб с подогревом; *4* — насос, подогреваемый; *5* — газоанализатор с подогреваемой ячейкой для проб; *a* — вход пробы газа; *b* — вход нулевого и калибровочного газа; *c* — выход газа

***Пример — Горячая/влажная экстрактивная система***

Рисунок А.6 — Пример системы экстрактивного отбора проб с использованием нагревателя

**А.3.3 Линия отбора проб**

Линия отбора проб должна быть изготовлена из ПТФЭ, ПФА или нержавеющей стали. Она должна работать при температуре на 15 °С выше точки росы конденсируемых веществ (обычно точки росы для воды или кислоты). Диаметр трубки должен быть подобран таким образом, чтобы обеспечить расход, соответствующий требованиям газоанализаторов, при выбранной длине линии и степени падения давления в линии, а также производительности используемого насоса для отбора проб.

**А.3.4 Система удаления влаги**

Система удаления влаги должна использоваться для отделения водяного пара от отходящего газа. Точка росы должна быть значительно ниже температуры окружающей среды. Рекомендуется относительная влажность, эквивалентная температуре охлаждения от 2 °С до 5 °С. Охлаждение применяют для объема отбираемого газа с учетом содержащегося в нем водяного пара.

Для горячей/влажной экстракции (см. А.2.2) система удаления влаги не используется.

**А.3.5 Насос для отбора проб**

Насос для отбора проб используется для непрерывного отбора пробы из канала через систему отбора проб. Это может быть мембранный насос, насос с металлическим сильфоном, эжекторный насос или другие типы. Насос должен быть изготовлен из коррозионно-стойкого материала. Эксплуатационные характеристики насоса должны соответствовать требуемым значениям потока газа для газоанализатора. Чтобы сократить время транспортировки по линии отбора проб и снизить риск физико-химических изменений пробы, расход газа может быть больше, чем требуется для аналитических установок.

Для системы горячей/влажной экстракции (см. А.2.2) насос должен работать при температуре не менее 180 °С.

**А.3.6 Вторичный фильтр**

Вторичный фильтр необходим для удаления оставшихся твердых частиц с целью защиты насоса и газоанализатора. Рекомендуется использовать фильтр, задерживающий частицы размером более 1 мкм. Приемлемыми материалами являются ПТФЭ, боросиликатное стекло или металлокерамика. Размер фильтра должен определяться исходя из требуемого расхода пробы и данных производителя о расходе на единицу площади.

**А.3.7 Регулятор расхода и расходомер**

Для установки необходимого расхода используются регулятор расхода и расходомер. Они должны быть изготовлены из коррозионно-стойкого материала.

**Приложение В**
**(справочное)**

## Метод прямого экстрактивного измерения $O_2$

### В.1 Принцип измерения, основанный на использовании парамагнитных, оксидно-циркониевых и электрохимических элементов

#### В.1.1 Парамагнитный метод ($O_2$)

Кислород обладает сильными парамагнитными свойствами и притягивается магнитным полем. Все остальные газы, за редким исключением, являются либо слабыми парамагнитными, либо диамагнитными. Это свойство может быть использовано для проведения анализа, специфичного для кислорода.

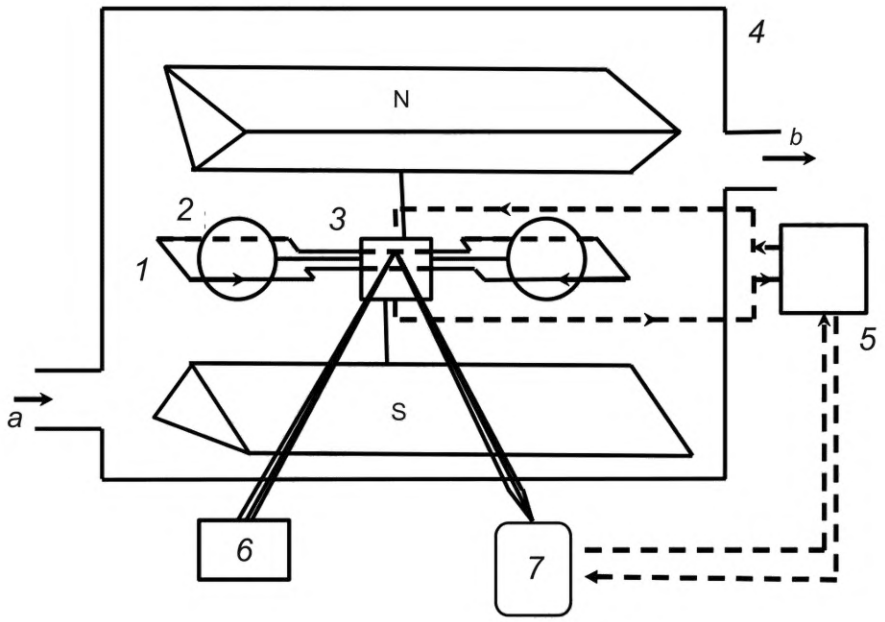
В качестве примера в *В.1.1.1*—*В.1.1.3* приведены три основных метода обнаружения.

*В.1.1.1* Газоанализатор гантельного типа (см. [*6*])

Торсионные весы, представляющие собой гантель с диамагнитными стеклянными сферами, подвешены в сильном неоднородном магнитном поле. Сферы-гантели отталкиваются от области наиболее интенсивного магнитного поля. Когда газ, окружающий гантели, содержит кислород, сферы выталкиваются дальше из поля из-за его изменения, вызванного парамагнитным кислородом.

Сначала система настраивается без использования пробы газа, чтобы свет отражался от небольшого зеркала и попадал на фотоэлемент. В контуре обратной связи ток подается по платиновому проводу, который опоясывает гантель, создавая электромагнитный противодействующий момент. Этот момент возвращает зеркало в исходное положение, так что фотоэлемент снова обнаруживает отраженный свет. Необходимая величина момента (тока, проходящего по проводу) при наличии кислорода зависит от его концентрации.

Схема типичной конфигурации газоанализатора гантельного типа показана на рисунке В.1.



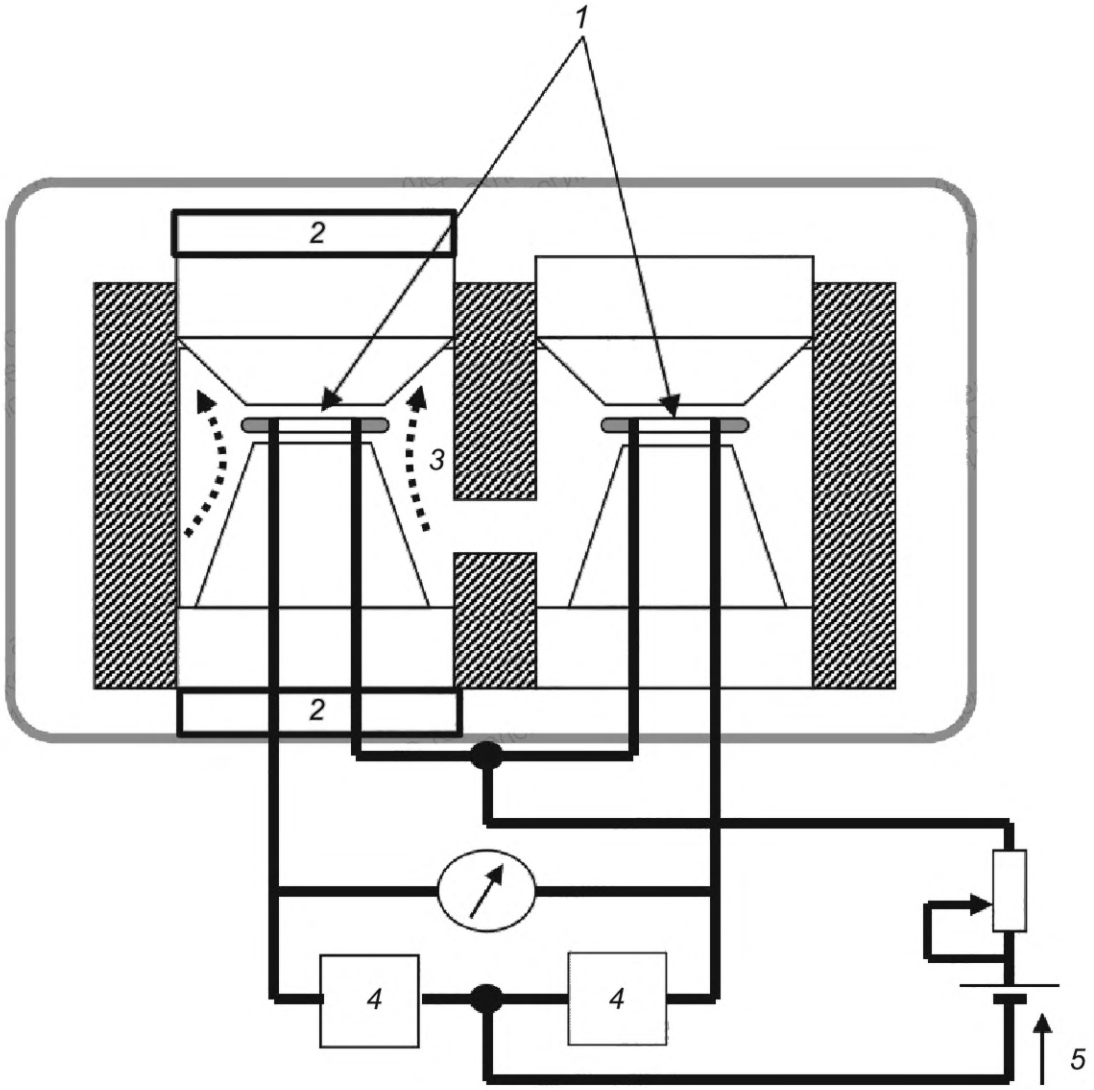

*1* — катушка обратной связи; *2* — гантель; *3* — зеркало; *4* — измерительная ячейка; *5* — контур обратной связи; *6* — лампа; *7* — фотоэлемент (детектор); *a* — входное отверстие для проб газа; *b* — выход газа

Рисунок В.1 — Схема парамагнитного метода (гантельный тип)

*В.1.1.2* Газоанализатор типа магнитного ветра

Во втором методе используется температурный коэффициент парамагнитного эффекта. Парамагнитный коэффициент обратно пропорционален абсолютной температуре. Если сильное магнитное поле сочетается с температурным градиентом, то создается поток газообразного кислорода. Скорость потока (магнитного ветра) зависит от концентрации кислорода и может быть измерена, например, с помощью определения теплопроводности.

Схема типичной конфигурации газоанализатора типа магнитного ветра показана на рисунке В.2.




*1* — нагревательная нить; *2* — магнит; *3* — магнитный ветер; *4* — резистор; *5* — мостовая цепь

Рисунок В.2 — Схема парамагнитного метода (тип магнитного ветра)

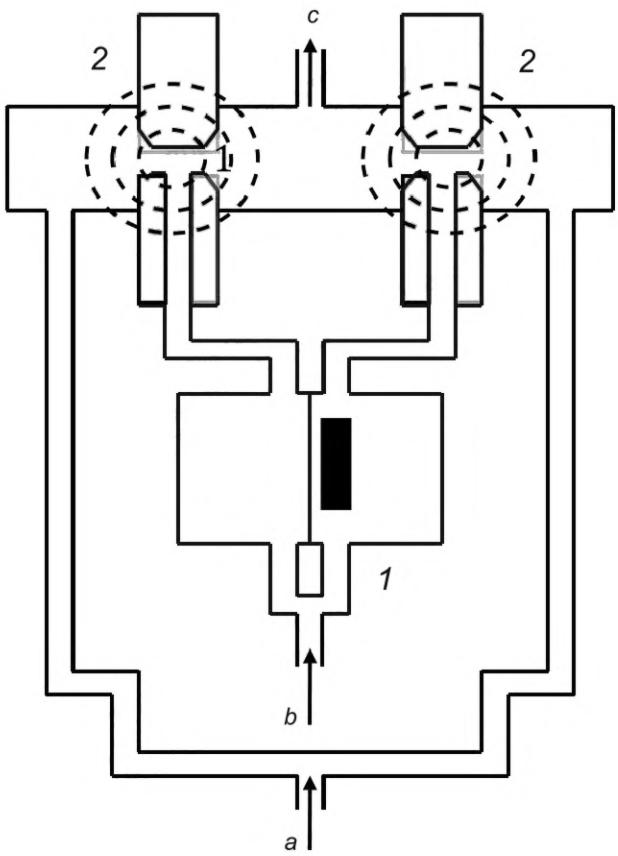
*В.1.1.3* Газоанализатор магнитно-пневматического типа

Третий метод использует сильное магнитное поле вокруг трубки. Если кислород, который является парамагнитным газом, находится в неравномерном магнитном поле, то он притягивается к его более интенсивной области, увеличивая давление в этой части. Увеличение давления в это время извлекается из магнитного поля с помощью газа-носителя $N_2$. Оно обнаруживается с помощью конденсаторной диафрагмы/микрофонного детектора.

Схема типичной конфигурации газоанализатора магнитно-пневматического типа показана на рисунке В.3.

**В.1.2 Применение оксида циркония $ZrO_2$**

Метод с использованием оксида циркония $ZrO_2$ позволяет определять кислород в отходящем газе с использованием ячейки из оксида циркония, стабилизированного иттрием, с пористыми платиновыми электродами, нанесенными как на внутреннюю, так и на внешнюю поверхности. Когда эта ячейка нагревается до высокой температуры, выше 600 °С, она становится проницаемой для ионов кислорода. Вакансии в ее кристаллической решетке обеспечивают подвижность ионов кислорода, так что ячейка становится твердым электролитом, проводящим ионы кислорода.




*1* — детектор; *2* — электромагнит; *a* — проба газа; *b* — газ-носитель; *c* — выход газа

Рисунок В.3 — Схема парамагнитного метода (магнитопневматический тип)

Платиновые электроды на каждой стороне ячейки обеспечивают каталитическую поверхность для изменения молекул кислорода в ионы кислорода и ионов кислорода в молекулы кислорода. Молекулы кислорода на стороне газа высокой концентрации ячейки получают электроны, чтобы стать ионами, которые попадают в электролит. Одновременно на другом электроде ионы кислорода теряют электроны и высвобождаются с поверхности электрода в виде молекул кислорода.

Когда концентрация кислорода различна на каждой стороне ячейки, ионы кислорода мигрируют со стороны с высокой концентрацией кислорода на сторону с низкой концентрацией. Этот поток ионов создает электронный дисбаланс, который приводит к потенциалу напряжения между электродами, являющемуся функцией температуры ячейки и соотношения парциального давления кислорода на каждой стороне ячейки.

Выходное напряжение $E$ как функция температуры и концентрации кислорода в пробе и эталонных газах определяется уравнением Нернста

$$E = \left[\frac{RT}{4F}\right] \ln \frac{p_1}{p_2}, \qquad (B.1)$$

где $R$ — газовая постоянная;

$T$ — абсолютная температура;

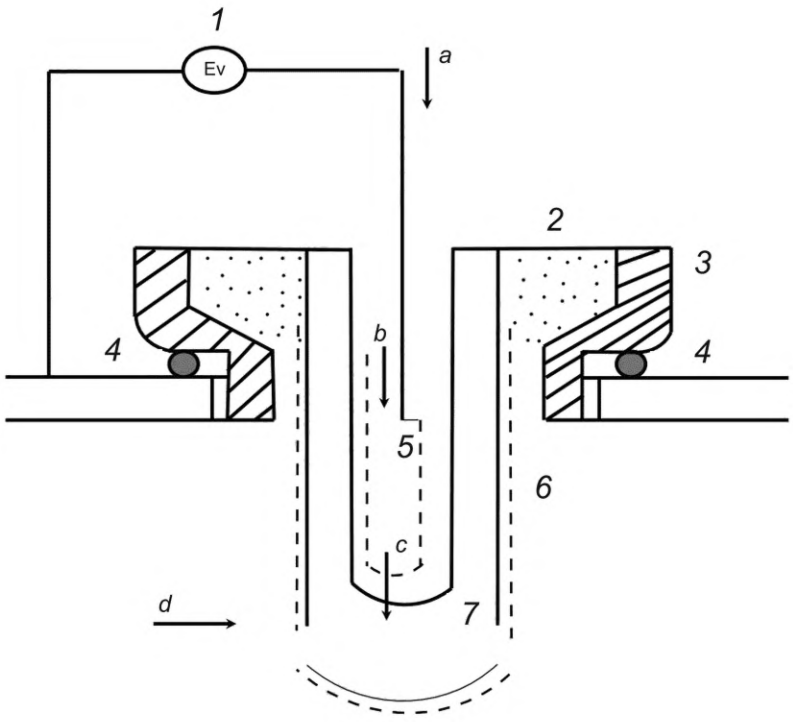
$F$ — постоянная Фарадея;

$p_1$ — парциальное давление $O_2$ в газе для справки;

$p_2$ — парциальное давление $O_2$ в технологическом газе.

Примечание — На практике некоторые циркониевые ячейки могут не совсем точно следовать уравнению Нернста.

Схема конфигурации газоанализатора типа $ZrO_2$ (см. [7]) приведена на рисунке В.4.




*1* — электрический сигнал; *2* — электропроводящая герметизация; *3* — металлическое крепление; *4* — герметизация; *5* — внутренний платиновый электрод; *6* — внешний платиновый электрод; *7* — электролит $ZrO_2$; *a* — воздух с $O_2$; *b* — эталонный газ «воздух»; *c* — $O_2$; *d* — отходящий газ

Рисунок В.4 — Схема метода с применением оксида циркония

**В.1.3 Метод с применением экстрактивной электрохимической ячейки ($O_2$)**

Электрохимические ячейки могут быть использованы для измерения содержания $O_2$, если в результате электроокисления или электровосстановления молекул газа на электроде возникает ток, прямо пропорциональный парциальному давлению газа. В этих ячейках газ диффундирует через селективную полупроницаемую мембрану к электроду и раствору электролита. Газ вступает в реакцию на электроде, и продукт реакции транспортируется к противоэлектроду, где он, в свою очередь, вступает в реакцию.

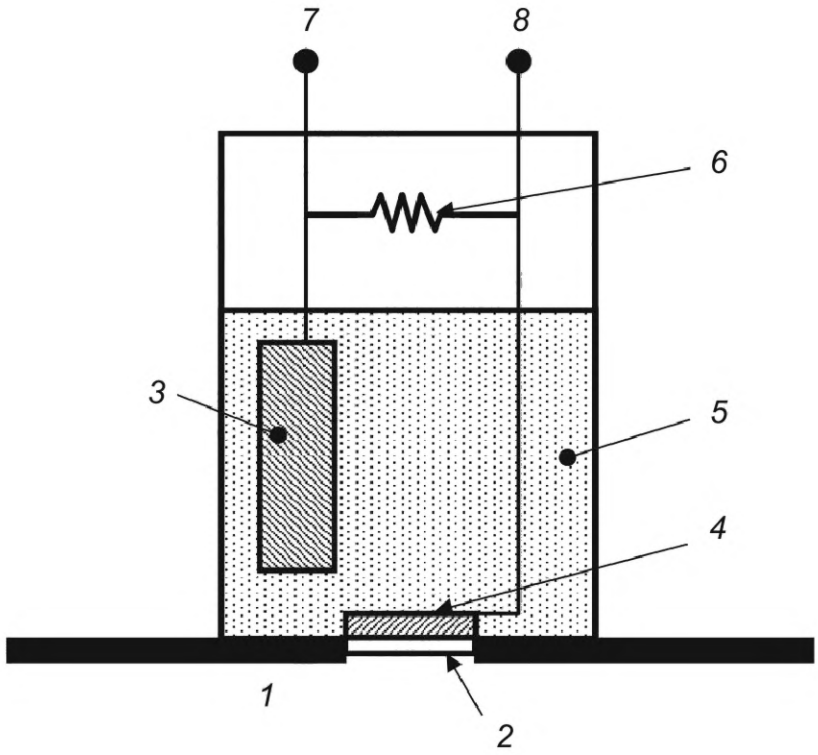
Измеряется ток, генерируемый за счет разницы в электродвижущей силе, возникающей в результате реакций катод/анод. На электродах может поддерживаться замедляющий потенциал, чтобы предотвратить окисление газов, которое в противном случае могло бы вызвать помехи.

Принципиальная схема типичной конфигурации электрохимического газоанализатора показана на рисунке В.5.

**В.2 Описание автоматической измерительной системы**

Из источника выбросов отбирается соответствующий объем отходящих газов с регулируемой скоростью потока. Твердые частицы, присутствующие в отобранном объеме, удаляются путем фильтрации перед подачей пробы в аналитический прибор. Типичная схема комплектной системы измерения содержания $O_2$ такая же, как описанная в А.2.1 (CO и $CO_2$ на основе НДИК).

Датчик $ZrO_2$ также может быть использован в системах горячей/влажной экстракции (описанных в разделе А.2.2) или в системах измерения *in situ*.




*1* — проба газа; *2* — диафрагма; *3* — отрицательный электрод; *4* — положительный электрод; *5* — электролит; *6* — резистор; *7* — анод; *8* — катод

Рисунок В.5 — Схема метода с применением электрохимической ячейки

**Приложение С**
**(справочное)**

## Метод прямого экстрактивного измерения CO, $CO_2$ и $O_2$

### С.1 Принцип измерений *in situ* CO, $CO_2$ и $O_2$ методом диодно-лазерной абсорбционной спектроскопией

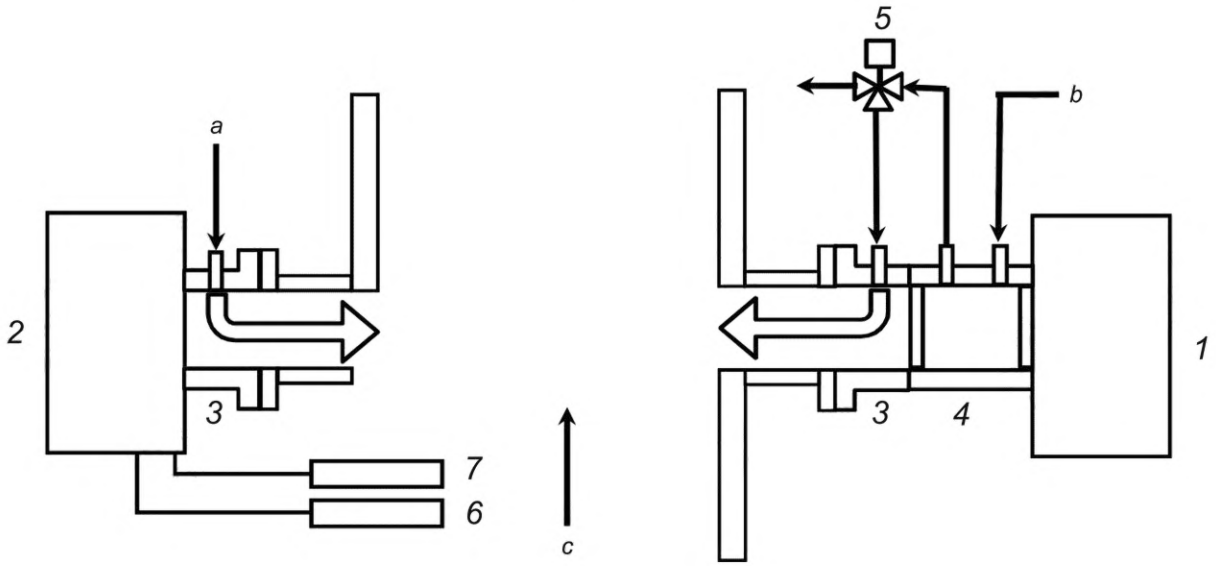
Пример ДЛС *in situ* приведен ниже. Принцип анализа основан на измерении некондиционированного CO, $CO_2$ и $O_2$ в потоке. Содержание CO, $CO_2$ и $O_2$ определяется прямым измерением с помощью настраиваемого лазерного газоанализатора. Для поправки на сухие стандартные условия рекомендуется измерять относительную влажность вместе с концентрацией CO, $CO_2$ или $O_2$.

Примечание — Для измерений *in situ* также применяют газоанализаторы, основанные на принципах НДИК и ИКПФ.

### С.2 Системы измерения поперечного газохода *in situ*

#### С.2.1 Общие сведения

Система измерения ДЛС *in situ* состоит из передающего и приемного блока. Оба блока монтируются друг напротив друга непосредственно на дымовой трубе. На рисунке С.1 показано типичное расположение системы измерения *in situ* на основе настраиваемого лазера для CO, $CO_2$ или $O_2$.




*1* — передатчик; *2* — приемник; *3* — продувочный фланец; *4* — ячейка проверки; *5* — трехходовой клапан; *6* — датчик давления (при постоянных условиях в газоходе не требуется); *7* — датчик температуры (при постоянных условиях в газоходе не требуется); *a* — продувочный газ; *b* — продувочный газ, газовая смесь для процедур ОК/КК или нулевой газ; *c* — область отходящих газов

Рисунок С.1 — Схема системы измерения ДЛС *in situ* (пример)

#### С.2.2 Компоненты измерительной системы ДЛС *in situ* (поперечное сечение газохода)

С.2.2.1 Блок передатчика и приемника

Блок передатчика содержит лазерный источник света, а блок приемника содержит фотодетектор. Световой луч испускается лазерным диодом, расположенным в передающем блоке. Лазерный свет проходит через газ и попадает на фотодетектор в приемнике.

С.2.2.2 Очистка оптической ячейки

Фланцы для продувки выполняют две основных функции. Во-первых, они используются для крепления передатчика или приемника на трубе. Во-вторых, продувочный фланец имеет штуцер для продувки.

Если этого требует применение, то подается продувочный газ, чтобы предотвратить загрязнение оптических компонентов отходящим газом. Продувочный газ поступает на продувочный фланец и течет в направлении газохода, где смешивается с отходящими газами. В качестве продувочного газа обычно используется нулевой газ. Расход зависит от условий и обычно составляет от 20 до 50 $дм^3$/мин.

С.2.2.3 Ячейка проверки (CO)

Для проверки работоспособности измерительной системы ДЛС нужно регулярно проводить процедуру валидации.

Одним из методов проверки является применение внешней ячейки, которая устанавливается на оптическом пути между трубой и блоком передатчика/приемника. Альтернативный метод — использование газонаполненной ячейки со стабильной концентрацией.

Во время процедуры ячейка продувается сертифицированным тестовым газом и временно перемещается на оптический путь соответственно.

Концентрация газа, необходимая для обоих методов, зависит от длины оптического пути и ячейки проверки, а также диапазона измерения. Обычно используется испытательный газ с концентрацией, эквивалентной от 70 % до 90 % от полного диапазона.

Примечание — Расчетные концентрации $O_2$ и $CO_2$ в проверочной ячейке могут превышать 100 %, что делает процедуру непригодной.

С.2.2.4 Датчик давления и температуры

Из-за установки *in situ* изменение давления и температуры газа в отходящих газах может повлиять на сигнал измерения. Если параметры превышают максимально допустимые отклонения, можно использовать датчики давления и/или температуры, чтобы обеспечить соответствующее давление или температуру газа в измерительной системе ДЛС и скорректировать влияние изменений температуры и давления.

### С.3 Точечные измерительные системы *in situ*

#### С.3.1 Общие положения

Система точечных измерений *in situ* состоит из приемника, передатчика и зонда. Луч обычно проходит через поток измеряемого газа и отражается зеркалом на кончике зонда. На рисунке С.2 приведен пример схемы точечной системы измерения *in situ*.

#### С.3.2 Компоненты системы измерения ДЛС *in situ*: точечный мониторинг

С.3.2.1 Общие положения

При точечном мониторинге *in situ* отбирают пробу газа в канале на конце зонда. Газ обычно контролируется на коротком пути в зависимости от принципа измерения (см. рисунок С.2).

С.3.2.2 Приемопередатчик прибора

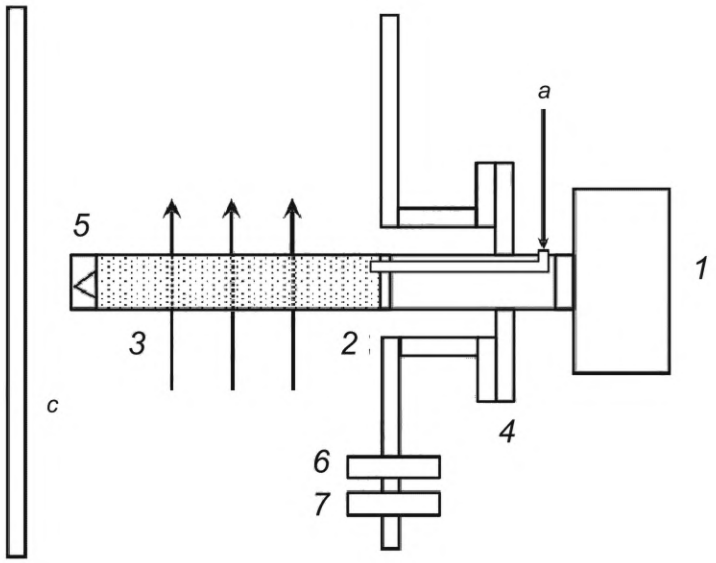
Компонент определяет реакцию измерительной ячейки и генерирует электрический сигнал, соответствующий концентрации измеряемого газа.

С.3.2.3 Измерительная ячейка

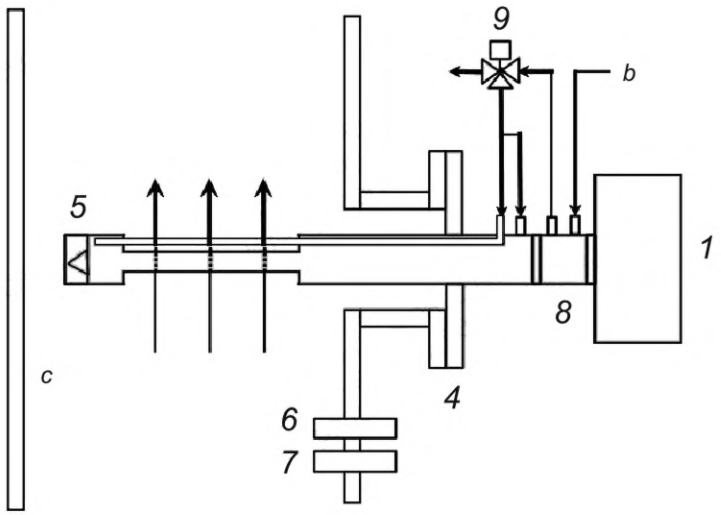
Ячейка или полость подвергаются воздействию потока газа с целью создания электрооптического отклика на концентрацию газа на конце зонда.

С.3.2.4 Фильтр зонда

Пористая керамическая или спеченная металлическая трубка или экран сводят к минимуму влияние твердых частиц на измерение газа. Если ожидается небольшое влияние твердых частиц на измерение, можно использовать зонд без фильтра.




а) Тип с фильтром: вид сбоку на зонд




b) Тип без фильтра: вид сбоку на зонд

*1* — приемопередатчик; *2* — зонд; *3* — фильтр; *4* — фланец зонда; *5* — зеркало; *6* — датчик давления (при постоянных условиях в газоходе не требуется); *7* — датчик температуры (при постоянных условиях в газоходе не требуется); *8* — ячейка проверки; *9* — трехходовой клапан; *a* — газовая смесь для процедур ОК/КК или нулевой газ; *b* — продувочный газ, газовая смесь для процедур ОК/КК или нулевой газ; *c* — область отходящих газов

Рисунок С.2 — Пример системы измерения ДЛС *in situ*: точечный мониторинг

**Приложение D**
**(обязательное)**

## Рабочие газы

### D.1 Общие положения

При использовании настоящего стандарта требуется применение рабочих газов.

### D.2 Нулевой газ

Нулевой газ не должен содержать соединений, влияющих на эффективность измерения приборов. Для всех анализаторов следует использовать чистый азот (марка 5,0, с содержанием примесей измеряемых компонентов ниже аналитического предела обнаружения), очищенный атмосферный воздух или другие смеси $O_2$ и $N_2$, однако для метода $ZrO_2$ следует использовать «воздушную калибровку» (*т. е. калибровку датчика с использованием воздуха*). При использовании воздуха в качестве пробного газа ячейка $ZrO_2$ дает нулевой выходной сигнал (но анализатор показывает 21 % $O_2$), в результате чего датчик $ZrO_2$ обычно использует заменитель нулевого газа с концентрацией 2 % или 3 % $O_2$.

Концентрация интересующих веществ в нулевом газе не должна превышать 1,0 % используемого диапазона измерения.

### D.3 Газ для проверки контрольной точки диапазона измерений (см. 3.16)

В качестве газа для проверки контрольной точки диапазона измерения используется газовая смесь для процедур ОК/КК с известной концентрацией определяемого компонента, которая должна составлять от 70 % до 90 % верхнего предела выбранного диапазона измерений. Ячейка $ZrO_2$ может использовать другие концентрации $O_2$ из-за особенностей принципа измерения.

### D.4 Газовая смесь для процедур ОК/КК

В качестве газовой смеси для процедур ОК/КК используются сертифицированные стандартные образцы — газовые смеси в баллонах под давлением, содержащие CO или $CO_2$ в $N_2$ или $O_2$ в $N_2$. Смеси должны иметь известную концентрацию определяемого компонента, прослеживаемую к национальному эталону, с максимально допустимой расширенной неопределенностью 2,0 % от номинального значения концентрации.

**Приложение Е**
**(обязательное)**

## Процедуры определения эксплуатационных характеристик

### Е.1 Общие положения

Перед проведением любых испытаний необходимо учесть время прогрева, указанное производителем. Если время прогрева не указано, следует планировать минимум 2 ч.

Перед определением эксплуатационных характеристик АИС прибор должен быть настроен в соответствии с требованиями производителя и в соответствии с процедурой, описанной в 9.3.

В условиях испытаний для каждой отдельной характеристики значения следующих параметров должны быть постоянными в пределах указанного ниже диапазона:

- окружающая температура — ±2 °С;
- давление отбора проб — ±0,2 кПа;
- напряжение питания — ±1 % от номинального напряжения сети (кроме испытания зависимости от напряжения).

Для определения различных эксплуатационных характеристик должны использоваться эталонные газы с известной неопределенностью значения концентрации.

Примечание — Время отклика, повторяемость при нуле и на уровне диапазона, проверка линейности, перекрестная чувствительность, дрейф нуля и дрейф диапазона, чувствительность к температуре окружающей среды, чувствительность к электрическому напряжению систем *in situ* могут быть измерены с помощью внешней испытательной ячейки.

### Е.2 Время отклика

Чтобы установить время отклика, время запаздывания, время нарастания и время спада, ступенчатая функция измеряемой величины должна быть введена в непрерывную АИС. Если иное не указано в техническом задании, ступень, создаваемая испытательной установкой, должна иметь время нарастания (от 10 % до 90 % изменения ступени) менее 10 % от времени усреднения, применяемого во время испытаний. Ступенчатое изменение испытательной установки должно соответствовать не менее 60 % диапазона измерения (см. рисунок Е.1). Если время нарастания и время спада различаются, для вычисления времени отклика необходимо использовать большее время.

Для приборов, в которых переходные колебания возникают по мере приближения к окончательному выходному сигналу, конечный выходной сигнал считается достигнутым, когда колебания попадают в пределы 10 % входного шага.

Примечание — Существенное различие между временем нарастания и временем спада показывает эффекты памяти, то есть зависимость результата измерений от значения измеряемой величины во время предыдущего(их) измерения(ий).

### Е.3 Воспроизводимость при нуле и в точке диапазона

#### Е.3.1 Общие положения

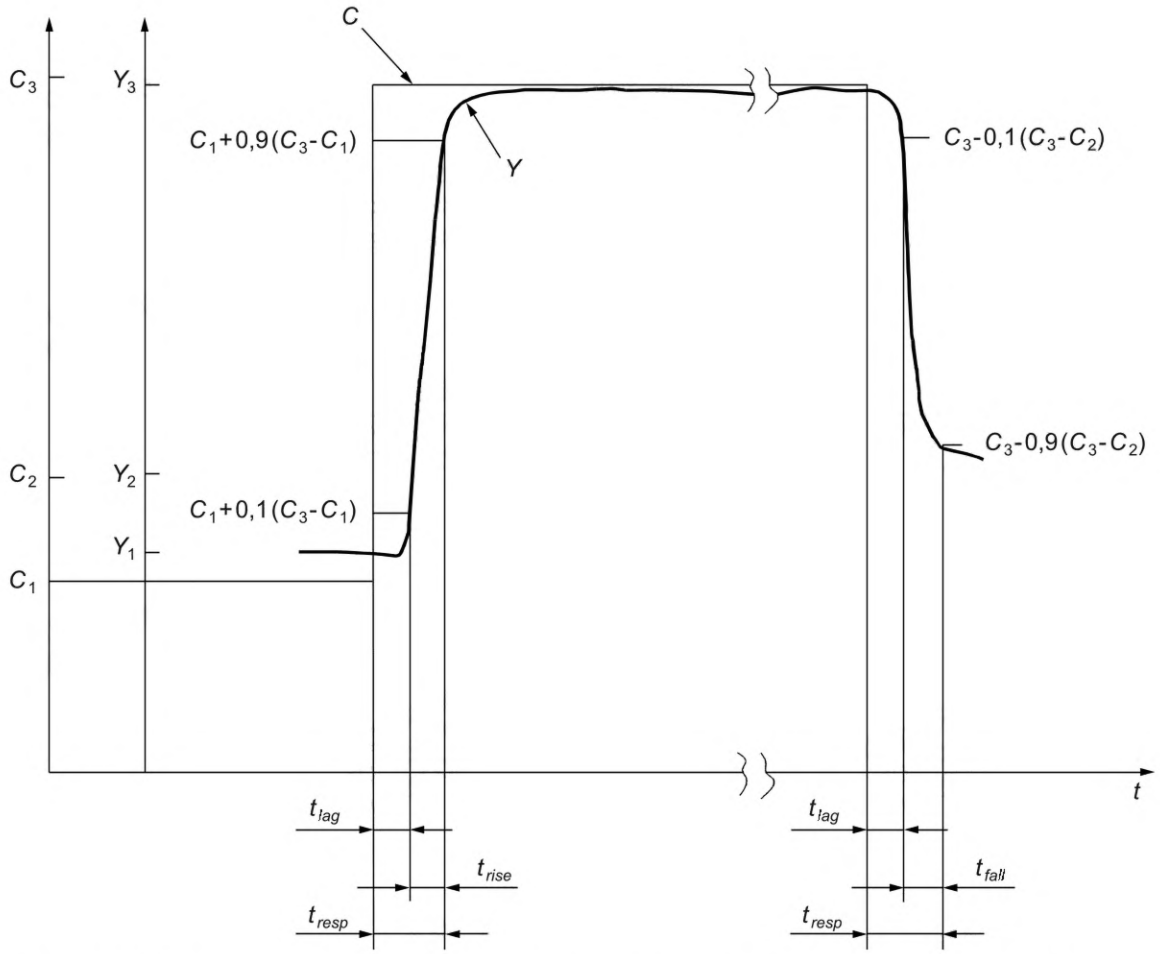
Чтобы определить воспроизводимость при нуле и в контрольной точке диапазона, проводят несколько измерений при нуле и концентрации диапазона в соответствии с процедурами, описанными в Е.3.2 и Е.3.3. Стандартное отклонение и воспроизводимость рассчитывают для обеих серий измерений (нулевое значение и значение диапазона) (см. [*1*]).

#### Е.3.2 Стандартное отклонение воспроизводимости в лаборатории в нулевой точке

Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке должно быть определено путем подачи эталонного материала в нулевую точку (нулевой газ). Сначала настраивают нулевую точку анализатора. Затем подают нулевой газ на впуск для нулевого газа и газовых смесей для процедур ОК/КК.

Если стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке определяют во время испытания на несоответствие (проверки адекватности линейной модели калибровки), то необходимо использовать сертифицированный стандартный образец газовой смеси, применяемой в ходе испытаний с нулевой концентрацией определяемого компонента.

Показания АИС в нулевой точке должны быть сняты либо после измерений сертифицированного стандартного образца (см. *3.16*), выдержки в течение времени отдельного отклика и подачи нулевого газа, либо после измерений отходящего газа и последующих многократных (не менее 10 раз) измерений нулевого газа.




$t$ — время; $C_i$ — значение измеряемой величины в стандартном материале $i$; $Y_i$ — выходной сигнал, полученный путем измерения измеряемой величины в стандартном материале $i$; $t_{lag}$ — время задержки, $t_{rise}$ — время нарастания; $t_{fall}$ — время падения; $t_{resp}$ — время отклика сигнала

Рисунок Е.1 — Схема временных характеристик АИС; изменение выходного сигнала $Y$ (выход) после изменения опорного значения $C$ (вход) как функция времени $t$

Полученные измеренные значения используют для определения стандартного отклонения воспроизводимости $s_r$ в нулевой точке по формуле

$$s_r = \sqrt{\frac{\Sigma\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}}, \qquad (E.1)$$

где $x_i$ — $i$-е измеренное значение;

$\bar{x}$ — среднее из измеренных значений $x_i$;

$n$ — количество измерений.

Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке должно соответствовать критерию соответствия требованиям, указанному в таблице 1.

Примечание — Независимое показание — это показание, на которое не влияет предыдущее индивидуальное показание, поскольку два показания разделены как минимум четырьмя промежутками времени отклика.

**Е.3.3 Стандартное отклонение воспроизводимости в контрольной точке диапазона (лабораторная проверка)**

Стандартное отклонение воспроизводимости в контрольной точке диапазона должно определяться путем применения газа для проверки контрольной точки диапазона измерений (см. D.4). Газ должен подаваться на вход пробы газа анализатора. Если стандартное отклонение воспроизводимости в контрольной точке диапазона определяют во время испытания на несоответствие (проверки адекватности линейной модели калибровки), то необходимо использовать сертифицированный стандартный образец газовой смеси, применяемой в ходе испытаний с наивысшим значением концентрации определяемого компонента.

Измеренные значения АИС в контрольной точке должны быть определены путем подачи газа для проверки контрольной точки диапазона измерений (см. D.4), выдержки в течение времени отдельного отклика, снятия текущего показания и повторения этих действий до тех пор, пока не будет получено не менее 10 независимых показаний газа для проверки контрольной точки. Полученные измеренные сигналы используются для определения стандартного отклонения повторяемости в контрольной точке диапазона с использованием формулы (Е.1).

Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона должно соответствовать критериям, указанным в таблице 1.

**Е.4 Несоответствие (линейность)**

Тест на несоответствие следует проводить в лаборатории путем использования нулевого газа и не менее четырех газовых смесей с концентрациями определяемых компонентов, равномерно распределенными в выбранном диапазоне измерений (испытательные газы), полученных на основе газовых смесей для процедур ОК/КК (см. D.3). Различные концентрации определяемого компонента в газовых смесях могут быть получены с помощью системы разбавления.

Испытательные газы следует подавать в порядке, позволяющем избежать эффектов гистерезиса.

Выполняют измерения испытательных газов с возрастанием значений концентрации определяемого компонента $c_i$ не менее трех раз, каждое из которых усредняется за одно время отклика. Отклонение $e_i$ (несоответствие) определяют на основе линейной регрессии (см. [*1*]). В этой процедуре линию регрессии устанавливают между показаниями прибора АИС (значения $x$) и значениями испытательного газа (значения $c$). На следующем этапе вычисляют среднее значение $\bar{x}_i$ показаний АИС для каждого значения концентрации. Затем отклонение (несоответствие) среднего значения до соответствующего значения $\dot{x}_i$, оцененное по линии регрессии, вычисляют по формуле

$$e_i = \left|\dot{x}_i - \bar{x}_i\right|. \qquad (E.2)$$

Отклонения $e_i$ при каждой концентрации испытательного газа должны соответствовать критерию эффективности, указанному в таблице 1.

Если критерий эффективности не выполняется, отклик прибора следует корректировать до тех пор, пока критерий эффективности не будет выполнен.

**Е.5 Перекрестная чувствительность**

Влияние потенциально мешающих веществ, также присутствующих в отходящем газе, должно определяться путем подачи смесей испытательного газа на вход АИС (перед охладителем испытательного газа, если он имеется). Газовые смеси должны производиться с помощью системы смешения, в которой к газам добавляется мешающее вещество для нулевой точки и точки диапазона. Система смешивания должна соответствовать национальным стандартам и иметь максимальную расширенную неопределенность 1 %. *В сфере госрегулирования должны использоваться стандартные образцы утвержденного типа, внесенные в ФИФ по ОЕИ и имеющие прослеживаемость к государственным первичным эталонам* (см. [*8*]).

Мешающие вещества и их концентрации определяются в зависимости от принципа измерения и предполагаемой цели измерения. Исследуют мешающие вещества, перечисленные в таблице Е.1. Мешающее влияние рассматривается в индивидуальном порядке.

Испытательный газ должен подаваться без мешающих веществ, а затем с ними. Измеренные сигналы АИС должны быть определены для каждого испытательного газа путем выдерживания времени, эквивалентного одному независимому показанию, а затем записи трех последовательных индивидуальных показаний. Три отдельных показания должны быть усреднены.

Отклонения между средним показанием с учетом и средним показанием без учета мешающих веществ, присутствующих в нулевой точке и точке диапазона, должны определяться для каждого источника мешающих веществ.

Все положительные отклонения выше 0,5 % от концентрации контрольного газа должны быть суммированы, а все отрицательные отклонения ниже 0,5 % от концентрации контрольного газа должны быть суммированы как в нулевой, так и в контрольной точках. Максимальное значение четырех сумм должно соответствовать критериям эффективности, указанным в таблице 1.

Следует указывать отдельные показания, средние значения и отклонения в нулевой точке и точке диапазона и для всех источников мешающих веществ, а также максимальное отклонение.

Таблица Е.1 — Концентрации мешающих веществ, используемых во время испытаний на перекрестную чувствительность

| Мешающее вещество | Массовая или объемная концентрация | |
|---|---|---|
| | Значение | Единица измерения |
| $O_2$ | 3[a] и 21 | % |
| $H_2O$ | 30 | % |

*Окончание таблицы Е.1*

| Мешающее вещество | Массовая или объемная концентрация | |
|---|---|---|
| | Значение | Единица измерения |
| CO | 300 | мг/м$^3$ |
| $CO_2$ | 15 | % |
| $CH_4$ | 50 | мг/м$^3$ |
| $N_2O$ | 20 | |
| $N_2O$ (сжигание) | 100 | |
| NO | 300 | |
| $NO_2$ | 30 | |
| $NH_3$ | 20 | |
| $SO_2$ | 200 | |
| $SO_2$ (угольные электростанции без очистки газов от сернистых соединений) | 1000 | |
| HCl | 50 | |
| HCl (угольные электростанции) | 200 | |
| [a] Вместо испытания без мешающих веществ проводят испытание с концентрацией кислорода 3 %. | | |

**Е.6 Проверка потерь в пробоотборной линии и системе кондиционирования**

Потери в пробоотборной линии и системе кондиционирования должны быть проверены путем подачи нулевого газа и газовой смеси для процедур ОК/КК в газоанализатор через систему отбора проб как можно ближе к соплу (перед фильтром, если возможно), а затем непосредственно к газоанализатору. Испытательный газ должен иметь концентрацию CO, $CO_2$ или $O_2$ около 70 % — 80 % от диапазона измерения. Возможные примеси во всей системе могут привести к эффекту памяти из-за адсорбции или десорбции на поверхности или с поверхности. Различия должны быть менее 2 %.

**Е.7 Проверка утечки в линии отбора проб и системе кондиционирования**

Система отбора проб должна быть проверена на герметичность. Процедура проверки на герметичность следующая:

- собирают всю систему отбора проб, включая заправку корпуса фильтра и поглотителей;
- прогревают пробоотборник до рабочей температуры;
- закрывают входное отверстие форсунки;
- закрывают форсунку и включают насос(ы);
- после достижения минимального давления следят, остается ли расходомер близким к нулю.

**Е.8 Дрейф нулевой точки и точки диапазона для оценки значений эксплуатационных характеристик**

Дрейф нулевой точки и точки диапазона оценивают путем применения не менее 10 последовательностей нуля и точек диапазона, равномерно распределенных в течение 24 ч, и расчета для каждой концентрации наклона линейной регрессии (см. [*1*]).

Нулевой газ и поверочную газовую смесь следует подавать в АИС в начале испытания, а затем повторно подавать в течение 24-часового периода, как описано выше, и отклонения должны соответствовать критерию эксплуатационных характеристик, указанному в таблице 1.

**Е.9 Дрейф нулевой точки и точки диапазона для периодических испытаний**

Регулировку прибора с помощью нулевого и поверочного газа или других стандартных образцов следует проводить не реже одного раза в период автономной работы. Испытания приборов для периодических измерений следует проводить в начале каждой серии измерений.

Нулевой газ, газовая смесь для процедур ОК/КК или другие стандартные образцы должны использоваться при одинаковых условиях потока и давления, и соответствовать условиям измерения. Для нулевого и поверочного газа следует использовать порт отбора пробы прибора или процедуру в соответствии с инструкциями производителя. Отклонения между измеренными значениями в нулевой точке и в точке диапазона и номинальными значениями должны соответствовать критерию рабочих характеристик, указанному в таблице 1.

**Е.10 Отклонение измерительного луча поперечного сечения *in situ* АИС**

Испытательная лаборатория должна постепенно и точно отклонять узлы передатчика и приемника АИС в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а затем записывать измеренные сигналы с использованием стандартных образцов.

Примечания

1 Испытание обычно применяется к оптическим методам кросс-суммирования *in situ*. Испытание также применимо к экстрактивному АИС с отдельными узлами передатчика и приемника. Экстрактивные системы, использующие анализатор *in situ*, должны быть надежно закреплены на оптической установке и, следовательно, не подлежат этому испытанию.

2 Для испытания требуются калибровочные стандарты (например, эталонные фильтры) и оптический стенд.

3 Как правило, испытание следует проводить при максимальной практической длине пути.

Отклонения должны выполняться как для положения нулевой точки, так и для точки диапазона приблизительно от 70 % до 90 % выходного диапазона на двух типичных длинах пути измерения. Отклонение должно выполняться с шагом примерно 0,05° в требуемом диапазоне углов.

Диапазон отклонения должен быть как минимум в два раза больше угла, указанного изготовителем. Он также должен быть проверен до предела прогиба, допускаемого узлами, при необходимости — с большим шагом.

Должна быть исследована эффективность любых средств ручной оптической настройки. Процессы автоматической настройки должны быть активированы и включены в испытание.

Измеренные сигналы, полученные на различных этапах испытаний, должны быть включены в отчет об испытаниях в табличной форме. Эти измеренные сигналы должны быть связаны с углами отклонения.

Должны быть указаны максимально допустимые углы отклонения, в пределах которых АИС удовлетворяет критерию эффективности. В случае автоматической юстировки АИС необходимо описать и подтвердить порядок работы с помощью результатов испытаний.

**Е.11 Чувствительность к давлению измеряемого газа при его изменении на 2 кПа**

Испытательная лаборатория должна определить влияние колебаний давления газа пробы на реакцию АИС. Проба должна представлять собой азот, содержащий измеряемый компонент в концентрации от 70 % до 80 % верхнего предела диапазона измерения.

Измеряют выходной сигнал АИС, когда давление газа пробы:

- составляет атмосферное давление окружающей среды;
- примерно на 2 кПа выше атмосферного давления в пределах ± 0,2 кПа и
- примерно на 2 кПа ниже атмосферного давления в пределах ± 0,2 кПа.

В течение периода измерения температура должна поддерживаться стабильной с точностью ±1 К.

Измеренные сигналы АИС должны определять при каждом значении давления путем выдерживания времени, эквивалентного одному независимому показанию, а затем записи трех последовательных индивидуальных показаний. Три отдельных показания должны быть усреднены.

Определяют отклонения между средним показанием при каждом значении давления и средними показаниями при атмосферном давлении окружающей среды. Отклонения должны соответствовать применимым критериям эффективности, указанным в таблице 1.

Следует указывать отдельные показания, средние значения и отклонения при каждом значении давления, а также максимальное отклонение.

**Е.12 Влияние расхода пробы газа на экстрактивную АИС**

Первоначально АИС должна работать с расходом, указанным изготовителем. Затем он должен быть изменен на самый низкий расход, указанный изготовителем.

Примечание — Влияние потока анализируемого газа обычно относится к экстрактивному АИС, поскольку на АИС *in situ* скорость потока в основном не влияет.

Если руководство по эксплуатации допускает лишь незначительные допуски, то они являются обязательными и подлежат увеличению.

Измеренные сигналы АИС в нулевой точке и в контрольной точке диапазона должны быть определены для обоих значений расхода путем выдержки времени, эквивалентного одному независимому показанию, и последующей записи трех последовательных отдельных показаний. Три отдельных показания должны быть усреднены.

Должно быть определено отклонение между средними показаниями при обоих значениях расхода. Отклонение должно соответствовать применимым критериям эффективности, указанным в таблице 1.

Испытание следует повторить три раза в нулевой точке и три раза в точке диапазона. Если АИС соответствует критерию эффективности в два раза или более при первом испытании, то любые последующие повторения (из трех) могут быть пропущены.

Следует указывать отдельные показания, средние значения и отклонения, а также максимальное отклонение.

Должна быть проверена работа сигнала состояния неисправности в отношении расхода.

**Е.13 Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К в диапазоне температур, указанном изготовителем**

Испытательная лаборатория должна определить, как на значения нуля и диапазона АИС влияют изменения температуры окружающей среды, используя климатическую камеру, которая может контролировать температуру окружающей среды от *253,15* до *323,15 К* в пределах ±1,0 К.

В случае установки АИС на открытом воздухе в климатической камере должны быть установлены следующие температуры в заданном порядке последовательности:

$$293{,}15\ К \rightarrow 273{,}15\ К \rightarrow 253{,}15\ К \rightarrow 293{,}15\ К \rightarrow 323{,}15\ К \rightarrow 293{,}15.$$

В случае установки АИС в местах с регулируемой температурой следующие температуры должны быть установлены в заданном порядке последовательности:

$$293{,}15\ К \rightarrow 278{,}15\ К \rightarrow 293{,}15\ К \rightarrow 313{,}15\ К \rightarrow 293{,}15\ К.$$

После достаточного периода времени выхода на режим должны быть определены измеренные сигналы АИС в нулевой точке и в точках диапазона при каждом значении температуры путем выдерживания времени, эквивалентного одному независимому показанию, а затем записи трех последовательных индивидуальных показаний. Три отдельных показания должны быть усреднены.

Испытательная лаборатория должна выждать не менее 6 ч между каждым изменением температуры в климатической камере, чтобы позволить АИС выйти на режим, прежде чем снимать дальнейшие показания.

В качестве альтернативы испытательная лаборатория может контролировать показания АИС после каждого изменения температуры. Если прибор стабилизируется менее чем за 6 ч, испытательная лаборатория может сократить время выхода на режим. Однако испытательная лаборатория должна регистрировать объективные и поддающиеся проверке свидетельства, подтверждающие это.

АИС должна оставаться включенной при изменении температуры окружающей среды в климатической камере.

Должны быть определены отклонения между средним показанием при каждом значении температуры и средним показанием при 293,15 К. Отклонения должны соответствовать применимым критериям эффективности, указанным в таблице 1 для всех значений температуры. Испытание следует повторить три раза в нулевой точке и три раза в точке диапазона. Если АИС соответствует критерию эффективности в два раза или более для первого испытания, то любые последующие повторения (из трех) могут быть пропущены.

Следует указывать отдельные показания, средние значения и отклонения при каждом значении температуры, а также максимальное отклонение в нулевой точке и в точке диапазона.

**Е.14 Чувствительность к электрическому напряжению**

Электрическое напряжение АИС должно изменяться с помощью изолирующего трансформатора с шагом 5 % от номинального напряжения питания до как минимум верхнего и нижнего пределов, указанных изготовителем. Должны определяться измеренные сигналы АИС в нулевой точке и в точке диапазона при каждом напряжении путем выдерживания времени, эквивалентного одному независимому показанию, а затем записи трех последовательных индивидуальных показаний. Три отдельных показания должны быть усреднены.

Примечание — После изменений напряжения АИС может потребоваться время для стабилизации. Должны быть определены отклонения между средним показанием при каждом напряжении и средним показанием при номинальном напряжении питания.

Отклонения должны соответствовать применимым критериям эффективности, указанным в таблице 1 для всех напряжений. Это испытание следует повторить три раза в нулевой точке и три раза в точке диапазона. Если АИС соответствует критерию эффективности в два раза или более при первом испытании, то любые последующие повторения (из трех) могут быть пропущены.

Следует указывать отдельные показания, средние значения и отклонения при каждом напряжении, а также максимальное отклонение в нулевой точке и в точке диапазона.

## Приложение F
## (обязательное)

# Примеры результатов оценки измерения CO, $CO_2$ или $O_2$ автоматической измерительной системой

### F.1 Измерение CO

Результаты испытаний в соответствии с эксплуатационными характеристиками приложения Е для измерения CO с использованием метода холодной экстракции НДИК (см. приложение А) и метода ДЛС *in situ* (см. приложение С) приведены в таблице *F.1*.

Примечание — Данные, приведенные в таблицах *F.1*—*F.3*, относятся к результатам испытаний эксплуатационных характеристик (см. [*9*]).

Таблица *F.1* — Эксплуатационные характеристики для косвенного измерения CO с использованием методов НДИК с холодной сухой экстракцией и метода ДЛС *in situ*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Холодная/сухая экстракция | | *in situ* |
|---|---|---|---|---|
| | | НДИК, перекрестная модуляция[a] | НДИК, двойной луч[a] | ДЛС |
| Типичный низкий диапазон | — | 50 мг/м$^3$ | 75 мг/м$^3$ | 250 мг/м$^3$ |
| Время отклика | ≤ 200 с | 57 с | 66 с | 1,6 с |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | 0,6 % | 0,02 % | 0,1 % |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | | 1,3 % | 0,05 % | 0,45 % |
| Несоответствия | | 0,60 % | –0,17 % | 0,96 % |
| Нулевой дрейф за 24 ч | | — | | 1,3 % |
| Дрейф точки за 24 ч | | | | 2,2 % |
| Нулевой дрейф в период автономной работы | ≤ 3 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | –0,4 % | 1,2 % | — |
| Дрейф точки диапазона в период автономной работы | | 2,3 % | –2,0 % | — |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | | — | | |
| Чувствительность к потоку анализируемого газа для экстрактивной АИС | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | –0,1 % | — | |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | ≤ 3 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | 1,2 % | 2,7 % | 1,4 % |
| Чувствительность к электрическому напряжению | ≤ 2 % верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения, используемого на 10 В | 0,5 % | 0,10% | 0,8% |
| Перекрестная чувствительность | ≤ 4 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | 2,6 % | -2,4 % | 1,5 % |

*Окончание таблицы F.1*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Холодная/сухая экстракция | | *in situ* |
|---|---|---|---|---|
| | | НДИК, перекрестная модуляция[a] | НДИК, двойной луч[a] | ДЛС |
| Отклонение измерительного луча перекрестной системы *in situ* АИС | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | — | | |
| [a] Данные взяты из протоколов испытаний (см. [*9*]). | | | | |

**F.2 Измерение $CO_2$**

Результаты испытаний в соответствии с эксплуатационными характеристиками приложения Е для измерения $CO_2$ с использованием метода экстрактивного НДИК (см. приложение А) и метода ДЛС *in situ* (см. приложение С) приведены в таблице *F.2*.

Таблица *F.2* — Эксплуатационные характеристики для измерения $CO_2$ с использованием методов экстрактивного НДИК и метода ДЛС *in situ*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Холодная/сухая экстракция | | in situ |
|---|---|---|---|---|
| | | НДИК, перекрестная модуляция[a] | НДИК, двойной луч[a] | ДЛС |
| Типичный низкий диапазон | — | 20 % (об.доля) | 20 % (об.доля) | 20 % (об.доля) |
| Время отклика | ≤ 200 с | 58 с | 88 с | 1,6 с |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | 0,0 % | 0,0 % | 0,07 % |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | | 0,1 % | 0,05 % | 0,07 % |
| Несоответствия | | 1,00 % | 0,35 % | 1,9 % |
| Нулевой дрейф за 24 ч | | — | | –0,2 % |
| Дрейф точки за 24 ч | | | | 1,6 % |
| Нулевой дрейф в период автономной работы | ≤ 3 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | –0,6 % | 0,1 % | — |
| Дрейф точки диапазона в период автономной работы | | 2,7 % | –1,8 % | — |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | ≤ 3 % | — | | |
| Чувствительность к потоку анализируемого газа для экстрактивной АИС | ≤ 2 % | 0,1 % | — | |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | ≤ 3 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | 0,5 % | 1,8 % | 0,5 % |
| Чувствительность к электрическому напряжению | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения, используемого на 10 В | –0,6 % | 0,0 % | –0,6 % |

*Окончание таблицы F.2*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Холодная/сухая экстракция | | in situ |
|---|---|---|---|---|
| | | НДИК, перекрестная модуляция[a] | НДИК, двойной луч[a] | ДЛС |
| Перекрестная чувствительность | ≤ 4 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | –1,0 % | –0,8 % | –0,4 % |
| Отклонение измерительного луча перекрестной системы *in situ* АИС | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | — | | |
| [a] Данные взяты из протоколов испытаний (см. [*9*]). | | | | |

**F.3 Измерение $O_2$**

Результаты испытаний эксплуатационных характеристик приложения Е для измерения $O_2$ с использованием парамагнитных и электрохимических методов (см. приложение В) приведены в таблице *F.3*.

Таблица *F.3* — Эксплуатационные характеристики измерения $O_2$ с использованием экстрактивного парамагнитного метода (магнитопневматического типа и гантельного типа) и электрохимического метода

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Холодная экстракция | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Магнитопневматический[a] | Гантельный[a] | Электрохимический[a] |
| Типичный низкий диапазон | 25 % (об.доля) | | | |
| Время отклика | ≤ 200 с | 57 с | 51 с | 71 с |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке | ≤ 0,2 % (об.доля) | 0,01 % (об.доля) | 0,00 % (об.доля) | 0,04 % (об.доля) |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | | 0,02 % (об.доля) | | |
| Несоответствия | | 0,07 % (об.доля) | 0,03 % (об.доля) | 0,02 % (об.доля) |
| Нулевой дрейф за 24 часа | | — | | |
| Дрейф точки за 24 часа | | — | | |
| Нулевой дрейф в период автономной работы | | 0,19 % (об.доля) | 0,02 % (об.доля) | –0,06 % (об.доля) |
| Дрейф точки диапазона в период автономной работы | | 0,16 % (об.доля) | 0,05 % (об.доля) | 0,05 % (об.доля) |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | | — | | |
| Чувствительность к потоку анализируемого газа для экстрактивной АИС | | 0,1 % (об.доля) | — | |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | ≤ 0,3 % (об.доля) | 0,22 % (об.доля) | 0,10 % (об.доля) | 0,23 % (об.доля) |
| Чувствительность к электрическому напряжению | ≤ 0,2 % (об.доля) при 10В | 0,04 % (об.доля) | 0,00 % (об.доля) | 0,02 % (об.доля) |

*Окончание таблицы F.3*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Холодная экстракция | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Магнитопневматический[a] | Гантельный[a] | Электрохимический[a] |
| Перекрестная чувствительность | ≤ 0,4 % (об.доля) | –0,19 % (об.доля) | 0,10 % (об.доля) | 0,00 % (об.доля) |
| [a] Данные взяты из протоколов испытаний (см. [*9*]). | | | | |

Результаты испытаний эксплуатационных характеристик приложения Е для измерения $O_2$ с использованием метода экстракции циркония (см. приложение В) и методов *in situ* с использованием циркония и ДЛС (см. приложение С) приведены в таблице *F.4*.

Таблица *F.4* — Эксплуатационные характеристики измерения $O_2$ с использованием экстрактивного парамагнитного метода (магнитопневматического типа и гантельного типа) и электрохимического метода

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Экстракция и использование циркония [a] | *in situ* | |
|---|---|---|---|---|
| | | | *In situ* с использованием циркония [a] | ДЛС |
| Типичный низкий диапазон | 25 % | | | |
| Время отклика | ≤ 200 с | 90 с | 17 с | 1,6 с |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в нулевой точке | ≤ 0,2 % (об.доля) | 0,02 % (об.доля) | 0,00 % (об.доля) | 0,1 % (об.доля) |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | | 0,0 % (об.доля) | 0,07 % (об.доля) | 0,11 % (об.доля) |
| Несоответствия | | –0,04 % (об.доля) | 0,09 % (об.доля) | 0,55 % (об.доля) |
| Нулевой дрейф за 24 ч | | — | | 0,45 % (об.доля) |
| Дрейф точки за 24 ч | | | | 0,13 % (об.доля) |
| Нулевой дрейф в период автономной работы | | –0,052 % (об.доля) | 0,16 % (об.доля) | — |
| Дрейф точки диапазона в период автономной работы | | 0,10 % (об.доля) | 0,19 % (об.доля) | — |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | | — | –0,20 % (об.доля) | — |
| Чувствительность к потоку анализируемого газа для экстрактивной АИС | | 0,063 % (об.доля) | — | |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | ≤ 0,3 % (об.доля) | 0,23 % (об.доля) | 0,15 % (об.доля) | 0,30 % (об.доля) |
| Чувствительность к электрическому напряжению | ≤ 0,2 % (об.доля) при 10 В | 0,023 % (об.доля) | 0,06 % (об.доля) | 0,0 % (об.доля) |
| Перекрестная чувствительность | ≤ 0,4 % (об.доля) | 0,14 % (об.доля) | –0,23 % (об.доля) | 0,0 % (об.доля) |

*Окончание таблицы F.4*

| Эксплуатационные характеристики | Критерии соответствия требованиям | Экстракция и использование циркония [a] | *in situ* | |
|---|---|---|---|---|
| | | | *In situ* с использованием циркония [a] | ДЛС |
| Отклонение измерительного луча перекрестной системы *in situ* АИС | ≤ 2 % от верхнего предела самого нижнего используемого диапазона измерения | — | | |
| [a] Данные взяты из протоколов испытаний (см. [*9*]). | | | | |

## Приложение G
## (справочное)

# Расчет неопределенности измерения CO, $CO_2$ и $O_2$

### G.1 Общие положения

Уравнения модели в этом разделе, а также расчеты составляющих неопределенностей связаны со значениями, измеренными анализатором и выраженными в мг/м$^3$ CO и об. % $CO_2$ и $O_2$. Объяснение и процедуры расчета стандартной неопределенности, связанной с измерением, приведены в [*3*].

### G.2 Результаты расчета неопределенности

Количественная оценка влияния выбранных эксплуатационных характеристик как стандартная составляющая неопределенности рассчитывается в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 14956*.

Результаты расчета неопределенности результатов эксплуатационных испытаний для измерения CO с использованием методов НДИР и ДЛС на основе результатов таблицы *F.1 приведены в таблице G.1*

Таблица G.1

| Эксплуатационные характеристики | Составляющая неопределенности | Значение стандартной неопределенности на верхнем пределе наименьшего используемого диапазона измерений, мг/м$^3$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Холодная экстракция | | *In situ* |
| | | НДИК, перекрестная модуляция | НДИК, двойной луч | ДЛС |
| Стандартное отклонение повторяемости в нулевой точке | $u_{r,0}$ | 0,6 % · 50 = 0,3 | 0,02 % · 75 = 0,02 | 0,1 % · 250 = 0,25 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | $u_{r,s}$ | 1,3 % · 50 = 0,65 | 0,05 % · 175 = 0,04 | 0,45 % · 250 = 1,1 |
| Несоответствие | $u_{lof}$ | $\frac{0,6\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = 0,17$ | $\frac{-0,17\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = -0,07$ | $\frac{0,96\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 0,14$ |
| Нулевой дрейф за 24 ч | $u_{d,0}$ | — | | $\frac{1,3\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 1,9$ |
| Дрейф точки за 24 ч | $u_{d,s}$ | | | $\frac{2,2\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 3,2$ |
| Дрейф нулевой точки на период автономной работы | $u_{d,0}$ | $\frac{-0,4\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = -0,12$ | $\frac{1,2\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = 0,52$ | — |
| Дрейф точки диапазона на период автономной работы | $u_{d,s}$ | $\frac{2,3\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = 0,66$ | $\frac{-2,0\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = -0,87$ | — |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | $u_{inf,p}$ | — | | |
| Чувствительность к расходу анализируемого газа для экстрактивных АИС | $u_{inf,f}$ | $\frac{0,01\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = 0,0$ | $\frac{2,0\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = 0,87$ | — |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | $u_{inf,T}$ | $\frac{1,2\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = -0,35$ | $\frac{2,7\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = 1,2$ | $\frac{1,4\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 2,0$ |
| Чувствительность к электрическому напряжению | $u_{inf,V}$ | $\frac{0,5\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = 0,14$ | $\frac{0,1\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = 0,04$ | $\frac{0,8\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 1,2$ |

*Окончание таблицы G.1*

| Эксплуатационные характеристики | Составляющая неопределенности | Значение стандартной неопределенности на верхнем пределе наименьшего используемого диапазона измерений, мг/м$^3$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Холодная экстракция | | *In situ* |
| | | НДИК, перекрестная модуляция | НДИК, двойной луч | ДЛС |
| Перекрестная чувствительность | $u_{i,\,CO}$ | $\frac{2,6\ \% \cdot 50}{\sqrt{3}} = 0,75$ | $\frac{-2,4\ \% \cdot 75}{\sqrt{3}} = 1,0$ | $\frac{1,5\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 2,2$ |
| Перемещение измерительного луча в *in situ* АИС | $u_{mb}$ | — | | $\frac{2,0\ \% \cdot 250}{\sqrt{3}} = 2,9$ |

Суммарную неопределенность $u(\gamma_{CO})$ и расширенную неопределенность $U(\gamma_{CO})$ рассчитывают по формулам:

$$u(\gamma_{CO}) = \sqrt{u_{r,0}^2 + u_{r,s}^2 + u_{lof}^2 + u_{d,0}^2 + u_{d,s}^2 + u_{inf,p}^2 + u_{inf,f}^2 + u_{inf,T}^2 + u_{inf,V}^2 + u_{i,CO}^2 + u_{mb}^2}, \quad (G.1)$$

$$U(\gamma_{CO}) = k \cdot u(\gamma_{CO}) = 1,96u(\gamma_{CO}), \quad (G.2)$$

где $k$ — коэффициент охвата (= 1,96).

### *G.3* НДИК, тип АИС с перекрестной модуляцией

Суммарную неопределенность $u(\gamma_{CO})$ рассчитывают с использованием уравнения (G.1) и значения каждой частной стандартной неопределенности, приведенной в таблице G.1 в качестве примера:

$$u(\gamma_{CO}) = \sqrt{0,3^2 + 0,65^2 + 0,17^2 + (-0,12)^2 + 0,66^2 + 0,0^2 + 0,35^2 + 0,14^2 + 0,75^2} = \sqrt{1,70} = 1,3 \text{ мг/м}^3.$$

Таким образом, расширенную неопределенность $U(\gamma_{CO})$ рассчитывают как 1,96 · 1,3 = 2,55 мг/м$^3$ (относительная расширенная неопределенность 5,1 %).

### *G.4* НДИК, двухлучевой тип АИС

На основании данных, перечисленных в таблице G.1, суммарную неопределенность на верхнем пределе нижнего диапазона измерения 75 мг/м$^3$ оценивают в 2,06 мг/м$^3$.

Таким образом, расширенную неопределенность $U(\gamma_{CO})$ рассчитывают как 4,04 мг/м$^3$ (относительная расширенная неопределенность 5,4 %).

### *G.5 In situ* ДЛС типа АИС

Суммарную неопределенность на верхнем пределе нижнего диапазона измерения 250 мг/м$^3$ оценивают как 6,00 мг/м$^3$.

Таким образом, расширенную неопределенность $U(\gamma_{CO})$ рассчитывают как 11,8 мг/м$^3$ (относительная расширенная неопределенность 4,7 %).

Результаты расчета неопределенности результатов эксплуатационных испытаний для измерения $CO_2$ с использованием методов НДИР и ДЛС на основе результатов таблицы F.2 *приведены в таблицы G.2*

Таблица G.2

| Эксплуатационные характеристики | Составляющая неопределенности | Значение стандартной неопределенности на верхнем пределе наименьшего используемого диапазона измерений, %, (об.доля) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Холодная экстракция | | *In situ* |
| | | НДИК, перекрестная модуляция | НДИК, двойной луч | ДЛС |
| Стандартное отклонение повторяемости в нулевой точке | $u_{r,0}$ | 0,0 % · 20 = 0,0 | | 0,07 % · 20 = 0,01 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | $u_{r,s}$ | 0,1 % · 20 = 0,02 | 0,05 % · 20 = 0,01 | |
| Несоответствие | $u_{lof}$ | $\frac{1,0\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,12$ | $\frac{0,35\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,04$ | $\frac{1,9\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,22$ |

*Окончание таблицы G.2*

| Эксплуатационные характеристики | Составляющая неопределенности | Значение стандартной неопределенности на верхнем пределе наименьшего используемого диапазона измерений, %, (об.доля) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Холодная экстракция | | *In situ* |
| | | НДИК, перекрестная модуляция | НДИК, двойной луч | ДЛС |
| Нулевой дрейф за 24 ч | $u_{d,0}$ | — | | $\frac{-0,2\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,02$ |
| Дрейф точки за 24 ч | $u_{d,s}$ | | | $\frac{1,6\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,19$ |
| Дрейф нулевой точки на период автономной работы | $u_{d,0}$ | $\frac{-0,6\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,07$ | $\frac{0,1\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,01$ | — |
| Дрейф точки диапазона на период автономной работы | $u_{d,s}$ | $\frac{2,7\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,31$ | $\frac{-1,8\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,21$ | — |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | $u_{inf,p}$ | — | | |
| Чувствительность к расходу анализируемого газа для экстрактивных АИС | $u_{inf,f}$ | $\frac{0,1\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,01$ | — | |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | $u_{inf,T}$ | $\frac{0,5\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,06$ | $\frac{1,8\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,21$ | $\frac{0,5\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,06$ |
| Чувствительность к электрическому напряжению | $u_{inf,V}$ | $\frac{-0,6\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,07$ | 0,0 | $\frac{-0,6\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,07$ |
| Перекрестная чувствительность | $u_{i,\ CO_2}$ | $\frac{-1,0\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,12$ | $\frac{-0,8\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,09$ | $\frac{-0,4\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = -0,05$ |
| Перемещение измерительного луча в *in situ* АИС | $u_{mb}$ | — | | $\frac{2,0\ \% \cdot 20}{\sqrt{3}} = 0,23$ |

Суммарную неопределенность $u(\gamma_{CO_2})$ и расширенную неопределенность $U(\gamma_{CO_2})$ рассчитывают аналогично CO.

### *G.6* НДИК, тип АИС с перекрестной модуляцией

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений 20 об. % $CO_2$ следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,38 % (об.доля) (1,9 %);
- расширенная неопределенность $U(\gamma_{CO_2})$: 0,74 % (об.доля) (3,7 %).

### *G.7* НДИК, двухлучевой тип АИС

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений 20 об. % $CO_2$ следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,39 % (об.доля) (2,0 %);
- расширенная неопределенность $U(\gamma_{CO_2})$: 0,76 % (об.доля) (3,8 %).

### *G.8 In situ* АИС, тип ДЛС

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений 20 об. % $CO_2$ следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,39 % (об.доля) (2,0 %);
- расширенная неопределенность $U(\gamma_{CO_2})$: 0,77 % (об.доля) (3,8 %).

Результаты расчета неопределенности результатов эксплуатационных испытаний для измерения $O_2$ парамагнитными методами (магнитопневматическими и гантельными) и электрохимическими методами на основе результатов таблицы *F.3 приведены в таблицы G.3.*

Таблица G.3

| Эксплуатационные характеристики | Составляющая неопределенности | Значение стандартной неопределенности на верхнем пределе наименьшего используемого диапазона измерений, % (об.доля) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Холодная экстракция | | |
| | | Магнитопневматический | Гантельный | Электрохимический |
| Стандартное отклонение повторяемости в нулевой точке | $u_{r,0}$ | 0,0 | 0,00 | 0,01 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | $u_{r,s}$ | 0,01 | 0,001 | |
| Несоответствие | $u_{lof}$ | $\frac{0,07\ \%}{\sqrt{3}} = 0,04$ | $\frac{0,03\ \%}{\sqrt{3}} = 0,017$ | $\frac{0,02\ \%}{\sqrt{3}} = 0,012$ |
| Нулевой дрейф за 24 ч | $u_{d,0}$ | — | | |
| Дрейф точки за 24 ч | $u_{d,s}$ | — | | |
| Дрейф нулевой точки на период автономной работы | $u_{d,0}$ | $\frac{0,19\ \%}{\sqrt{3}} = 0,11$ | $\frac{0,02\ \%}{\sqrt{3}} = 0,01$ | $\frac{-0,06\ \%}{\sqrt{3}} = 0,035$ |
| Дрейф точки диапазона на период автономной работы | $u_{d,s}$ | $\frac{0,16\ \%}{\sqrt{3}} = 0,09$ | $\frac{0,05\ \%}{\sqrt{3}} = 0,03$ | $\frac{0,07\ \%}{\sqrt{3}} = 0,029$ |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | $u_{inf,p}$ | — | | |
| Чувствительность к расходу анализируемого газа для экстрактивных АИС | $u_{inf,f}$ | $\frac{1,0\ \%}{\sqrt{3}} = 0,06$ | — | $\frac{0,04\ \%}{\sqrt{3}} = 0,023$ |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | $u_{inf,T}$ | $\frac{0,22\ \%}{\sqrt{3}} = 0,13$ | $\frac{0,10\ \%}{\sqrt{3}} = 0,055$ | $\frac{0,23\ \%}{\sqrt{3}} = 0,133$ |
| Чувствительность к электрическому напряжению | $u_{inf,V}$ | $\frac{0,04\ \%}{\sqrt{3}} = 0,023$ | $\frac{0,0\ \%}{\sqrt{3}} = 0,00$ | $\frac{0,02\ \%}{\sqrt{3}} = 0,012$ |
| Перекрестная чувствительность | $u_{i,\,O_2}$ | $\frac{0,19\ \%}{\sqrt{3}} = 0,11$ | $\frac{0,10\ \%}{\sqrt{3}} = 0,06$ | $\frac{0,00\ \%}{\sqrt{3}} = 0,00$ |

***G.9* АИС магнитопневматического типа**

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений, составляющего 25 % по объему $O_2$, следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,24 % (об.доля) (1,0 %) $u_{i,\,O_2}$;
- расширенная погрешность $U(\gamma_{O_2})$: 0,47 % (об.доля) (1,9 %).

***G.10* АИС гантельного типа**

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений, составляющего 25 % по объему $O_2$, следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,09 % (об.доля) (0,4 %);
- расширенная неопределенность $U(\gamma_{O_2})$: 0,18 % (об.доля) (0,7 %).

*G.11* **АИС с электрохимической ячейкой**

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений, составляющего 25 % по объему $O_2$, следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,14 % (об.доля) (0,6 %);
- расширенная неопределенность $U(\gamma_{O_2})$: 0,28 % (об.доля) (1,1 %).

Результаты расчета неопределенности результатов эксплуатационных испытаний для измерения $O_2$ с использованием методов $ZrO_2$ и ДЛС на основе результатов таблицы *F.4 приведены в таблицы G.4.*

Таблица G.4

| Эксплуатационные характеристики | Составляющая неопределенности | Значение стандартной неопределенности на верхнем пределе наименьшего используемого диапазона измерений, %, (об.доля) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Экстракция | *In situ* | |
| | | $ZrO_2$ | $ZrO_2$ горячий метод | ДЛС |
| Стандартное отклонение повторяемости в нулевой точке | $u_{r,0}$ | 0,02 | 0,00 | 0,06 |
| Стандартное отклонение воспроизводимости в точке диапазона | $u_{r,s}$ | 0,0 | 0,07 | 0,11 |
| Несоответствие | $u_{lof}$ | $\frac{0,04\ \%}{\sqrt{3}} = 0,23$ | $\frac{0,09\ \%}{\sqrt{3}} = 0,05$ | $\frac{0,55\ \%}{\sqrt{3}} = 0,32$ |
| Нулевой дрейф за 24 ч | $u_{d,0}$ | — | | $\frac{0,45\ \%}{\sqrt{3}} = 0,26$ |
| Дрейф точки за 24 ч | $u_{d,s}$ | | | $\frac{0,13\ \%}{\sqrt{3}} = 0,08$ |
| Дрейф нулевой точки на период автономной работы | $u_{d,0}$ | $\frac{0,05\ \%}{\sqrt{3}} = 0,03$ | $\frac{0,16\ \%}{\sqrt{3}} = 0,09$ | — |
| Дрейф точки диапазона на период автономной работы | $u_{d,s}$ | $\frac{0,10\ \%}{\sqrt{3}} = 0,055$ | $\frac{0,19\ \%}{\sqrt{3}} = 0,11$ | |
| Чувствительность к давлению измеряемого газа при изменении давления на 2 кПа | $u_{inf,p}$ | — | $\frac{-0,20\ \%}{\sqrt{3}} = 0,12$ | |
| Чувствительность к расходу анализируемого газа для экстрактивных АИС | $u_{inf,f}$ | $\frac{0,063\ \%}{\sqrt{3}} = 0,04$ | — | |
| Чувствительность к температуре окружающей среды при изменении на 10 К | $u_{inf,T}$ | $\frac{0,22\ \%}{\sqrt{3}} = 0,13$ | $\frac{0,15\ \%}{\sqrt{3}} = 0,09$ | $\frac{0,30\ \%}{\sqrt{3}} = 0,17$ |
| Чувствительность к электрическому напряжению | $u_{inf,V}$ | $\frac{0,02\ \%}{\sqrt{3}} = 0,01$ | $\frac{0,06\ \%}{\sqrt{3}} = 0,03$ | 0,0 |
| Перекрестная чувствительность | $u_{i,\ O_2}$ | $\frac{0,14\ \%}{\sqrt{3}} = 0,08$ | $\frac{-0,23\ \%}{\sqrt{3}} = -0,13$ | |
| Перемещение измерительного луча в *in situ* АИС | $u_{mb}$ | — | | $\frac{2,0\ \% \cdot 25\ \%\ (\text{об.доля})}{\sqrt{3}} = 0,29$ |

### *G.12* Экстрактивная АИС с использованием $ZrO_2$

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений, составляющего 25 % по объему $O_2$, следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,17 % (об.доля) (0,68 %);
- расширенная погрешность: 0,33 % (об.доля) (1,3 %).

### *G.13 In situ* АИС горячего метода с использованием $ZrO_2$

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений, составляющего 25 % по объему $O_2$, следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,31 % (об.доля) (1,2 %);
- расширенная погрешность: 0,61 % (об.доля) (2,4 %).

### *G.14 In situ* АИС тип ДЛС

Суммарную неопределенность рассчитывают для самого низкого диапазона измерений, составляющего 25 % по объему $O_2$, следующим образом:

- суммарная неопределенность: 0,55 % (об.доля) (2,2 %);
- расширенная неопределенность: 1,1 % (об.доля) (4,3 %).

**Приложение ДА**
**(справочное)**

## Перечень технических отклонений, внесенных в содержание национального стандарта при его модификации по отношению к примененному международному стандарту

Таблица ДА.1

| Структурный элемент настоящего стандарта | Технические отклонения и причины их внесения |
|---|---|
| Раздел 1 | Добавлен дополнительный абзац, для исключения возможного конфликта с действующими нормативно-техническими и нормативно-правовыми документами в области контроля выбросов с помощью АИС |
| Раздел 2 | Ссылочный международный стандарт заменен на ссылочный национальный стандарт |
| Раздел 2 | Добавлена ссылка на ГОСТ Р ЕН 15259 для уточнения требований по установке АИС |
| Раздел 3 | Добавлен пункт 3.4 для дополнительного разъяснения терминологии |
| Раздел 3 | Нумерация терминов изменена в связи с введением дополнительного термина |
| Раздел 5 | Исключено последнее предложение, в предыдущее предложение внесено уточнение |
| Раздел 5 | В шестой абзац внесено уточняющее пояснение с ссылкой на ГОСТ Р ЕН 15259 для уточнения требований по установке АИС |
| Подраздел 6.1 | В последний абзац внесено дополненное разъяснение по тексту стандарта |
| Подраздел 8.1 | Примечание удалено в связи с отменой ИСО 14385-1:2014 и ИСО 14385-2:2014 |
| Примечание — Остальные положения настоящего стандарта идентичны положениям международного стандарта ИСО 12039:2019. | |

**Приложение ДБ**
**(справочное)**

## Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДБ.1

| Обозначение ссылочного национального стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего международного стандарта |
|---|---|---|
| ГОСТ Р ИСО 14956—2007 | IDT | ISO 14956:2002 «Качество воздуха. Оценка применимости методики выполнения измерений на основе степени ее соответствия требованиям к неопределенности измерения» |

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:

- IDT — идентичный стандарт.

## Библиография


[1] ИСО 9169:2006 — Качество воздуха. Терминология и определения рабочих характеристик автоматических измерительных систем

(Air quality — Definition and determination of performance characteristics of an automatic measuring system)

[2] Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 — Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995)

[Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)]

[3] ИСО 20988:2007 — Качество воздуха. Руководящие указания по оцениванию погрешности измерения

(Air quality — Guidelines for estimating measurement uncertainty)

[4] *Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»*

[5] *Постановление Правительства Российской Федерации № 1847 от 16 ноября 2020 г. «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»*

[6] Jahnke James A. Continuous Emissions Monitoring, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 2000

[7] Baumbach Günter, Air Quality Control, Springer Berlin, Heidelberg, New York, 1996

[8] *Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»*

[9] The references for the AMS with EN 15267 certificates managed by TÜV, gost.e-ecolog.ru . URL: gost.e-ecolog.ru products/ (дата обращения: 20 января 2026 г.)

УДК 504.3:006.354 ОКС 13.040.40

Ключевые слова: выбросы стационарных источников, отходящие газы, оксиды углерода, кислород, автоматическая измерительная система

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 12.02.2026. Подписано в печать 27.02.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru