ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 16000-8— 2011

ВОЗДУХ ЗАМКНУТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Часть 8

Определение локального среднего «возраста» воздуха в зданиях для оценки условий вентиляции

ISO 16000-8:2007
Indoor air — Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного 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 7 декабря 2011 г. № 728-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 16000-8:2007 «Воздух замкнутых помещений. Часть 8. Определение локального среднего «возраста» воздуха в зданиях для оценки условий вентиляции» (ISO 16000-8:2007 «Indoor air — Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2012

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 1
4 Принципы измерений содержания индикаторного газа для определения условий вентиляции . . . 2
4.1 Общие принципы . . . 2
4.2 Выбранные методики с применением индикаторного газа . . . 2
5 Планирование измерений . . . 3
5.1 Общие положения . . . 3
5.2 Идентификация вентилируемой системы . . . 4
5.3 Идентификация зон . . . 4
5.4 Выбор методики измерений . . . 4
5.5 Определение точек отбора проб . . . 5
6 Индикаторные газы и оборудование для определения условий вентиляции . . . 5
6.1 Выбор индикаторного газа . . . 5
6.2 Уровень содержания индикаторного газа . . . 5
6.3 Оборудование для подачи индикаторного газа . . . 5
6.4 Отбор проб индикаторного газа . . . 6
6.5 Определение содержания индикаторного газа . . . 7
7 Метод измерений . . . 7
7.1 Методика убывания содержания индикаторного газа . . . 7
7.2 Методика активного равномерного введения . . . 9
7.3 Методика пассивного равномерного введения . . . 10
8 Применение результатов . . . 10
9 Протокол испытаний . . . 11
Приложение А (справочное) Пояснения некоторых терминов и определений . . . 12
Приложение В (справочное) Общие требования к наиболее часто используемым индикаторным газам, их фоновому содержанию и методам количественного определения . . . 13
Приложение С (справочное) Оценка неопределенности измерений локального среднего «возраста» воздуха . . . 15
Приложение D (справочное) Примеры методик измерений, вычисления результатов и оценки неопределенности . . . 18
Приложение Е (справочное) Локальный средний «возраст» воздуха в оценке качества воздуха и представление результатов . . . 33
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . 36
Библиография . . . 37

Введение

Эффективный воздухообмен во всем здании имеет важное значение для обеспечения качества воздуха замкнутых помещений. Надлежащая вентиляция помещений необходима для сохранения здоровья и комфортного самочувствия его обитателей, а также для предотвращения повышенной влажности воздуха. Однако устанавливаемые в настоящее время плотно закрывающиеся окна, например в жилых и офисных зданиях, не обеспечивают соответствующей вентиляции. В свою очередь это может привести к повышенному содержанию загрязняющих веществ в воздухе замкнутых помещений. Поэтому необходима вентиляция, осуществляемая обитателями помещений, или автоматическая система вентиляции. Однако интенсивная вентиляция может быть причиной появления дискомфорта у обитателей здания и увеличения энергопотребления.

Строительными нормами и правилами предусмотрены контроль влажности и загрязняющих веществ при вентиляции зданий. Оценка условий вентиляции позволяет подтвердить, выполняются ли эти требования на практике. Определение условий вентиляции необходимо для выявления возможных причин плохого качества воздуха замкнутых помещений. Таким образом, целесообразно проводить отбор проб воздуха замкнутых помещений и анализ загрязняющих веществ в сочетании с определением условий вентиляции, обеспечивающим оценку интенсивности источников загрязнения.

В настоящем стандарте приведен метод определения «возраста» воздуха в здании с естественной или принудительной вентиляцией с использованием одного индикаторного газа. «Возраст» воздуха — важный показатель, используемый при проверке вентиляции на соответствие требованиям. Понятие «локальный средний «возраст» воздуха» (и противоположное ему понятие «локальная эффективная кратность воздухообмена») используют при оценке условий вентиляции в здании. Средний «возраст» воздуха в зоне здания определяет средний срок его пребывания в рассматриваемой зоне, в течение которого в нем накапливались загрязняющие вещества. Он тесно связан со временем, необходимым для смены воздуха в зоне. Чем дольше воздух находился в замкнутом помещении, тем выше в нем будет содержание загрязняющего вещества, выделяемого постоянными источниками в замкнутом помещении. Чем меньше «возраст» воздуха на участке, тем ниже содержание загрязняющего вещества. Обычно свежий воздух поступает в здание в определенных местах и находит пути распространения по всему зданию. Таким образом, перед тем как свежий воздух достигнет конкретного помещения, значительная его часть может задерживаться в других помещениях, накапливая загрязняющие вещества. Поэтому при оценке качества воздуха необходимо учитывать локальный средний «возраст» воздуха, определяющий срок его пребывания в конкретной зоне замкнутого помещения.

В настоящем стандарте приведены методики определения условий вентиляции, используемые при исследовании качества воздуха. С этой целью оценивают кратность воздухообмена и модели распространения воздуха в здании для представительных условий.

В ИСО 12569 установлен метод определения кратности воздухообмена в единственной зоне с применением методик разбавления индикаторного газа. Методики разбавления индикаторного газа основаны на убывании его содержания, непрерывном вводе и поддержании постоянного содержания. ИСО 12569 применяют при исследовании тепловых характеристик зданий.

Если воздухообмен в определенной зоне происходит только за счет поступления наружного воздуха (т. е. в эту зону не поступает воздух из других частей здания), то содержание индикаторного газа в этой зоне может быть охарактеризовано единственным значением, а условия вентиляции будут постоянными на протяжении всего измерения; теоретически при применении настоящего стандарта и ИСО 12569 должны быть получены идентичные результаты. Однако методики, приведенные в настоящем стандарте, могут быть использованы и при других условиях, например на участках с несколькими зонами, между которыми происходит воздухообмен, и если во время измерения происходит изменение условий вентиляции.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЗДУХ ЗАМКНУТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Часть 8

Определение локального среднего «возраста» воздуха в зданиях для оценки условий вентиляции

Indoor air. Part 8. Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions

Дата введения — 2012—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод определения локального среднего «возраста» воздуха (ЛСВВ) как показателя условий вентиляции в здании с использованием одного индикаторного газа. ЛСВВ определяют по убыванию содержания индикаторного газа и по методике равномерного непрерывного введения.

Приведенный метод предназначен для оценивания качества воздуха и может быть использован для:

a) проверки соблюдения требований к вентиляции здания;

b) оценки удовлетворительности вентиляции в зданиях, где имеются проблемы с качеством воздуха замкнутых помещений, и

c) описания интенсивности и распределения источников выделения загрязняющих веществ в замкнутых помещениях.

В принципе методики могут быть применены для всех замкнутых помещений вне зависимости от типа используемой системы вентиляции и полноты перемешивания воздуха между зонами. Преобладающие условия вентиляции не обязательно будут нарушаться при проведении измерений.

В настоящем стандарте подробно не рассмотрены методы количественного определения индикаторного газа. Перед планированием измерений в реальных условиях решают, необходимы ли услуги лабораторий, проводящих подобные анализы.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты:

ИСО 12569 Тепловые характеристики зданий. Определение кратности воздухообмена в зданиях. Методика разбавления индикаторного газа (ISO 12569, Thermal performance of buildings — Determination of air change in buildings — Tracer gas dilution method)

Руководство по выражению неопределенности измерения (Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), published jointly by BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1993)[1)]

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **равномерное введение** (homogeneous emission): Способ введения индикаторного газа, при котором скорость его введения на единицу объема одинакова во всех частях вентилируемой системы.

[1)] Исправлено и повторно опубликовано в 1995 г. Будет повторно опубликовано в виде ISO/IEC Guide 98-3.

Издание официальное

3.2 **локальный средний «возраст» воздуха** (local mean age of air): Параметр вентиляции, характеризующий среднюю продолжительность времени, в течение которого воздух находился в конкретной зоне здания.

Примечание — Подробная расшифровка этого термина приведена в приложении А.1.

3.3 **вентилируемая система** (ventilated system): Помещение здания, напрямую или косвенно участвующее в воздухообмене с исследуемым помещением.

Примечание — На границе вентилируемой системы происходит приток только наружного воздуха.

3.4 **зона** (zone): Помещение внутри здания, в котором перемешивание воздуха достаточно интенсивно для обеспечения практически равномерного содержания индикаторного газа, введенного в любом месте этого помещения.

Примечания

1 Помещение следует рассматривать как зону, если разность значений содержания индикаторного вещества не превышает 20 % его среднего значения.

2 Зона может быть частью помещения, помещением или совокупностью нескольких помещений.

3.5 **средний «возраст» воздуха в зоне** (zont mean age of air): Параметр вентиляции, характеризующий продолжительность периода времени, в течение которого в среднем воздух находился в конкретной зоне.

Примечание — При полном перемешивании в пределах зоны это эквивалентно локальному среднему «возрасту» воздуха в любой точке зоны.

4 Принципы измерений содержания индикаторного газа для определения условий вентиляции

4.1 Общие принципы

Применение индикаторного газа для оценки условий вентиляции основано на возможности отличить воздух, уже находящийся в рассматриваемом помещении от вновь поступающего. Это означает, что должна быть возможность либо регистрировать состав воздуха уже находящегося в помещении и следить, как этот воздух замещается при вентиляции вновь поступившим, или, в качестве альтернативы, зарегистрировать состав поступающего воздуха и следить за тем, как этот воздух распространяется в помещении.

Следует заметить, что воздух, натекающий в конкретную зону из других зон с более низким или высоким содержанием индикаторного газа, будет влиять на результат измерений. Поэтому важно соблюдать установленные граничные условия, разные для различных методик применения индикаторного газа.

Если условия вентиляции требуется определять в зоне, куда не поступает воздух из других частей здания (единая изолированная зона), то для получения корректных результатов нет необходимости вводить индикаторный газ или регистрировать состав воздуха в других частях здания. Однако если между зоной и другими частями здания может происходить воздухообмен, что наблюдается в большинстве случаев, то следуют специальным методикам введения индикаторного газа с прослеживанием связанных зон во избежание получения неоднозначных результатов. Также следует отметить, что закрытие дверей в помещении не обязательно приведет к прекращению поступления воздуха из других частей здания. При применении таких способов ограничения нормального притока воздуха будет происходить изменение условий вентиляции в помещении по сравнению с теми, которые могли преобладать в других случаях.

4.2 Выбранные методики с применением индикаторного газа

4.2.1 Общие положения

В настоящем стандарте приведены методики введения индикаторного газа и измерений в помещениях, которые не могут рассматриваться в качестве единой изолированной зоны. В ИСО 12569 установлены методики разбавления индикаторного газа для помещений, рассматриваемых как единая изолированная зона. Если при проведении измерений условия вентиляции остаются неизменными, а исследуемое помещение можно рассматривать как единую изолированную зону, то теоретически методики, установленные в настоящем стандарте и ИСО 12569, будут практически идентичны. В этих условиях ЛСВВ будет равен обратному значению кратности воздухообмена (см. ИСО 12569).

4.2.2 Методика убывания содержания индикаторного газа

Методика основана на введении в вентилируемую систему индикаторного газа и определении скорости замены маркированного воздуха на немаркированный.

В исследуемую зону и во все другие зоны здания, напрямую или косвенно участвующие в воздухообмене с исследуемой зоной, вводят индикаторный газ, чтобы его начальное содержание в воздухе было равномерным. Такой подход предотвратит поступление из других частей здания воздуха, рассматриваемого как «чистый приточный воздух», от воздуха, реально поступающего за счет вентиляции.

Регистрируют изменение содержания индикаторного газа как функцию времени. ЛСВВ вычисляют делением результата интегрирования по времени содержания индикаторного газа в воздухе на его начальное содержание.

ЛСВВ определяют по убыванию содержания индикаторного газа при кратности воздухообмена не более $n = 10\ ч^{-1}$.

4.2.3 Методика активного равномерного введения индикаторного газа

При использовании методики активного равномерного введения индикаторный газ подают с постоянной контролируемой скоростью в зоны с помощью подходящего регулируемого устройства ввода. Расход индикаторного газа должен быть пропорционален объемам зон. Установившееся содержание индикаторного газа в воздухе помещения измеряют соответствующим газоанализатором. ЛСВВ получают делением объемной доли индикаторного газа в воздухе в установившемся состоянии на скорость его введения на единицу объема.

В исследуемой зоне и других зонах в здании, напрямую или косвенно участвующих в воздухообмене с исследуемой зоной, должны быть установлены устройства для непрерывного равномерного введения индикаторного газа.

4.2.4 Методика пассивного равномерного введения индикаторного газа

При использовании методики пассивного равномерного введения индикаторного газа он попадает в зоны с известной постоянной скоростью с использованием диффузионных источников. Расход индикаторного газа должен быть пропорционален объемам зон. Установившееся содержание индикаторного газа в воздухе помещения измеряют путем анализа пробы воздуха, отобранной в трубку с сорбентом (активным методом с использованием побудителя расхода для отбора проб или пассивным методом с использованием диффузионного отбора проб), в специальной оборудованной лаборатории. ЛСВВ получают делением содержания индикаторного газа в установившемся состоянии на скорость его выделения на единицу объема.

В исследуемой зоне и всех других зонах в здании, напрямую или косвенно участвующих в воздухообмене с исследуемой зоной, должны быть установлены устройства для непрерывного равномерного введения индикаторного газа.

При применении данной методики необходимо обратиться в специализированную аналитическую лабораторию, которая может провести анализ отобранной в сорбционную трубку пробы для определения количества индикаторного газа в пробе.

5 Планирование измерений

5.1 Общие положения

Перед определением ЛСВВ в некотором помещении здания следует четко определить цель измерений. Для выбора методики применения индикаторного газа и тщательного планирования испытания необходимо знать тип здания и особые характеристики части здания, где должны быть проведены измерения.

Кратность воздухообмена и характеристики распределения воздуха в здании следует определять в условиях, представительных для планируемого измерения. Эти условия не должны нарушаться при проведении измерений, если только эксперимент не направлен на исследование влияния различных условий, например открывания дверей, окон и т. д.

Методика равномерного введения с использованием для отбора проб трубок с адсорбентом наилучшим образом подходит для определения условий вентиляции при исследовании качества воздуха. В зависимости от требований могут быть выполнены кратковременные измерения (отбор с помощью побудителя расхода пробы воздуха объемом в несколько литров) или долговременные измерения (пассивный отбор проб в течение нескольких дней или недель). При выяснении причин ухудшения качества воздуха замкнутых помещений параллельно определяют условия вентиляции и содержание загрязняющих веществ. Преимущество данной методики заключается в одновременном определении ЛСВВ и содержания загрязняющего вещества.

При оценке «воздухообмена» («скорости потока воздуха» или «кратности воздухообмена»), например в соответствии с ИСО 12569, рассматривают только общую скорость потока воздуха в вентилируемой

системе. Поэтому такие измерения проводят только в зданиях или других помещениях, рассматриваемых как единичная зона. При использовании этих методик необходимо убедиться в том, что при проведении измерений происходит полное перемешивание воздуха между всеми частями вентилируемой системы.

5.2 Идентификация вентилируемой системы

При планировании испытаний прежде всего следует идентифицировать «вентилируемую систему», к которой принадлежит исследуемое помещение, поскольку все помещения вентилируемой системы должны быть помечены индикаторным газом. Вентилируемую систему определяют как помещение здания, напрямую или косвенно участвующую в воздухообмене с исследуемым помещением. На границе вентилируемой системы не должно происходить иного притока воздуха, кроме как из внешней среды. Таким образом, часть здания рассматривают как вентилируемую систему только в том случае, если в нее происходит незначительное натекание воздуха из других частей здания (например, через дверные проемы, утечки воздуха или рециркуляционный воздуховод). Также необходимо учитывать расположение источников выделения загрязняющих веществ, чтобы загрязненный воздух не был ошибочно принят за воздух из внешней среды. На практике это означает, например, что

- при рассмотрении дома для одной семьи все помещения, включая подвал (только если он не закрыт герметичной дверью), включают в вентилируемую систему и
- при рассмотрении квартиры в многоквартирном доме все помещения в исследуемой квартире (а в некоторых случаях также и лестничный пролет) включают в вентилируемую систему.

5.3 Идентификация зон

Зона — это помещение вентилируемой системы, для которого можно сделать допущение о том, что перемешивание воздуха достаточно для обеспечения равномерного содержания индикаторного газа. Вентилируемая система может состоять из нескольких участков, рассматриваемых в качестве зон. Все зоны идентифицируют и определяют их объем. Значения объема зон необходимы для вычисления количества индикаторного газа, которое необходимо ввести в различные зоны. В небольшие закрытые помещения с отработанным воздухом (например, ванные комнаты) или помещения, куда не поступает наружный воздух (например, туалеты), его не вводят. Объем небольших закрытых помещений, куда в некотором количестве может поступать наружный воздух, прибавляют к объему любой связанной с ними зоны. Большие комнаты и длинные коридоры могут быть разделены на две или более зон.

5.4 Выбор методики измерений

5.4.1 Общие положения

Выбор методики измерений зависит от типа и размера здания, планируемого времени измерения, его цели и наличия оборудования и персонала для проведения анализа.

5.4.2 Тип здания

5.4.2.1 Простые здания (например, небольшие жилые дома, которые могут быть охарактеризованы одной — четырьмя зонами)

Если исследуют небольшое число зон, то добиться начального равномерного содержания индикаторного газа во всей вентилируемой системе достаточно просто. Поэтому при проведении кратковременных измерений лучше определять ЛСВВ по методике убывания содержания индикаторного газа.

5.4.2.2 Комплексы зданий (например, офисные здания и другие сооружения, в которых вентилируемая система состоит из нескольких зон)

В этом случае бывает трудно добиться соблюдения необходимых условий для определения ЛСВВ по методу убывания содержания индикаторного газа, а именно получить одинаковое начальное его содержание во всех зонах. Поэтому для определения ЛСВВ метод равномерного введения индикаторного газа подходит лучше, чем метод определения по убыванию содержания.

5.4.3 Продолжительность измерения

5.4.3.1 Условия вентиляции, исследуемые в течение кратковременного периода

ЛСВВ по методике убывания содержания индикаторного газа определяют при кратковременном контроле условий вентиляции в простых зданиях, а для комплекса зданий лучше подходит методика пассивного равномерного введения с последующим активным отбором проб.

5.4.3.2 Условия вентиляции, исследуемые в течение долговременного периода

При долговременных измерениях в зданиях с небольшим числом зон допустимо повторное применение методик убывания индикаторного газа, но лучше всего в зданиях всех типов подходит методика равномерного введения. Целью долговременных измерений может быть контроль изменений во времени условий вентиляции, например для определения влияния погодных условий или для выбора различных спосо-

бов вентиляции. Для этого необходим активный отбор проб воздуха при непрерывном мониторинге содержания индикаторного газа или периодический отбор проб с использованием шприцев, мешков из фторопласта, вакуумированных газовых баллонов или сорбционных трубок с побудителями расхода. Методика активного равномерного введения подходит для исследования изменений во времени условий вентиляции в простых зданиях, а методика пассивного равномерного введения с активным отбором проб лучше подходит для комплекса зданий.

5.4.3.3 Условия вентиляции, исследуемые с целью получения усредненных за долговременный период значений

Целью исследования может быть только усредненный по времени средний «возраст» воздуха в различных частях здания. Преимущество этой методики мониторинга состоит в том, что кратковременные изменения условий вентиляции сглаживаются, а результат напрямую связан со средним уровнем воздействия вредных веществ (или дозой), попадающих в воздух замкнутого помещения. Наилучшим образом для мониторинга усредненных условий подходит метод пассивного равномерного введения индикаторного газа в сочетании с пассивным отбором проб или активным отбором проб с использованием насосов.

5.5 Определение точек отбора проб

Число и распределение точек отбора проб определяют исходя из цели планируемых измерений. Отбор проб воздуха проводят только в тех зонах, где это представляет интерес для определения ЛСВВ. Если измерения проводят с целью получения схемы распределения характеристик приточного воздуха внутри здания, то отбор проб проводят в нескольких зонах, тогда как для получения информации о локальных условиях вентиляции — в одной или только в некоторых зонах. Отбор проб проводят на участках, считающихся представительными для зон. Отбор проб следует проводить на расстоянии не менее 1 м от источников индикаторного газа или оконечного устройства установок подачи воздуха. Независимо от цели измерений их проводят, как минимум, в трех точках для получения информации об их изменении. Если отбор проб проводят вручную, то пробы отбирают на разных участках зоны. Если необходима информация об общей скорости потока в вентилируемой системе или эффективности воздухообмена в здании (см. Е.2), то отбор проб проводят и вблизи идентифицируемых мест выхода воздуха из вентилируемой системы.

6 Индикаторные газы и оборудование для определения условий вентиляции

6.1 Выбор индикаторного газа

При выборе индикаторного газа следует учитывать необходимость его количественного определения при низких уровнях содержания с помощью доступных средств измерений, кроме того он должен быть безопасным для здоровья и соответствовать другим требованиям.

Общие требования к наиболее часто используемым индикаторным газам, их фоновому содержанию и методам обнаружения, основанные на результатах практического применения, приведены в приложении В.

6.2 Уровень содержания индикаторного газа

Уровень содержания применяемого индикаторного газа должен находиться в пределах, безопасных для жизни. Если применяют источник чистого индикаторного газа, то избегают объемов газа, которые могли бы создавать непреднамеренный риск. Например, очень большой баллон с чистым газом под давлением может мгновенно стать источником опасной для жизни концентрации в небольшой комнате. Избегают условий, при которых значительное количество индикаторного газа может быть абсорбировано поверхностями или попасть в соседние помещения.

Недопустимо использовать радиоактивные индикаторные газы.

Количество индикаторного газа, которое необходимо ввести, зависит от чувствительности метода его обнаружения, кратности воздухообмена и размера помещений.

6.3 Оборудование для подачи индикаторного газа

6.3.1 Средства для реализации метода убывания

Целью подачи индикаторного газа при реализации метода убывания должно быть достижение его равномерного содержания во всей вентилируемой системе.

Для ввода индикаторного газа используют следующие устройства:

- градуированный шприц или другая емкость известной вместимости с устройством контроля выпущенного объема газа;
- аппаратура для подачи сжатого газа с устройствами регулировки и измерения расхода.

Для получения равномерного начального содержания индикаторного газа в единице объема вентилируемой системы применяют:

a) вентиляторы для перемешивания воздуха внутри зон и между ними;

b) линии подачи индикаторного газа, через которые его распределяют с помощью коллекторов или переключателей. Все части линий его подачи должны быть четко маркированы «Только для индикаторного газа» и закреплены за помещением, в которое его подают;

c) двери, открывающиеся в обе стороны. После введения индикаторного газа во все зоны двери между ними можно раскачать в обоих направлениях для улучшения перемешивания воздуха.

Линии подачи индикаторного газа должны быть очищены, чтобы гарантировать подачу известного объема его в заданную зону.

В начале измерения убывания содержания индикаторного газа все процессы искусственного перемешивания воздуха должны быть остановлены, а двери оставлены в заданном положении (открытыми/закрытыми).

Примечание — Утечки в линиях подачи индикаторного газа могут привести к выделению его в нежелательных местах и в неконтролируемых нежелательных количествах.

6.3.2 Методика активного равномерного введения индикаторного газа

Цель подачи индикаторного газа заключается в достижении равномерной скорости его поступления в вентилируемую систему. Это означает, что постоянная скорость введения индикаторного газа в каждой зоне вентилируемой системы должна быть пропорциональна объему зоны. Для этого необходимо:

a) измерять скорость введения индикаторного газа в каждой зоне (для этого можно напрямую контролировать скорость введения газа с помощью редуктора и расходомера при подаче его из баллона под давлением, помещенного в зоне, или в линиях подачи газа в зону из удаленного источника);

b) обеспечить полное перемешивание воздуха в больших зонах (для этого можно использовать один или несколько вентиляторов или подавать газ в нескольких точках зоны).

6.3.3 Методика пассивного равномерного введения

Цель подачи индикаторного газа заключается в достижении равномерной скорости его поступления в вентилируемую систему. Это означает, что постоянная скорость его введения в каждую зону вентилируемой системы пропорциональна объему зоны. Для этого необходимо:

a) обеспечить выделение индикаторного газа в каждой зоне с использованием диффузионных источников с известной скоростью выделения;

b) обеспечить полное перемешивание воздуха в больших зонах. (Для этого можно использовать один или несколько вентиляторов. В больших зонах может потребоваться несколько диффузионных источников с известной скоростью выделения.)

При размещении источников индикаторного газа для его введения пассивным способом следует учитывать сильную зависимость скорости выделения индикаторного газа диффузионными источниками от температуры. Следует также регистрировать в рабочем журнале температуру на представительных местах в течение всего периода измерения.

6.4 Отбор проб индикаторного газа

6.4.1 Методы отбора проб

Описанные ниже методы отбора проб воздуха пригодны как для метода по убыванию, так и для метода равномерного введения, в зависимости от применяемого метода анализа индикаторного газа.

Отбор проб следует проводить в представительных точках, которые не должны находиться вблизи установок подачи воздуха и окон.

6.4.2 Непрерывный автоматический отбор проб

Обычно газоанализатор подсоединяют к точкам, где проводят отбор проб, с помощью одной или нескольких трубок из инертного материала, через которые воздух подают на вход газоанализатора с помощью побудителя расхода. При отборе проб в нескольких точках они могут выбираться автоматически или вручную с помощью многоходовых клапанов. При этом важно, чтобы трубка для отбора проб продувалась новой пробой непосредственно перед ее подачей на вход газоанализатора.

6.4.3 Ручной отбор проб

При отборе проб вручную сначала отбирают пробу в подходящий контейнер (шприц, мешок из фторопласта или вакуумированный газовый баллон). Затем пробу анализируют в лаборатории.

Коллекторы для отбора проб вручную должны быть изготовлены из материалов, не абсорбирующих используемый индикаторный газ, непроницаемых для него и не вступающих с ним в реакцию. В зависимо-

сти от физико-химических свойств индикаторного газа подходящими материалами могут быть например стекло, медь, нержавеющая сталь, полипропилен, полиэтилен и полиамид.

Следует соблюдать осторожность при отборе проб в помещениях с обычно закрытыми дверями. При открывании двери и входе в помещение может произойти значительный нежелательный обмен воздуха между двумя связанными зонами. Простой часто используемый способ отбора проб — протянуть трубку из исследуемого помещения в соседнее через замочную скважину, отобрать одну или две пробы с помощью шприца, тем самым продувая трубку, и третью пробу для анализа.

6.4.4 Пробоотборники с твердым сорбентом

В методе активного отбора проб с использованием твердого сорбента во время отбора проб воздух помещения прокачивают (непрерывно или периодически) через твердый сорбент, подходящий для улавливания используемого индикаторного газа. После отбора проб с использованием калиброванного побудителя расхода загруженные пробоотборники подвергают десорбции (термической десорбции или экстракции растворителем) для определения количества абсорбированного индикаторного газа и, следовательно, содержания его в отобранном воздухе. Отбор проб методом прокачки с использованием трубок с твердым сорбентом подходит для непрерывных периодов отбора проб продолжительностью до нескольких часов и для периодического отбора проб в течение нескольких дней. При периодическом отборе проб методом прокачки в перерывах между работой побудителя расхода следует принимать меры для сведения к минимуму диффузии воздуха на сорбент, например с использованием капиллярного ограничителя.

При долговременном отборе проб, от одной до нескольких недель, может успешно применяться пассивный отбор проб с помощью диффузионных пробоотборников с твердым сорбентом. Скорость отбора проб диффузионными пробоотборниками тщательно подбирают для соответствующего индикаторного газа.

При использовании методики равномерного введения индикаторного газа точки отбора проб должны находиться на расстоянии не менее 1 м от ближайшей точки выделения индикаторного газа.

6.5 Определение содержания индикаторного газа

Из системы непрерывного отбора проб смесь индикаторного газа с воздухом во время проведения испытания поступает напрямую или через трубки для отбора проб на вход газоанализатора для определения его содержания. Пробы воздуха, отобранные вручную, и трубки с твердым сорбентом обычно анализируют в лаборатории. При использовании пробоотборников с твердым сорбентом требуется предварительная термическая десорбция или экстракция индикаторного газа растворителем для подачи пробы на вход газоанализатора.

Газоанализатор должен соответствовать цели измерений (объем отбираемого газа, время анализа, перекрестная чувствительность), физико-химическими свойствами применяемого индикаторного газа и его содержанием. Должна быть известна точность газоанализатора.

Для определения содержания индикаторного газа (см. таблицу В.1) подходят инфракрасные (ИК) газоанализаторы или газовые хроматографы (ГХ). ГХ с подходящим детектором, например детектором электронного захвата (ДЭЗ) или масс-спектрометрическим (МС) детектором, имеет высокую чувствительность при его определении.

7 Метод измерений

7.1 Методика убывания содержания индикаторного газа

7.1.1 Основные положения методики измерений

При определении ЛСВВ по убыванию содержания индикаторного газа последний вводится в зоны и равномерно распределяется по всей вентилируемой системе. Локальный средний «возраст» воздуха $\bar{\tau}$ вычисляют по убыванию содержания индикаторного газа по формуле

$$\bar{\tau} = \frac{\int_{t_0}^{\infty} \varphi \, dt}{\varphi_{t-t_0}}, \qquad (1)$$

где t — время, ч;

φ_{t-t_0} — начальное содержание индикаторного газа (например в $см^3 \cdot м^{-3}$) при $t = t_0$ (начало убывания). Оно должно быть одинаковым во всех зонах.

Начальное содержание индикаторного газа $\varphi_{t=t_0}$ выбирают таким образом, чтобы его значение было не менее чем в 100 раз больше предела обнаружения аналитической системы.

Объем v_p (чистого) индикаторного газа, который необходимо ввести в зону (объемом V_p), вычисляют по формуле

$$v_p = \varphi_{t=t_0} \cdot V_p. \quad (2)$$

7.1.2 Подготовка и планирование испытания

Перед выполнением этапов планирования, приведенных в разделе 5, полезно заранее ознакомиться с планом или эскизом исследуемого участка здания.

7.1.3 Процедура измерений

После введения индикаторного газа во все зоны и перемешивания воздуха до достижения его равномерного распределения по вентилируемой системе начинают отбор проб по одной из методик, описанных в 6.4. Предпочтительно пробы отбирают через равные промежутки времени в каждой исследуемой зоне. Пробу следует отбирать в течение времени, равного по крайней мере удвоенному от принятого среднего «возраста» воздуха (например, 4 ч в помещении, проветриваемом обычным образом). Для получения удовлетворительных результатов анализа убывания содержания индикаторного газа за это время отбирают по крайней мере семь проб в каждой исследуемой зоне. При отборе проб вручную следует предпринять меры для сведения к минимуму нежелательного возмущения распределения воздуха, когда входят в комнату через обычно закрытую дверь.

Цель введения индикаторного газа — получение равномерного первоначального содержания в вентилируемой системе. В здании с большим числом зон это лучше всего можно обеспечить, если вводимые количества индикаторного газа будут пропорциональны объемам зон и хорошо распределены по объемам зон с использованием каких-либо устройств для перемешивания воздуха. Оборудование для распределения индикаторного газа и перемешивания воздуха описано в 6.3.1.

В начале измерений все процессы искусственного перемешивания воздуха должны быть остановлены, а двери оставлены в заданном положении (открытыми/закрытыми).

Перед началом измерений убывания содержания индикаторного газа специалист должен по возможности проверить, одинаково ли его содержание во всех зонах вентилируемой системы. Если зона большая (например, если объем помещения составляет более 500 м^3 или высота потолка — более 4 м) или есть подозрения, что в помещении могут быть обнаружены воздушные потоки, то проверяют равномерность начального содержания индикаторного газа, определяя его в различных точках этого помещения. В помещениях, где наблюдается неполное перемешивание воздуха, измерения убывания содержания индикаторного газа могут быть проведены в различных точках.

7.1.4 Оценка и вычисление результатов

Численное значение интеграла в формуле (1) обычно оценивают на основе измеренного изменения во времени содержания индикаторного газа с использованием соответствующих методик интегрирования (например метода трапеций). Когда между двумя связанными зонами происходит воздухообмен, первый член в формуле убывания содержания индикаторного газа обычно не будет строго экспоненциальным. Однако с течением времени убывание всегда будет приближаться к экспоненциальному виду. Поэтому достаточно провести численное интегрирование до времени t_e, до которого был доказан экспоненциальный характер убывания (линейная логарифмическая зависимость) и прибавить к полученному значению площадь под конечным участком кривой убывания, предполагая экспоненциальную зависимость, по формуле

$$\int_0^{\infty} \varphi_t\, dt = \int_{t_0}^{t_e} \varphi_t\, dt + \int_{t_e}^{\infty} \varphi_{t-t_e} \cdot e^{-\lambda_{tail}(t-t_e)}\, dt = \Delta t \left(\frac{\varphi_{t_0}}{2} + \varphi_{t_0+1\Delta t} + \ldots + \varphi_{t_0+(n-1)\Delta t} + \frac{\varphi_{t_e}}{2} \right) + \frac{\varphi_{t-t_e}}{\lambda_{tail}}, \quad (3)$$

где λ_{tail} — абсолютное значение углового коэффициента логарифмической зависимости содержания индикаторного газа от времени, вычисленное с использованием формулы (4).

$$\ln\varphi_t = \ln\varphi_{t+t_e} - \lambda_{tail}(t - t_e). \quad (4)$$

Сначала строят и исследуют график зависимости содержания индикаторного газа от времени в координатах $\ln\varphi$ — время от начала убывания. Если график линеен с момента времени $t = t_0$, то ЛСВВ можно напрямую оценить по формуле (5) как величину, обратную угловому коэффициенту, по формуле

$$\bar{\tau} = \frac{1}{\lambda_{linear}}. \quad (5)$$

Если логарифмическая зависимость имеет изгиб, то на графике следует найти начало линейного участка. Вычисляют угловой коэффициент линейного участка и λ_{tail} приравнивают к абсолютному значению углового коэффициента.

Затем выбирают один из результатов измерений в пределах линейного участка графика в качестве конечной точки интегрирования (содержание индикаторного газа равно $\varphi_{t=t_e}$ при времени t_e). Выполняют численное интегрирование от $t = t_0$ до $t = t_e$ и прибавляют член $\frac{\varphi_{t=t_e}}{\lambda_{tail}}$ в соответствии с формулой (3) для получения приблизительного значения интеграла от $t = t_0$ до $t = \infty$.

Окончательно ЛСВВ вычисляют делением значения, полученного интегрированием кривой зависимости содержания индикаторного газа от времени, на значение его содержания в начале убывания $\varphi_{t=t_0}$ по формуле (1).

7.1.5 Неопределенность

Любое значение ЛСВВ, определенное по методу убывания содержания индикаторного газа, приводят вместе с оценкой его неопределенности. Неопределенность следует оценивать и выражать в соответствии с GUM:1995.

Информация по оценке неопределенности значений ЛСВВ в соответствии с настоящим стандартом приведена в приложениях C и D.

7.2 Методика активного равномерного введения

7.2.1 Основные положения методики измерений

В методике равномерного введения поток индикаторного газа непрерывно вводят в зоны вентилируемой системы с постоянной скоростью, пропорциональной объему каждой зоны. При этом в каждой зоне устанавливается его содержание, зависящее от ЛСВВ в каждой зоне.

При применении методики равномерного введения индикаторного газа $\bar{\tau}$ в зоне вычисляют так же, как и по убыванию его содержания, по формуле

$$\bar{\tau} = \frac{\varphi}{(q_V/V)}, \qquad (6)$$

где φ — измеренное содержание индикаторного газа в зоне в установившемся состоянии, $см^3 \cdot м^{-3}$;

q_V/V — постоянная скорость введения ($см^3 \cdot ч^{-1}$) чистого индикаторного газа на кубический метр ($м^3$) пространства — одинаковая во всех зонах вентилируемой системы (например, в $см^3 \cdot ч^{-1} \cdot м^{-3}$).

Необходимую константу пропорциональности между скоростью введения чистого индикаторного газа q_V ($см^3 \cdot ч^{-1}$) в зону и объемом V вычисляют по формуле

$$q_V = k_V \cdot V, \qquad (7)$$

где k_V — константа ($см^3 \cdot ч^{-1} \cdot м^{-3}$), оцениваемая как произведение ожидаемой кратности воздухообмена ($ч^{-1}$) и требуемого для анализа содержания индикаторного газа ($см^3 \cdot м^{-3}$) в установившемся состоянии.

7.2.2 Подготовка и планирование испытания

Перед выполнением этапов планирования, приведенных в разделе 5, полезно заранее ознакомиться с планом или эскизом исследуемого участка здания. Определяют объемы зон и вычисляют скорость введения индикаторного газа в каждую зону. Введение индикаторного газа в зоны должно быть равномерным при постоянном расходе и таким, чтобы осуществлялось хорошее перемешивание его с воздухом (см. 6.3.2). Должно быть спланировано расположение точек введения индикаторного газа и подготовлено необходимое оборудование (например, линии для его введения и отбора проб воздуха).

7.2.3 Методика измерений

Отбор пробы одним из методов, описанных в 6.4, начинают по достижении равновесного (или установившегося) содержания индикаторного газа по истечении времени, приблизительно равного утроенному или учетверенному среднему «возрасту» воздуха.

7.2.4 Оценка и вычисление результатов

ЛСВВ в зоне $\bar{\tau}$ вычисляют по измеренному содержанию индикаторного газа в установившемся состоянии и скорости его введения на единицу объема по формуле (6).

7.2.5 Неопределенность

Любое значение ЛСВВ, полученное по методике активного равномерного введения, приводят вместе с оценкой его неопределенности. Неопределенность следует оценивать и выражать в соответствии с GUM:1995.

Информация по оценке неопределенности значений ЛСВВ в соответствии с настоящим стандартом приведена в приложениях С и D.

7.3 Методика пассивного равномерного введения

7.3.1 Основные положения методики измерений

Методика пассивного равномерного введения индикаторного газа по основным положениям аналогична методике активного равномерного введения (см. 7.2.1). Однако в этом случае используют пассивные источники индикаторного газа небольшого размера, которые могут быть легко распределены по вентилируемой системе для получения равномерного введения. Из-за низкого его содержания в качестве индикаторов используют перфторированные углеводороды; они могут быть обнаружены с очень высокой чувствительностью.

7.3.2 Методика измерений

Диффузионные источники на основе капиллярной диффузии или проникающих мембран с регулируемой скоростью выделения[1)] индикаторного газа размещают в вентилируемой системе таким образом, чтобы скорость его выделения была пропорциональна объему зон, как описано в 6.3.3. После достижения равновесного состояния массовую концентрацию индикаторного газа в выбранных местах определяют путем отбора проб воздуха на твердый сорбент, как описано в 6.4.4, и последующего анализа в лаборатории методом ГХ.

При кратковременных измерениях пробы отбирают с помощью побудителя расхода. При долговременных измерениях предпочтительно проводят диффузионный отбор проб для получения значений ЛСВВ, усредненных за период отбора проб.

7.3.3 Оценка и вычисление результатов

ЛСВВ $\bar{\tau}$ ч, в зоне определяют на основе измеренной усредненной массовой концентрации индикаторного газа (вычисленной по его массе в трубках для отбора проб) и скорости его выделения на единицу объема по формуле

$$\bar{\tau} = \frac{\rho_a}{(q_m/V)}, \qquad (8)$$

где q_m/V — постоянная скорость введения индикаторного газа на кубический метр пространства, равная константе k_m во всех зонах вентилируемой системы (например, мкг · ч$^{-1}$ · м$^{-3}$); подходящее значение k_m может быть оценено на основе заданного количества отбираемого индикаторного газа;

ρ_a — усредненная по времени массовая концентрация индикаторного газа в воздухе помещения, мкг · м$^{-3}$.

7.3.4 Неопределенность

Любое значение ЛСВВ, полученное по методике пассивного равномерного введения, приводят вместе с оценкой его неопределенности. Неопределенность следует оценивать и выражать в соответствии с GUM:1995.

Информация по оценке неопределенности значений ЛСВВ в соответствии с настоящим стандартом приведена в приложениях С и D.

8 Применение результатов

Методики, установленные настоящим стандартом, могут быть использованы в следующих целях.

а) Проверка соблюдения требований к условиям вентиляции в отдельных зданиях (при вводе их в эксплуатацию) и при обширных исследованиях

Преимуществом этих методик является возможность их использования при обычной эксплуатации здания. Определение ЛСВВ по методике убывания содержания индикаторного газа подходит для крат-

[1)] В Российской Федерации для диффузионных источников вместо характеристики «скорость выделения» применяется «производительность, равная массе вещества, выделяющегося в единицу времени при заданной температуре (мкг/мин)».

ковременных измерений в отдельных зданиях. Методика пассивного равномерного введения с простым портативным оборудованием пригодна для долговременных измерений при обширных исследованиях с сотнями объектов. В этой методике принимается во внимание, например, деятельность обитателей здания и изменения погодных условий. Та же самая методика может использоваться при оценке связи вентиляции с последствиями для здоровья и комфортными условиями для населения при эпидемиологических исследованиях.

В строительных нормах и правилах и планах вентиляционной системы условия вентиляции обычно выражают через расход или удельный расход воздуха для вентиляции. Для использования ЛСВВ при оценке других параметров вентиляции необходимо соблюдение некоторых допущений. Более подробно это описано в приложении Е.

b) Оценка соблюдения требований к условиям вентиляции в зданиях, где имеются проблемы с качеством воздуха замкнутых помещений

Вентиляция влияет на влажность и содержание вредных веществ и имеет важное значение при наличии проблем с качеством воздуха замкнутых помещений. Это значение оценивают при исследовании проблем качества воздуха. Отбор и анализ проб вредных веществ в воздухе замкнутых помещений должны проводиться совместно с оценкой условий вентиляции, что позволяет определить необходимость тех или иных корректирующих мероприятий. В этом случае могут быть проведены кратковременные и долговременные измерения и использоваться все методики, приведенные в настоящем стандарте. При этом наилучшим показателем условий вентиляции является ЛСВВ.

c) Определение интенсивности и распределения источников выделения загрязняющих веществ в замкнутом помещении

Определение интенсивности и распределения источников выделения загрязняющих веществ в замкнутом помещении может быть необходимо при изучении проблем качества воздуха. При одновременном измерении содержания загрязняющих веществ и ЛСВВ можно определить разницу интенсивности источников, находящихся в разных зонах. Пример таких измерений приведен в приложении Е. Выбор метода измерений зависит от продолжительности отбора проб загрязняющего вещества.

9 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать по крайней мере следующую информацию:

a) подробные данные, необходимые для идентификации исследуемого здания, полную характеристику вентилируемой системы, делений на зоны и описание исследуемых зон;

b) ссылку на настоящий стандарт;

c) краткое описание методики, условий испытаний и используемого оборудования;

d) краткую сводку полученных данных и результатов, в том числе оценку точности;

e) дату испытания.

Более подробная информация по каждому пункту может быть приведена в протоколе с учетом приложений A—D.

Приложение А
(справочное)

Пояснения некоторых терминов и определений

Примечание — Термины и определения приведены в разделе 3.

А.1 Локальный средний «возраст» воздуха

ЛСВВ — это параметр вентиляции, который характеризует среднюю продолжительность времени пребывания воздуха в здании.

Понятие «локальный средний «возраст» воздуха» (и обратное ему понятие «локальная кратность воздухообмена») используют для оценки условий вентиляции в здании. ЛСВВ отражает среднее время, в течение которого воздух находился в конкретном помещении здания, накапливая загрязняющие вещества. Этот параметр тесно связан со временем, необходимым для смены воздуха в этом помещении. Содержание загрязняющего вещества, выделяемого постоянными источниками в замкнутом помещении, увеличивается при увеличении времени, в течение которого в нем находился воздух. Чем меньше «возраст» воздуха в некотором помещении, тем ниже содержание загрязняющего вещества. Обычно приточный воздух поступает в определенных местах здания и ищет пути для распространения по всему зданию. Таким образом, до того как приточный воздух достигнет конкретного помещения, значительная его часть может задержаться в других помещениях, накапливая загрязняющие вещества. Следовательно, ЛСВВ, определяющий срок пребывания воздуха на конкретном участке в замкнутом помещении, необходимо рассматривать по отношению к качеству воздуха.

А.2 Расход воздуха для продувки

Для загрязняющего вещества (или индикаторного газа), вводимого в одну зону (и больше ни в какую другую), будет достигнуто установившееся состояние его содержания в этой зоне, равное отношению скорости введения к расходу свежего воздуха. Для загрязняющих веществ, выделяющихся в нескольких зонах или поступающих из внешней среды, расход свежего воздуха не является адекватным показателем качества воздуха. Расход свежего воздуха является мерой того, сколько наружного воздуха (напрямую или косвенно) поступает в течение часа в рассматриваемую зону. Его максимальное значение равно общему расходу воздуха, и оно наблюдается, например, при полном перемешивании воздуха между зонами. Однако в большинстве случаев некоторое количество поступающего в здание воздуха расходуется до того, как попасть в конкретную зону, в результате расход свежего воздуха в этой зоне будет меньше по сравнению с максимальным.

Приложение В
(справочное)

Общие требования к наиболее часто используемым индикаторным газам, их фоновому содержанию и методам количественного определения

В.1 Общие требования

Обеспечивают возможность определения выбранных индикаторных газов при их низком содержании с помощью доступных средств измерений, которые также:

a) должны быть нетоксичными и безопасными для здоровья при их содержании в воздухе в диапазоне, применяемом при исследовании;

b) должны быть химически инертными, стабильными, не иметь запаха и вкуса;

c) насколько возможно, не должны адсорбироваться на стенах помещения, мебели или других поверхностях;

d) должны быть невоспламеняющимися и взрывобезопасными;

e) не должны обычно присутствовать в воздухе замкнутого помещения или наружном атмосферном воздухе;

f) должны присутствовать в атмосферном воздухе (при их наличии в нем) в количестве, значительно более низком, чем определяемое при анализе;

g) должны быть легко транспортируемыми и легкими в обращении;

h) должны обладать способностью легко смешиваться с воздухом;

i) не должны оказывать неблагоприятного воздействия на окружающую среду;

j) должны выпускаться серийно и быть недорогими.

В.2 Фоновое содержание индикаторных газов и методы количественного определения

Таблица В.1 — Фоновое содержание и методы количественного определения наиболее часто применяемых индикаторных газов

Индикаторный газ	Фоновое содержание в воздухе, выраженное в единицах объемной доли	Метод обнаружения	Диапазон измерений объемной доли индикаторного газа в воздухе
Гексафторид серы, SF_6	(от 0,85 до 1,5) · 10^{-12}	ГХ с ДЭЗ или МС[d]	От 0,005 · 10^{-9} до 200 · 10^{-9}
Перфторированные углеводороды, например гексафторбензол (C_6F_6)	< 1 · 10^{-12}	ГХ с ДЭЗ или МС[d]	От 0,05 · 10^{-9} до 10 · 10^{-9}
Закись азота (веселящий газ), N_2O[a]	315 · 10^{-9}	Инфракрасный газоанализатор	От 1 · 10^{-6} до 200 · 10^{-6}
Диоксид углерода, CO_2[b]	360 · 10^{-6}		От 0,001 · 10^{-3} до 5 · 10^{-3}
Гексафторид серы, SF_6	От 0,85 · 10^{-12} до 1,5 · 10^{-12}		От 0,1 · 10^{-6} до 100 · 10^{-6}
Закись азота (веселящий газ), N_2O[a]	315 · 10^{-9}	Фотоакустический детектор	50 · 10^{-9} [c]
Диоксид углерода, CO_2[b]	360 · 10^{-6}		3 · 10^{-6} [c]
Гексафторид серы, SF_6	От 0,85 · 10^{-12} до 1,5 · 10^{-12}		5 · 10^{-9} [c]

[a] При использовании N_2O необходимо учитывать его растворимость в воде и влияние адсорбции.

[b] Применяется только известной квалификации. Необходимо также учитывать следующие факторы: изменение содержания CO_2 в приточном и вытяжном воздухе и, в некоторых обстоятельствах, неопределенность, связанную с выделением CO_2 людьми и другими возможными источниками внутри помещения. Если CO_2 используют в качестве индикаторного газа, то из полученного значения содержания вычитают его содержание в окружающем воздухе.

[c] Верхняя граница диапазона измерений зависит от градуировки.

[d] Следует принять во внимание инструкции изготовителей ДЭЗ в отношении их радиоактивности.

Хотя радиоактивные благородные газы соответствуют многим требованиям, предъявляемым к индикаторным газам, в настоящее время их не рекомендуется применять из-за их радиоактивной опасности.

Наиболее часто в качестве индикаторного газа для определения кратности воздухообмена применяют гексафторид серы. При использовании в зданиях этот газ больше всего соответствует требованиям к идеальному индикаторному газу по сравнению с остальными газами, приведенными в таблице В.1. Однако *при отборе* проб на твердые сорбенты (например, при использовании методик пассивного введения индикаторного газа) лучше подходят перфторированные углеводороды.

В.3 Санитарно-гигиенические требования при применении индикаторных газов

Использование индикаторного газа может привести к неблагоприятным воздействиям на здоровье обитателей помещения в зависимости от его типа и выбранного содержания. Справочные значения санитарных норм содержания наиболее часто используемых индикаторных газов в воздухе замкнутых помещений, гексафторида серы и закиси азота, еще не установлены[1]. Поскольку значение предела обнаружения для закиси азота близко значению МАК (максимально допустимому содержанию в рабочей зоне[2]; см. таблицы В.1 и В.2), при определении кратности воздухообмена все обитатели помещения, не участвующие непосредственно в измерениях, должны его покинуть.

Значения МАК, допустимые для рабочей зоны, применяют и для персонала, проводящего измерения. Это значения, рассчитанные как средние за 8 ч.

Таблица В.2 — Максимально допустимая массовая концентрация индикаторного газа для персонала, проводящего испытания

Индикаторный газ	Значение МАК[3], мг $м^{-3}$
CO_2	9100
N_2O	180
SF_6	6100

[1] В Российской Федерации установлены значения предельно допустимых концентраций (ПДК) для оксидов азота (в пересчете на NO_2) — 5 мг/м^3, гексафторида серы — 5000 мг/м^3, а также других веществ, которые могут быть применены в качестве индикаторных газов (см. ГОСТ 12.1.005—88).

[2] В Российской Федерации значениям МАК соответствуют значения ПДК. Значения МАК публикуются «Сенаторской комиссией по контролю опасных эксплуатационных материалов» («Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe») Немецкого научно-исследовательского сообщества (DFG — Deutsche Forschungsgemeinschaft). Перечень значений МАК ежегодно проверяется и расширяется.

[3] Для сравнения значений фонового содержания индикаторных газов (см. таблицу В.1) и МАК необходимо пересчитать объемную долю в единицы массовой концентрации (мг · $м^{-3}$).

Приложение С
(справочное)

Оценка неопределенности измерений локального среднего «возраста» воздуха

С.1 Общие положения

С.1.1 Критерии

Полученные значения ЛСВВ следует приводить вместе с оценками их неопределенности. Неопределенность измерений величины складывается из неопределенностей и погрешностей, учитываемых при нахождении искомой величины. Как описано ниже и в соответствии с GUM:1995 вклады в неопределенность величин могут быть получены на основе измерений (тип А) или из имеющихся источников (тип В). В приложении D приведены некоторые примеры оценки неопределенности измерения ЛСВВ.

ЛСВВ невозможно измерить напрямую. Определение ЛСВВ основано на введении в воздух помещения индикаторного газа и измерении скорости, с которой воздух с введенным индикаторным газом будет замещаться чистым.

При определении ЛСВВ по методу убывания определяют отношение $(\varphi(t)/\varphi_0)$, характеризующее изменение первоначальной объемной доли индикаторного газа в воздухе $[\varphi(t_0)]$, убывающей по истечении времени t. Теоретически можно показать, что интеграл функции относительного изменения объемной доли во времени от $t = 0$ до $t = \infty$ есть локальный ЛСВВ.

В методе равномерного введения содержание индикаторного газа измеряют в условиях, когда скорость его удаления равна скорости введения. Теоретически можно показать, что в установившемся состоянии содержание индикаторного газа равно произведению ЛСВВ на скорость введения индикаторного газа на единицу объема, при условии, что введенный индикаторный газ равномерно распределен в помещении.

Таким образом, неопределенность определения ЛСВВ будет обусловлена неопределенностью содержания индикаторного газа, неопределенностью вычисления интеграла и неопределенностью скоростей его введения и распределения.

В настоящем приложении описаны способы оценки неопределенности измерений на основе индивидуальных оценок неопределенностей различных составляющих.

Вклады неопределенностей могут быть разделены на две группы: первая связана с характеристиками используемого оборудования, вторая является специфической для конкретного измерения и оценки.

В настоящем стандарте предполагается, что характеристики используемого оборудования полностью известны, документированы и пригодны для конкретного применения.

С.1.2 Примеры необходимой информации о характеристиках оборудования

С.1.2.1 Аналитические приборы

Для аналитических приборов необходимо:

a) наличие градуировки для рассматриваемого диапазона содержания индикаторного газа;

b) стандартное отклонение результата анализа, полученное для рассматриваемого диапазона содержания индикаторного газа;

c) данные о стабильности при выполнении кратковременных и долговременных измерений.

С.1.2.2 Оборудование для (активного) введения индикаторного газа

Для оборудования при активном введении индикаторного газа необходимо:

a) калиброванные приборы для контроля расхода воздуха (например, расходомеры, регуляторы массового расхода, критические диафрагмы);

b) документированное стандартное отклонение установленного расхода (включая прецизионность регулировки давления);

c) данные о стабильности работы оборудования при выполнении кратковременных и долговременных измерений.

С.1.2.3 Пробоотборники (для ручного отбора проб)

Для пробоотборников при ручном отборе проб необходимо:

a) данные об инертности и герметичности шприцев, мешков из фторопласта или газовых баллонов для отбора проб при выполнении кратковременных и долговременных измерений;

b) калиброванный побудитель расхода для отбора проб с помощью трубок с твердым сорбентом;

c) документированное стандартное отклонение расхода при отборе проб;

d) документированные значения сорбционной емкости, расхода при отборе проб и объема проскока.

С.1.2.4 Устройства для (пассивного) отбора проб

Для устройств при пассивном отборе проб необходимо:

a) градуированные диффузионные пробоотборники;

b) стандартное отклонение эквивалентного расхода при отборе проб для диффузионных пробоотборников;

c) документированные характеристики диффузионных пробоотборников как функции содержания и времени экспонирования;

d) документированные значения эффективности десорбции (экстракции) сорбента, используемого в пробоотборнике.

С.1.2.5 Оборудование для введения индикаторного газа (пассивные диффузионные источники)

Для пассивных диффузионных источников необходимы:

a) градуированные диффузионные источники индикаторного газа;

b) документированное значение стандартного отклонения используемых диффузионных источников;

c) полученная и документированная зависимость скорости выделения от температуры в рассматриваемом температурном диапазоне;

d) известные закономерности изменения скорости выделения при выполнении долговременных и кратковременных измерений и в перерывах между измерениями.

С.1.3 Примеры факторов, влияющих на измерение в конкретной ситуации

Величины, влияющие на неопределенность измерений в конкретной ситуации, оценивают исходя из условий измерения и зарегистрированных данных.

Такими факторами могут быть, например:

a) невозможность добиться равномерного начального содержания индикаторного газа во всех зонах перед началом его убывания,

b) невозможность зарегистрировать начальное значение содержания индикаторного газа во всех зонах,

c) изменение содержания индикаторного газа во времени и пространстве из-за некачественного перемешивания воздуха в зонах и

d) невозможность добиться одинаковой скорости введения индикаторного газа во все зоны при определении ЛСВВ по методу равномерного введения.

С.2 Методика убывания содержания индикаторного газа

Относительную неопределенность s измерения ЛСВВ по убыванию содержания индикаторного газа, состоящую из вкладов относительных стандартных отклонений определения площади под интегрируемой кривой и начального содержания индикаторного газа, вычисляют по формуле

$$s^2 = s_{\text{area}}^2 + s_{\varphi_0}^2, \tag{С.1}$$

где s_{area}^2 — дисперсия оценки истинного значения интеграла от $t = t_0$ до $t = t_\infty$;

$s_{\varphi_0}^2$ — дисперсия оценки начального содержания индикаторного газа.

Относительную неопределенность s_{area} площади под интегрируемой кривой оценивают на основе абсолютных неопределенностей $s_{A_{\text{num}}}$ и $s_{A_{\text{area}}}$ части, вычисленной численным интегрированием, и экстраполированной части соответственно по формуле

$$s_{\text{area}} = \frac{\sqrt{s_{A_{\text{num}}}^2 + s_{A_{\text{rest}}}^2}}{A_{\text{num}} + A_{\text{rest}}}. \tag{С.2}$$

s_{φ_0} — относительная неопределенность начального содержания индикаторного газа. Ее значение зависит не только от неопределенности анализа, но также от возможных пространственных изменений в зонах и между ними из-за невозможности добиться равномерного начального содержания индикаторного газа во всей вентилируемой системе.

С.3 Методика равномерного введения индикаторного газа

В методике равномерного введения ЛСВВ вычисляют как отношение содержания индикаторного газа в установившемся состоянии к скорости его введения на единицу объема. Относительную стандартную неопределенность ЛСВВ s_τ, складывающуюся из неопределенности измерения содержания индикаторного газа s_{meas} и неопределенности скорости введения на единицу объема s_{distr}, вычисляют по формуле

$$s_\tau^2 = s_{\text{meas}}^2 + s_{\text{distr}}^2. \tag{С.3}$$

Оценку неопределенности содержания индикаторного газа s_{meas} с учетом случайных погрешностей анализа s_{anal} и неопределенности содержания целевого компонента в градуировочной газовой смеси s_{cal} вычисляют по формуле

$$s^2_{meas} = s^2_{cal} + s^2_{anal}. \quad (C.4)$$

С учетом двух основных вкладов (неопределенности скорости введения s_{inject} и неопределенности s_{inhom}, обусловленной невозможностью достижения истинно равномерной скорости введения) s_{distr}, вычисляют по формуле

$$s^2_{distr} = s^2_{inject} + s^2_{inhom}. \quad (C.5)$$

Примеры способов оценки различных вкладов в неопределенность для методик активного и пассивного равномерного введения индикаторного газа приведены в приложении D.

Приложение D
(справочное)

Примеры методик измерений, вычисления результатов и оценки неопределенности

D.1 Общие положения

В настоящем приложении приведены в качестве примеров методики измерений, вычисления и оценки неопределенности при использовании четырех различных методик, установленных в настоящем стандарте. Входные данные для примеров были получены при проведении модельных экспериментов и измерений.

Примеры приведены для:

a) определения ЛСВВ по методу убывания с применением автоматических средств введения индикаторного газа, отбора и анализа проб;

b) определения ЛСВВ по методу убывания с применением неавтоматических средств введения индикаторного газа и отбора проб;

c) методики равномерного введения индикаторного газа с использованием автоматических средств его введения и анализа;

d) методики равномерного введения индикаторного газа с использованием средств пассивного его введения и отбора проб.

Полученные значения ЛСВВ следует приводить вместе с оценками их неопределенности. Неопределенность полученных значений состоит из вкладов неопределенностей и погрешностей величин, используемых при вычислении искомой величины. Как описано в приложении С и GUM:1995, неопределенности величин, вносящих вклад в неопределенность, могут быть оценены на основе измерений (тип А) или взяты из других имеющихся источников (тип В). В приведенных ниже примерах описаны способы, с помощью которых может быть оценена неопределенность значения ЛСВВ.

Прежде всего следует отметить, что условия вентиляции в здании не носят статический характер. Характеристики вентиляции и распределения воздуха изменяются в зависимости от ветровой нагрузки, температуры наружного воздуха, открывания окон и дверей, распределения температуры внутри здания, деятельности людей и т. д., все перечисленные факторы могут изменяться со временем. Значение ЛСВВ, определенное в один момент времени, может измениться при повторном измерении. Подобные флуктуации не учитывают при оценке неопределенности измерения. Оценка неопределенности только указывает на пределы, внутри которых, вероятно, лежат истинные значения условий вентиляции во время измерения.

Для того чтобы использовать кратковременное измерение в целях прогнозирования, должны быть известны все факторы, влияющие на интенсивность вентиляции и распределение воздуха во время измерения. Кроме того, необходима модель, описывающая влияние этих факторов на интенсивность вентиляции и распределение воздуха. Обсуждение измерений характеристик вентиляции в целях прогнозирования не входит в область применения настоящего стандарта.

D.2 Методика убывания содержания индикаторного газа

D.2.1 Введение индикаторного газа

D.2.1.1 Автоматическое введение

Для автоматического введения индикаторного газа существует серийно выпускаемое оборудование, содержащее дозатор и анализатор, которое может быть запрограммировано для его введения в зоны (от одной до двенадцати) и получения в них одинакового его содержания. Для получения равномерного распределения индикаторного газа во всех зонах точки введения должны находиться позади вентиляторов.

D.2.1.2 Введение вручную

Для введения вручную обычно перемещаются из зоны в зону и вводят индикаторный газ из газового баллона или шприца. Количество введенного индикаторного газа должно быть пропорционально объему зоны, а он должен быть хорошо распределен по объему зоны с использованием каких-либо устройств для перемешивания воздуха. После введения индикаторного газа во все зоны следует добиться его одинакового общего начального содержания во всех зонах, предпочтительно с использованием вентиляторов, смешивающих воздух из разных зон.

Следует отметить, что может оказаться затруднительным получение необходимого одинакового начального содержания индикаторного газа во всех зонах, особенно если число зон больше четырех или пяти. Распределение индикаторного газа по объему зоны должно производиться достаточно быстро для предотвращения убывания его содержания из-за проветривания, результатом которого может быть значительное отклонение от равенства его значений содержания в разных зонах.

D.2.2 Отбор и анализ проб индикаторного газа

D.2.2.1 Автоматический отбор проб

Обычно автоматический отбор проб выполняют с помощью системы трубок, через которые побудителем расхода происходит отбор проб воздуха в различных точках. Для того чтобы получить корректную привязку ко

времени проведения анализа, важно продуть трубки непосредственно перед проведением анализа. Серийно выпускается оборудование для отбора проб с автоматической продувкой каждой следующей трубки для отбора проб во время отбора проб в предыдущую трубку.

Первую(ые) пробу(ы) отбирают при $t = 0$ сразу после выключения вентиляторов. Последующие пробы отбирают так быстро, как позволяет это оборудование для отбора и анализа проб, предпочтительно через равные промежутки времени между отборами проб в одном и том же месте.

При автоматическом отборе проб анализ индикаторного газа обычно осуществляется в режиме реального времени, т. е. газоанализатором, подсоединенным к устройству отбора проб. Наиболее часто используемые приборы для анализа в режиме реального времени основаны на поглощении излучения в инфракрасной области (ИК). Однако в условиях применения можно также использовать ГХ или МС.

D.2.2.2 Отбор проб вручную

Отбор проб вручную обычно выполняют с использованием шприца, мешка из фторопласта или откачанного контейнера (газового баллона).

Чаще всего для отбора проб применяют медицинские шприцы (например, пластиковые шприцы вместимостью 50 мл), поскольку они просты в обращении, сохраняют герметичность в течение нескольких месяцев, имеют невысокую стоимость и могут быть отправлены в аналитическую лабораторию для анализа. Шприц особенно хорошо подходит для отбора проб небольшого объема, если в качестве индикаторного газа используют SF_6, а анализ выполняют на ГХ с ДЭЗ.

Для определения ЛСВВ в зданиях, где воздух перемешивается не полностью, следует отбирать по крайней мере семь проб во время убывания в каждой зоне. Первую(ые) пробу(ы) следует отбирать при $t = 0$ сразу после выключения вентиляторов. Последующие пробы должны отбираться предпочтительно через равные промежутки времени в течение времени, по крайней мере равного ожидаемому ЛСВВ на объекте (от 2 до 3 ч для жилого помещения).

После отбора проб шприцы закрывают заглушками и отправляют в лабораторию на анализ с использованием ГХ с ДЭЗ. Герметичность, инертность и газонепроницаемость шприцев для отбора проб должны быть проверены перед использованием.

D.2.3 Пример метода убывания с отбором и анализом проб в режиме реального времени

D.2.3.1 Модельные данные

При автоматическом отборе проб с анализом в реальном масштабе времени зависимость содержания индикаторного газа от времени может быть получена в виде файла данных. Ниже описано, как обрабатывают полученные результаты.

В рассмотренном смоделированном примере (см. таблицу D.1) пробы автоматически отбирались и анализировались в течение 3 ч через каждые 2 мин в спальне и кухне жилого дома. Отбор проб в спальне начинали при $t = 0$. Проветривание жилого дома осуществлялось за счет принудительной вытяжной вентиляции в ванной комнате и кухне, а отверстия для притока и вытяжки воздуха находились в гостиной и спальне. В начальный момент убывания дверь в спальню была закрыта.

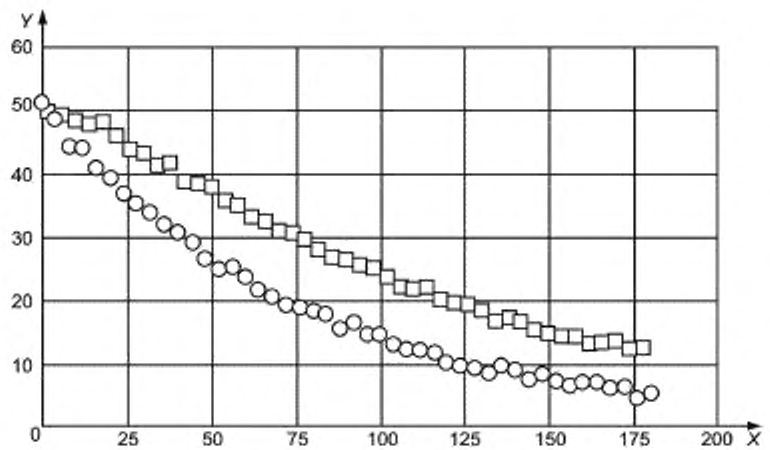
Таблица D.1 — Измеренная массовая доля индикаторного газа при убывании

Спальня			Кухня		
мин	$см^3 \cdot м^{-3}$	$\ln \varphi^{a)}$	мин	$см^3 \cdot м^{-3}$	$\ln \varphi^{a)}$
0	50,9	3,93	2	49,5	3,90
4	48,5	3,88	6	49,4	3,90
8	44,2	3,79	10	48,4	3,88
12	43,9	3,78	14	47,5	3,86
16	40,7	3,71	18	47,9	3,87
20	39,3	3,67	22	45,9	3,83
24	36,5	3,60	26	43,6	3,78
28	35,2	3,56	30	43,0	3,76
32	33,7	3,52	34	41,3	3,72
36	32,0	3,47	38	41,5	3,72
40	30,8	3,43	42	38,9	3,66
44	29,0	3,37	46	38,4	3,65
48	26,3	3,27	50	37,7	3,63

Окончание таблицы D.1

Спальня			Кухня		
мин	$см^3 \ м^{-3}$	ln φ[a)]	мин	$см^3 \ м^{-3}$	ln φ[a)]
52	24,9	3,22	54	35,7	3,57
56	25,1	3,22	58	35,0	3,55
60	23,7	3,16	62	33,2	3,50
64	21,4	3,06	66	32,5	3,48
68	20,4	3,02	70	30,9	3,43
72	19,2	2,95	74	30,6	3,42
76	18,8	2,94	78	29,4	3,38
80	18,4	2,91	82	28,1	3,34
84	17,7	2,88	86	26,9	3,29
88	15,4	2,74	90	26,5	3,28
92	16,3	2,79	94	25,6	3,24
96	14,7	2,69	98	25,2	3,23

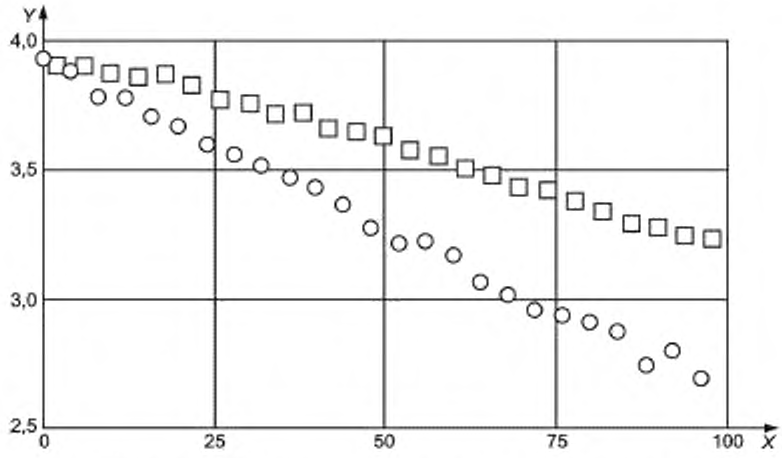
[a)] Натуральный логарифм объемной доли.



X — время от начала убывания, мин; Y — содержание N_2O, $см^3 \ м^{-3}$;
О — в спальне; □ — в кухне

Рисунок D.1 — График зависимости содержания индикаторного газа от времени

Из полученной логарифмической зависимости (см. рисунок D.2) видно, что в начале измерений кривая для кухни не линейна, но приближается к линейной при времени 100 мин. Для спальни кривая линейна уже в начале измерений. Поэтому отбор проб мог быть прекращен по истечении 100 мин.



X — время от начала убывания, мин; Y — lnφ; О — в спальне, □ — в кухне

Рисунок D.2 — График зависимости логарифма содержания индикаторного газа от времени

D.2.3.2 Этапы вычисления локального среднего «возраста» воздуха

Вычисление ЛСВВ включает следующие этапы:

a) строят график зависимости натурального логарифма объемной доли индикаторного газа от времени.

Если логарифмическую зависимость получают в режиме реального времени, то отбор проб можно прекратить при соблюдении линейной зависимости для всех точек отбора проб;

b) определяют начало и конец линейной части графика зависимости логарифма содержания индикаторного газа от времени.

В области низких значений содержания индикаторного газа обычно наблюдается большой разброс, обусловленный неопределенностью измерений и нестабильностью движения воздуха. Не учитывают область значений содержания индикаторного газа с большим разбросом.

Иногда график в координатах lnφ — время от начала убывания линеен уже на начальных участках. Это означает, что убывание экспоненциально, как в случае полного перемешивания воздуха между зонами. В этом случае численное интегрирование не выполняют. ЛСВВ может быть равен обратному значению углового коэффициента графика в координатах lnφ — время от начала убывания.

c) Вычисляют угловой коэффициент ($-\lambda$) линейного участка графика в координатах lnφ — время от начала убывания.

Для получения уравнения линии тренда удобно использовать программу вычисления с использованием электронных таблиц. Для получения λ используют абсолютное значение коэффициента корреляции.

d) Выполняют численное интегрирование $\varphi(t)$ (например, методом трапеций) от $t = t_0$ до $t = t_e$ в пределах линейной части графика в координатах lnφ — время от начала убывания.

Обычно невозможно провести отбор проб одновременно в нескольких местах. По этой причине при $t = t_0$ может быть отобрана и проанализирована проба только из одного места. Пробы, отобранные из других мест, будут проанализированы с последовательными задержками во времени. Поэтому следует обратить особое внимание на вычисление площади первого трапецеидального участка от $t = t_0$ до $t = t_{p1}$, где t_{p1} — время проведения первого измерения в точке p.

Лучше всего прибавить значение площади, равное $(t_{p1} - t_0) \cdot [\varphi(t_{p1}) + \varphi(t_0)]/2$, к вычисленному значению интеграла. $\varphi(t_0)$ — это содержание индикаторного газа в момент начала убывания. Оно должно быть одинаковым во всей вентилируемой системе и может быть принято как содержание в конкретном месте измерения в момент времени $t = t_0$.

Время t_e выбирают произвольно на линейном участке графика в координатах lnφ — время от начала убывания.

e) Оценивают значение интеграла по времени измерения, прибавляя значение интеграла $\frac{\varphi_{t=t_e}}{\lambda_{tail}}$, вычисленное экстраполяцией от $t = t_e$ до бесконечности, к значению, полученному численным интегрированием.

$\varphi_{t=t_e}$ может быть взята в качестве измеренного содержания индикаторного газа при $t = t_e$. Однако лучше использовать уравнение линии тренда кривой убывания в координатах lnφ — время от начала убывания.

Ожидаемое значение $\varphi_{t=t_e}$ получают на основе зависимости $\varphi_{t=t_e} = e^{\ln\varphi(t_e)}$, где $\ln\varphi(t_e)$ получают по корреляционному уравнению с $t = t_e$.

f) Окончательно делят значение интеграла по всей кривой на значение начального содержания индикаторного газа $\varphi_{t=t_0}$ при времени $t = t_c$ для оценки ЛСВВ.

Отсюда видно, как важно получить правильное значение начального содержания индикаторного газа. Обычно используют значение его содержания, полученное в начале убывания.

D.2.3.3 Вычисление ЛСВВ в приведенном примере

Действия, связанные с этапами вычисления ЛСВВ a)—f) (см. D.2.3.2) по данным, приведенным в качестве примера в таблице D.1, описаны ниже:

a) построен график зависимости натурального логарифма объемной доли индикаторного газа от времени (см. рисунок D.2);

b) начало линейного участка графика в координатах $\ln\varphi$ — время от начала убывания было выбрано равным 40 мин при визуальной оценке (для кухни). Для спальни график линеен с начала измерений. Конец линейного участка, где разброс значений около линии тренда остается еще небольшим, выбран равным 100 мин;

c) с помощью программы табличных вычислений методом регрессионного анализа было получено уравнение линии тренда $\ln\varphi = -0{,}0083t + 4{,}03$ для промежутка времени между $t = 42$ мин и $t = 98$ мин с $\lambda = 0{,}0083$ мин$^{-1}$ или 0,498 ч$^{-1}$ (для кухни). Для спальни использовали весь интервал времени от $t = 0$ до $t = 906$ мин, для которого получено корреляционное уравнение $\ln\varphi = -0{,}0129t + 3{,}92$. Таким образом, параметр λ для спальни составляет 0,0129 мин$^{-1}$ (0,774 ч$^{-1}$);

d) значение ЛСВВ вычисляют напрямую как обратное λ [формула (5)], т. е. $\bar{\tau} = 1/\lambda = 1/0{,}774 = 1{,}29$ ч; поскольку убывание в спальне экспоненциально с начала измерения, то нет необходимости выполнять численное интегрирование.

Для кухни при численном интегрировании от $t = 2$ мин до $t = 78$ мин (интервал выбран произвольно на линейном участке кривой убывания) было получено

$$A_{(2\text{-}78)} = 4\left\{\frac{\varphi_{t=2}}{2} + \sum_{t=6}^{t=74}\varphi(t) + \frac{\varphi_{t=78}}{2}\right\} = 4\,(24{,}8 + 721{,}4 = 14{,}7) = 4\times 760{,}8 = 3043\ (\text{см}^3\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{мин}).$$

Поскольку анализ начинали не при $t = 0$, то к полученному значению интеграла следует добавить значение площади под кривой на участке от $t = 0$ до $t = 2$ мин.

$$A_{(0\text{-}2)} = 2\left\{\frac{\varphi_{t=0}}{2} + \frac{\varphi_{t=2}}{2}\right\} = 2\left(\frac{50{,}9}{2} + \frac{49{,}5}{2}\right) = 100\ (\text{см}^3\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{мин});$$

e) затем вычисляют последний вклад в площадь под кривой убывания: площадь под экстраполированным участком кривой от $t = 78$ мин до $t = \infty$

$$A_{\text{rest}} = \frac{\varphi_{t=t_e}}{\lambda} = \frac{29{,}3}{0{,}0083} = 3531\ (\text{см}^3\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{мин}),$$

где $\varphi_{t=t_e} = e^{\ln\varphi(t_e)}$ и $\ln\varphi(t_e)$ получают, подставляя $t = 78$ мин в корреляционное уравнение [см. этап c)].

Общая площадь под кривой $A_{\text{tot}} = A_{(0\text{-}2)} + A_{(2\text{-}78)} + A_{\text{rest}} = 6675$ (см$^3\cdot$м$^{-3}\cdot$мин);

f) ЛСВВ для кухни вычисляют по отношению общей площади под кривой к значению начального содержания индикаторного газа [формула (1)].

$$\bar{\tau} = \frac{A_{\text{tot}}}{\varphi_{t=t_0}} = \frac{6674}{50{,}9} = 131\ \text{мин} = 2{,}19\ \text{ч}.$$

D.2.3.4 Оценка неопределенности

D.2.3.4.1 Общие положения

Неопределенность ЛСВВ, вычисленная по методу убывания содержания индикаторного газа с автоматическим отбором проб, состоит из вкладов неопределенностей учитываемых величин

$$s^2 = s^2_{\text{area}} + s^2_{\varphi_0}, \qquad (D.1)$$

где s^2_{area} — относительная дисперсия оценки истинного интеграла от $t = t_0$ до $t = t_\infty$;

$s^2_{\varphi_0}$ — относительная дисперсия оценки начального содержания индикаторного газа.

Здесь полагают, что функция преобразования аналитического прибора линейна в диапазоне объемной доли индикаторного газа в воздухе от $\varphi = 0$ до максимально измеряемой. Поскольку значение вычисленного интеграла делят на значение объемной доли индикаторного газа при $t = t_0$, прибор не нужно градуировать в абсолютных единицах.

D.2.3.4.2 Неопределенность интегрирования

Значение интеграла от $t = t_0$ до $t = t_e$ приблизительно равно сумме n значений содержания индикаторного газа, полученных за это время, умноженной на $(n - 1)/n$ и интервал времени Δt между измерениями. Вероятно, неопределенность измерения будет в некоторой степени зависеть от диапазона значений содержания индикаторного газа. Если делают допущение о том, что абсолютные неопределенности всех измерений одинаковы, то абсолютная неопределенность численного интегрирования будет равна неопределенности $\sqrt{n}\, s_{meas}$ оцененной суммы, умноженной на $\Delta t(n - 1)/n$. Таким образом, абсолютное стандартное отклонение численного интегрирования $s_{A_{num}}$ вычисляют по формуле

$$s_{A_{num}} = \sqrt{n}\, s_{meas} \cdot \Delta t\,(n-1)/n = s_{meas} \cdot \Delta t\,(n-1)/\sqrt{n}, \tag{D.2}$$

где s_{meas} — абсолютное стандартное отклонение единичного измерения;

n — число точек, использованных при вычислении.

Следует отметить, что при вычислении интеграла методом трапеций возникает дополнительная погрешность. Поскольку в верхней части кривая убывания является вогнутой вверх, при численном интегрировании будет получено завышенное значение интеграла по сравнению с истинным. В зависимости от интенсивности убывания индикаторного газа в перерывах между измерениями оценка может быть завышена незначительно или на несколько десятков процентов. Если между измерениями происходит значительное убывание, то лучшей аппроксимацией площади между двумя смежными точками измерений будет наличие экспоненциального убывания между ними и тогда вычисление площади между i-м и j-м измерениями следует проводить не по правилу трапеций, а в соответствии с формулой

$$A_{ij} = \Delta t_{ij} \frac{\left(\varphi_i - \varphi_j\right)}{\ln\left(\varphi_i\right) - \ln\left(\varphi_j\right)}. \tag{D.3}$$

Неопределенность оставшейся площади A_{rest} зависит от погрешности определения φ_e и параметра экспоненциального убывания λ. Значение λ лучше всего оценивать методом регрессионного анализа линейной интерполяции зависимости $\ln\varphi$ от времени убывания. Относительное стандартное отклонение s_λ углового коэффициента $(-\lambda)$ и оценки s_{φ_e} могут быть получены с использованием электронных таблиц. Абсолютное стандартное отклонение оценки площади на конечном участке кривой A_{rest} вычисляют по формуле

$$s_{rest} = A_{rest}\sqrt{s_\lambda^2 + s_{\varphi_e}^2}. \tag{D.4}$$

Полученное стандартное отклонение s_{φ_e} оценки принимает наименьшее значение при времени, соответствующем среднему из значений времени, использованных в линейной корреляции.

В заключение для вычисления неопределенности ЛСВВ необходимо оценить неопределенность начального содержания индикаторного газа. Ее значение обусловлено не только неопределенностью анализа, но и возможными пространственными изменениями распределения индикаторного газа в начале убывания. Эта последняя неопределенность должна основываться на квалифицированном предположении, опирающемся на результаты измерений содержания индикаторного газа. Вводят индикаторный газ и перемешивают воздух перед началом убывания таким образом, чтобы разница значений его содержания между различными точками исследуемого пространства не превышала 5 %.

D.2.3.4.3 Оценка неопределенности в приведенном примере

Неопределенность вычисленной площади оценивают по формуле

$$s_{A_{num}} = \Delta t\,(n-1)/\sqrt{n}\, s_{meas}. \tag{D.5}$$

s_{meas} — неопределенность измеренного содержания индикаторного газа. Она может быть оценена на основе известных характеристик отбора и анализа проб или вычислена на основе повторного измерения того же самого содержания индикаторного газа. В приведенном примере $s_{meas} = 1$ см$^3 \cdot$ м$^{-3} \cdot \Delta t = 4$ мин, число измерений n равно 20. Таким образом, $s_{A_{num}} = 17$ см$^3 \cdot$ м$^{-3}$ · мин или составляет приблизительно 0,5 %, что можно считать пренебрежимо малым. Сравнивая два метода вычисления площадей, можно показать, что заниженная оценка, получаемая при использовании метода трапеций, в результате также приводит к пренебрежимо малой погрешности. Небольшая неопределенность вычисленной площади объясняется тем, что ошибки компенсируют друг друга при суммировании.

Неопределенность $s_{A_{rest}}$ интерполированной площади A_{rest} вычисляют по формуле

$$s_{A_{rest}} = \sqrt{s_{\lambda}^2 + s_{\varphi_e}^2}, \quad (D.6)$$

где относительное стандартное отклонение s_{λ}, вычисленное методом регрессионного анализа для интервала времени от t = 42 мин до t = 98 мин, составляет 2,2 %. s_{φ_e} составляет только 0,6 %. Таким образом, $s_{A_{rest}}$ составляет 2,3 % от A_{rest} или равна 80 см^3 · м$^{-3}$ · мин.

Относительную неопределенность площади под кривой вычисляют по формуле

$$s_{area} = \frac{\sqrt{s_{A_{num}}^2 + s_{A_{rest}}^2}}{A_{num} + A_{rest}} = \frac{\sqrt{17^2 + 80^2}}{6674} = 1{,}2\ \%. \quad (D.7)$$

Основной составляющей, вносящей вклад в оценку неопределенности ЛСВВ, в этом случае может быть неопределенность начального содержания индикаторного газа s_{φ_0}. Полагая ее равной 3 %, общую неопределенность вычисляют по формуле

$$s_{total} = \sqrt{0{,}012^2 + 0{,}03^2} = 3{,}2\ \%. \quad (D.8)$$

D.2.4 Пример методики убывания содержания индикаторного газа с введением и отбором проб вручную

D.2.4.1 Экспериментальные данные

В приведенном ниже примере индикаторный газ распределяют между различными зонами вентилируемой системы градуированным шприцем, заполненным SF_6 или смесью SF_6 с инертным газом. В каждую зону вводят порцию индикаторного газа объемом, пропорциональным объему зоны. Для равномерного распределения в процессе введения перемещаются по зоне. Чтобы содержание индикаторного газа в зонах не было разным из-за его убывания в процессе введения, каждое введение выполняют по возможности быстро.

После введения индикаторного газа во все зоны, воздух внутри зон и между ними перемешивают, как описано выше для получения равномерного распределения. Сразу после перемешивания воздуха все внутренние двери устанавливают в требуемые положения и отбирают первую пробу пластиковым шприцем вместимостью 50 мл в представительном месте или в процессе перемещения между зонами. После этого в каждой исследуемой зоне отбирают шесть последовательных проб через равные промежутки времени чистыми маркированными шприцами вместимостью 50 мл, которые после заполнения закрывают заглушками. Предпочтительно выбрать такое время между отборами проб, чтобы равномерно распределить их по периоду времени, равному ожидаемому локальному среднему возрасту воздуха, который в приведенном примере составляет 2 ч.

Закрытые заглушками шприцы отправляют в лабораторию, где определяют содержание SF_6 в пробах по результатам анализа на ГХ с ДЭЗ.

D.2.4.2 Модельные данные

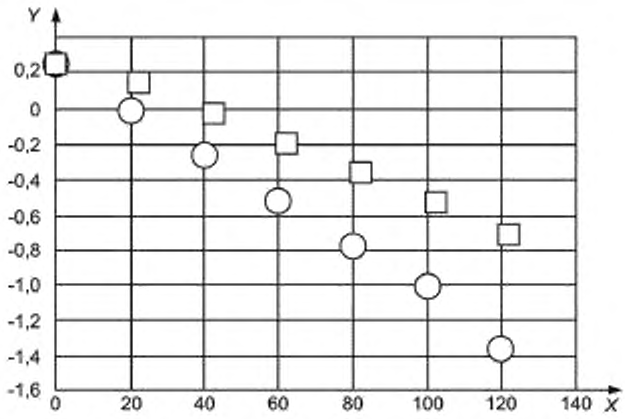
Результаты смоделированного эксперимента приведены в таблице D.2 вместе с результатами вычисления площади, как и в случае автоматического отбора проб. Результаты в графической форме приведены на рисунках D.3 и D.4.

Таблица D.2 — Содержание индикаторного газа в пробах воздуха, отобранных вручную

Спальня						Кухня					
Время, мин	φ, см^3 м$^{-3}$	lnφ	A_{trap}, см^3 м$^{-3}$ мин	A_{exp}, см^3 м$^{-3}$ мин	$A_{trap} - A_{exp}$	Время, мин	φ, см^3 м$^{-3}$	lnφ	A_{trap}, см^3 м$^{-3}$ мин	A_{exp}, см^3 м$^{-3}$ мин	$A_{trap} - A_{exp}$
0	1,27	0,24	—	—	—	0	(1,27)[a]	(0,24)	—	—	—
20	0,98	–0,02	22,6	22,4	0,6 %	22	1,15	0,14	26,6	26,6	0,1 %
40	0,77	–0,26	17,5	17,4	0,5 %	42	0,97	–0,03	21,2	21,1	0,2 %
60	0,59	–0,52	13,6	13,5	0,6 %	62	0,83	–0,19	18,0	18,0	0,2 %
80	0,46	–0,78	10,5	10,5	0,5 %	82	0,70	–0,35	15,3	15,3	0,2 %
100	0,36	–1,01	8,2	8,2	0,5 %	102	0,59	–0,52	13,0	12,9	0,2 %
120	0,25	–1,37	6,2	6,1	1,0 %	122	0,49	–0,71	10,9	10,8	0,3 %

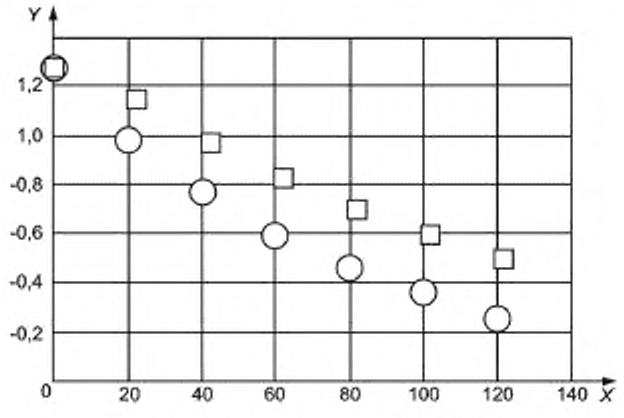
Примечание — A_{trap} — площадь участка, вычисленная с использованием линейной интерполяции, A_{exp} — площадь участка, вычисленная с использованием экспоненциальной интерполяции.

[a] В круглых скобках приведено предполагаемое значение начального содержания индикаторного газа (которое должно быть одинаковым во всех помещениях).



X — время, мин; *Y* — lnφ; О — в спальне; □ — в кухне

Рисунок D.3 — График зависимости логарифма содержания индикаторного газа от времени при убывании



X — время, мин; *Y* — φ, см^3 м$^{-3}$; О — в спальне; □ — в кухне

Рисунок D.4 — Линейная зависимость содержания индикаторного газа от времени при убывании

D.2.4.3 Вычисление локального среднего «возраста» воздуха

При рассмотрении графика в координатах lnφ — время от начала убывания (рисунок D.3) было решено использовать результаты анализа проб, отобранных в период между 40 и 120 мин, выбранный в качестве области с экспоненциальным убыванием индикаторного газа для кухни. Для спальни было принято, что убывание было экспоненциальным с самого начала.

Вычисление проводят так же, как в предыдущем примере с автоматическим отбором проб:

a) строят график зависимости натурального логарифма содержания индикаторного газа от времени (см. рисунок D.3);

b) начало линейного участка графика в координатах lnφ — время от начала убывания выбирают равным 60 мин при визуальной оценке (для кухни). Для спальни график линеен с начала измерений. Конец линейного участка, где разброс значений около линии тренда остается еще небольшим, выбран равным 120 мин.

c) с помощью программы табличных вычислений методом регрессионного анализа было получено уравнение линии тренда $\ln\varphi = -0{,}0087t + 0{,}35$ для промежутка времени между t = 62 мин и t = 122 мин с λ = 0,0087 мин$^{-1}$ или 0,52 ч$^{-1}$ (для кухни). Для спальни можно было использовать весь интервал времени от t = 0 до t = 120 мин, для которого получено корреляционное уравнение $\ln\varphi = -0{,}0131t + 0{,}25$. Таким образом, параметр λ для спальни составляет 0,013 мин$^{-1}$ (0,79 ч$^{-1}$);

d) значение ЛСВВ вычисляют напрямую как обратное λ, т. е. $\bar{\tau} = 1/\lambda = 1/0{,}79 = 1{,}27$ ч; поскольку убывание в спальне экспоненциально с начала измерений, то нет необходимости выполнять численное интегрирование.

Для кухни при численном интегрировании от t = 0 до t = 102 мин (интервал был выбран произвольно на линейном участке кривой убывания) было получено

$$A_{(0-102)} = 26,6 + 21,2 + 18,0 + 15,3 + 13,0 = 94,1 \text{ (см}^3 \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{мин)};$$

e) затем вычисляют последний вклад в площадь кривой убывания: площадь под участком кривой от t = 102 мин до t = ∞

$$A_{rest} = \frac{\varphi_e}{\lambda} = \frac{0,58}{0,0087} = 67,2 \text{ (см}^3 \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{мин)}, \quad (D.9)$$

где $\varphi_e = e^{\ln\varphi(t_e)}$ и $\ln\varphi(t_e)$ получают, вводя t = 102 мин в корреляционное уравнение [см. этап c)].

Общая площадь под кривой $A_{tot} = A_{(0-102)} + A_{rest}$ = 161,3 (см^3 · м$^{-3}$ · мин);

f) ЛСВВ для кухни вычисляют по отношению значения общей площади под кривой к начальному значению содержания индикаторного газа [см. формулу (1)] по формуле

$$\bar{\tau} = \frac{A_{tot}}{\varphi_{t=t_0}} = \frac{161,3}{1,27} \text{ мин} = 2,12 \text{ ч}. \quad (D.10)$$

D.2.4.4 Оценка неопределенности в приведенном примере

Оценку неопределенностей вычисляют так же, как в случае автоматического отбора проб по формуле

$$s_{A_{num}} = \Delta t\,(n-1)/\sqrt{n}\,s_{meas} \quad (D.11)$$

с результатом $s_{A_{num}} = 20 \times 5\frac{0,02}{\sqrt{6}} = 0,82$ (см^3 · м$^{-3}$ · мин) при условии, что абсолютная неопределенность измерения объемной доли индикаторного газа составляет 0,02 см^3 · м$^{-3}$, а для численного интегрирования были использованы результаты анализа шести первых проб.

Неопределенность $s_{A_{rest}}$ вычисляют по формуле

$$s_{A_{rest}} = A_{rest}\sqrt{s_\lambda^2 + s_{\ln\varphi,\,t_e}^2} \quad (D.12)$$

с результатом $s_{A_{rest}} = 67,2\sqrt{0,28^2 + 0,012^2} = 67,2 \times 0,030 = 2,03$ (см^3 · м$^{-3}$ · мин),

где относительную неопределенность углового коэффициента s_λ и относительную неопределенность ожидаемого значения содержания индикаторного газа при t = 102 мин вычисляют методом регрессионного анализа.

Относительную неопределенность площади под кривой вычисляют по формуле

$$s_{area} = \frac{\sqrt{s_{A_{num}}^2 + s_{A_{rest}}^2}}{A_{num} + A_{rest}} = \frac{\sqrt{0,82^2 + 2,03^2}}{161,3} = 1,4\ \%. \quad (D.13)$$

Оценка s_{φ_0} должна основываться на обоснованном предположении, опирающемся на результаты измерений содержания индикаторного газа. В данном случае оно может быть оценено для спальни, где убывание экспоненциально с самого начала, на основе неопределенности, вычисленной по методу регрессионного анализа. При использовании этого метода неопределенность отрезка, отсекаемого на оси ординат при t = 0, s_{φ_0} составляет 2,2 %.

Суммируя вклады неопределенностей [формула (D.1)], получили

$$s_c = \sqrt{0,014^2 + 0,022^2} = 2,6\ \%.$$

D.3 Метод равномерного введения индикаторного газа

D.3.1 Введение индикаторного газа

Целью введения индикаторного газа по методу равномерного введения является установление постоянной и одинаковой скорости его введения на единицу объема во всех частях вентилируемой системы. Индикаторный газ может быть введен активным или пассивным способом.

D.3.2 Отбор проб индикаторного газа

Отбор проб может быть пассивным (диффузионным) или активным. При пассивном отборе проб получают усредненные значения содержания индикаторного газа для долговременного периода, а при активном — текущие значения. Активный отбор проб может быть автоматическим, при этом получают информацию об условиях вентиляции как функций времени, или ручным — при этом получают информацию для выбранных моментов времени.

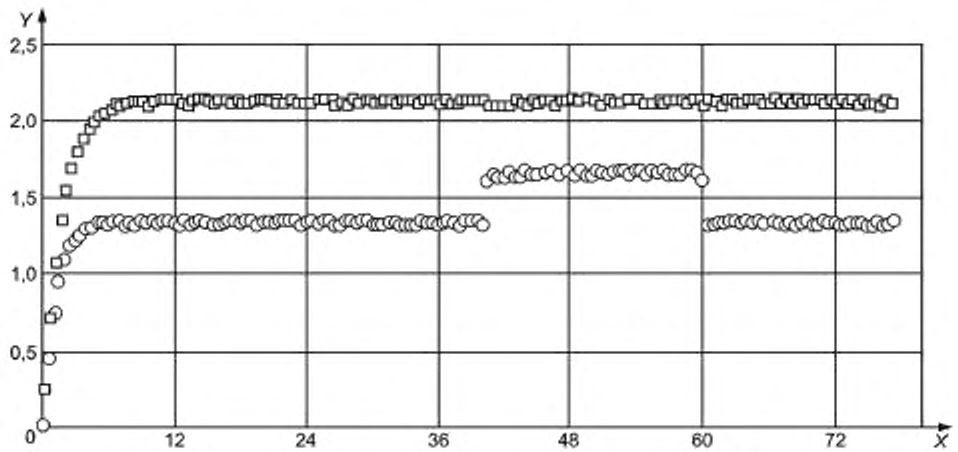
D.3.3 Пример применения метода равномерного введения индикаторного газа с активным введением и отбором проб

D.3.3.1 Модельный эксперимент

В этом примере SF_6 вводили в три зоны жилого дома с помощью серийно выпускаемого дозатора. Этот прибор может быть запрограммирован на многоканальное введение индикаторного газа через шесть портов. Запрограммировав прибор таким образом, чтобы различные порты открывались в определенный момент времени, регулируют количество введенного газа. Индикаторный газ смешивают с воздухом перед его распылением через разные порты для предотвращения его избыточного содержания и плотности. Для распределения индикаторного газа в трех различных зонах использовали полиэтиленовые трубки (внутренним диаметром 4 мм). Смесь индикаторного газа с воздухом выпускали в каждой комнате позади вентилятора небольшой мощности, используемого для улучшения распределения его в помещениях. Также можно использовать другое оборудование для контролируемого введения и распределения индикаторного газа, но во всех случаях скорость его введения должна быть установлена в соответствии с объемом зоны.

Отбор проб проводят в течение 80 ч через каждые 15 мин в спальне и в кухне. Анализ выполняют с помощью многоканального газоанализатора, принцип действия которого основан на поглощении ИК излучения определяемым газом, с фотоакустическим детектором в качестве приемника для определения содержания индикаторного газа.

Скорость введения SF_6 в единицу объема составляла 1 $см^3 \cdot м^{-3} \cdot ч^{-1}$. В помещения жилого дома вводили 122,4 мл SF_6 в час. Для того чтобы продемонстрировать влияние изменения способа распределения воздуха смоделировали ситуацию, при которой дверь между спальней и гостиной была открыта в период времени от t = 40 ч до t = 60 ч после начала введения. Результаты, полученные при моделировании, приведены на графике (см. рисунок D.5).



X — время от начала введения, ч; Y — содержание индикаторного газа SF_6, $см^3 \cdot м^{-3}$;
○ — в спальне; □ — в кухне

Рисунок D.5 — Результаты измерения содержания индикаторного газа с применением методики равномерного введения с активным введением и отбором проб. В период времени от 40 до 60 ч дверь в спальню была открыта (результаты моделирования)

D.3.3.2 Вычисление локального среднего «возраста» воздуха

ЛСВВ вычисляют делением содержания индикаторного газа в установившемся состоянии на скорость его введения в единицу объема по формуле

$$\overline{\tau} = \frac{\varphi}{q_V / V}\ ^{1)}. \qquad (D.14)$$

[1)] В приведенной формуле: q_V — объемный расход приточного воздуха, $см^3 \cdot мин^{-1}$; V — объем помещения, $м^3$.

По истечении 10 ч с начала введения индикаторного газа достигается установившееся состояние. В таблице D.3 приведены полученные усредненные значения содержания индикаторного газа и вычисленные усредненные значения ЛСВВ в разные периоды времени.

Таблица D.3 — Усредненные значения содержания индикаторного газа в установившемся состоянии. В период времени от t = 40 ч до t = 60 ч дверь в спальню была открыта

Период времени, ч	Спальня		Кухня	
	φ, см^3 м$^{-3}$	$\bar{\tau}^{1)}$, ч	φ, см^3 м$^{-3}$	$\bar{\tau}^{1)}$, ч
От 10 до 40	1,33 ± 0,01	1,33	2,13 ± 0,01	2,13
От 40 до 60	1,65 ± 0,15	1,65	2,12 ± 0,01	2,12
От 60 до 80	1,34 ± 0,01	1,34	2,12 ± 0,01	2,12

D.3.3.3 Оценка неопределенности

При определении ЛСВВ по методике равномерного введения относительную неопределенность вычисляют по стандартным отклонениям величин, учитываемых при нахождении искомой величины, по формуле

$$s_\tau^2 = s_{meas}^2 + s_{distr}^2. \quad (D.15)$$

Относительное стандартное отклонение измеренного содержания индикаторного газа состоит из неопределенности аналитического прибора, которая зависит от его градуировочной характеристики, ее дрейфа и нестабильности. Здесь полагают, что прибор калиброван по стандартной градуировочной смеси SF_6 с воздухом, содержание целевого компонента в которой известно с погрешностью ± s_{cal}, а стандартное отклонение среднего арифметического значения результата измерений составило s_{anal}. Общую дисперсию значений содержания индикаторного газа вычисляют по формуле

$$s_{meas}^2 = s_{cal}^2 + s_{anal}^2. \quad (D.16)$$

Полагают, что любую разницу между номинальным значением содержания целевого компонента в стандартной градуировочной газовой смеси и средними значениями, полученными с использованием этой смеси (систематическая погрешность), учитывают, используя поправочный коэффициент.

Неопределенность скорости равномерного введения зависит от того, насколько точно может быть измерена и поддерживаться постоянной скорость введения в различных зонах. Относительную неопределенность, связанную с регулировкой скорости введения, определяют при градуировке и обозначают как s_{inject}.

Есть еще один фактор, влияющий на скорость равномерного введения, который необходимо учитывать при вычислении неопределенности. Это погрешность, обусловленная невозможностью получения равномерного распределения. Эту неопределенность, различную в разных зонах, вычисляют следующим образом.

Принимают q_V/V в качестве средней скорости введения индикаторного газа на единицу объема вентилируемой системы, а q_{V_p}/V_p — в качестве скорости его введения на единицу объема конкретной зоны p. Неопределенность, связанную с неравномерностью распределения индикаторного газа s_{inhom}, вычисляют по формуле

$$s_{inhom} = \frac{\left| q_V/V_p - q_V^2/V^2 \right|}{q_V/V + q_{V_p}/V_p}. \quad (D.17)$$

Таким образом, общую дисперсию ЛСВВ вычисляют по формуле

$$s_\tau^2 = s_{cal}^2 + s_{anal}^2 + s_{inject}^2 + s_{inhom}^2. \quad (D.18)$$

Существует также дополнительная неопределенность измерения, обусловленная неполнотой перемешивания воздуха в зоне. Эта неопределенность усредненного значения ЛСВВ в зоне может быть оценена только по результатам измерений на различных участках зоны.

Отклонения, обусловленные изменениями скорости вентиляции и распределения воздуха с течением времени, могут быть оценены по изменениям значений содержания индикаторного газа со временем. Следует отметить, что такое отклонение может быть значительно больше, чем общая неопределенность метода, вычисленная вышеописанным способом.

D.3.3.4 Оценка неопределенности в приведенном примере

$$s_\tau = \sqrt{s_{meas}^2 + s_{inject}^2 + s_{inhom}^2}. \quad (D.19)$$

[1)] Приведенные в таблице значения ЛСВВ относятся к скорости введения индикаторного газа в единицу объема (см. D.3.3.1).

Неопределенность содержания индикаторного газа s_{meas} может быть оценена по стандартному отклонению системы отбора и анализа проб путем повторного анализа одной и той же стандартной градуировочной газовой смеси. Обычно это стандартное отклонение s_{meas} составляет 3 %.

Относительная неопределенность, связанная с установкой скорости введения индикаторного газа s_{inject}, должна быть определена при градуировке. Обычно s_{inject} составляет 3 %.

s_{inhom} — это неопределенность, обусловленная невозможностью получения равномерного распределения индикаторного газа. Неравномерность распределения индикаторного газа может быть связана с тем, что оборудование для регулировки не обеспечивает возможности для пользователя точно установить требуемую скорость введения. Соответствие требуемой и установленной скоростей введения индикаторного газа может быть различным в разных зонах (см. D.3.3.3 по оценке описанной выше неопределенности для вычисления s_{inhom} в разных зонах).

Если в приведенном примере пренебречь значением s_{inhom}, то относительную неопределенность измерения ЛСВВ, полученного с использованием метода равномерного введения индикаторного газа с активным введением и отбором проб, вычисляют по формуле (D.19)

$$s_r = \sqrt{0{,}03^2 + 0{,}03^2} = 4{,}2\,\%. \qquad (D.19)$$

Следует отметить, что оценка неопределенности относится только к единичному измерению. Если оценивают неопределенность значения, полученного усреднением по нескольким результатам измерений, то стандартное отклонение среднего оценивают методом регрессионного анализа. Следует отметить, что случайные погрешности единичных измерений компенсируют друг друга при вычислении среднего значения. Однако остаются неопределенности, обусловленные систематическими погрешностями. Таким образом, рекомендуется оценивать неопределенность среднего значения $s_{average}$ по формуле

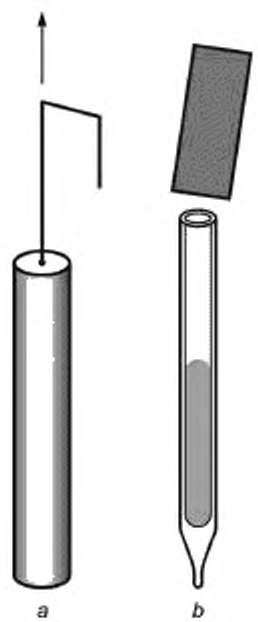
$$s_{average} = \sqrt{\frac{s_{series}^2}{n-1} + s_{cal}^2 + s_{distr}^2}, \qquad (D.20)$$

где s_{series} — относительное стандартное отклонение в серии из n измерений, по результатам которых было вычислено среднее значение.

D.3.4 Пример применения метода равномерного введения индикаторного газа с пассивным введением и отбором проб

D.3.4.1 Общие положения

Методику равномерного введения с пассивным введением и отбором проб обычно используют при определении усредненного по времени ЛСВВ для продолжительного периода времени. В этом примере были использованы пассивные регулируемые источники индикаторного газа капиллярного типа и трубки для пассивного диффузионного отбора проб с активированным углем в качестве сорбента (см. рисунок D.6).



a — источник индикаторного газа капиллярного типа с устройством регулировки скорости выделения; *b* — пассивный пробоотборник с активированным углем в качестве сорбента

Примечание — Регулировку скорости выделения капиллярным источником можно осуществить с помощью металлической проволоки, опускаемой в капиллярную трубку на различную глубину.

Рисунок D.6 — Эскиз диффузионного источника и пробоотборника

В литературе описаны диффузионные источники и пробоотборники нескольких типов. Некоторые из них серийно выпускают фирмы, проводящие анализы проб на содержание индикаторного газа. Перед использованием диффузионные источники следует тщательно проградуировать по скорости выделения. Для таких источников характерна сильная зависимость скорости выделения от температуры, и эта зависимость должна быть точно известна. Перед использованием диффузионных пробоотборников следует также точно измерить скорость диффузионного поглощения. Серийно выпускаемые диффузионные источники и пробоотборники градуированы и испытаны.

D.3.4.2 Планирование испытания

Была поставлена задача определить значения ЛСВВ как усредненные за неделю значения для одноквартирного жилого дома. Был сделан эскиз дома и вычислен объем помещений (см. рисунок D.7). Общий объем жилой площади дома составил 248 м^3, а объем подвала вместе с лестничным пролетом, соединяющим его с домом, — 140 м^3. На цокольном этаже имелись небольшие закрытые помещения общим объемом 33 м^3 без доступа свежего воздуха или содержащие только отработанный воздух (ванная комната, прачечная и кладовая). В этих помещениях источники индикаторного газа не размещали.

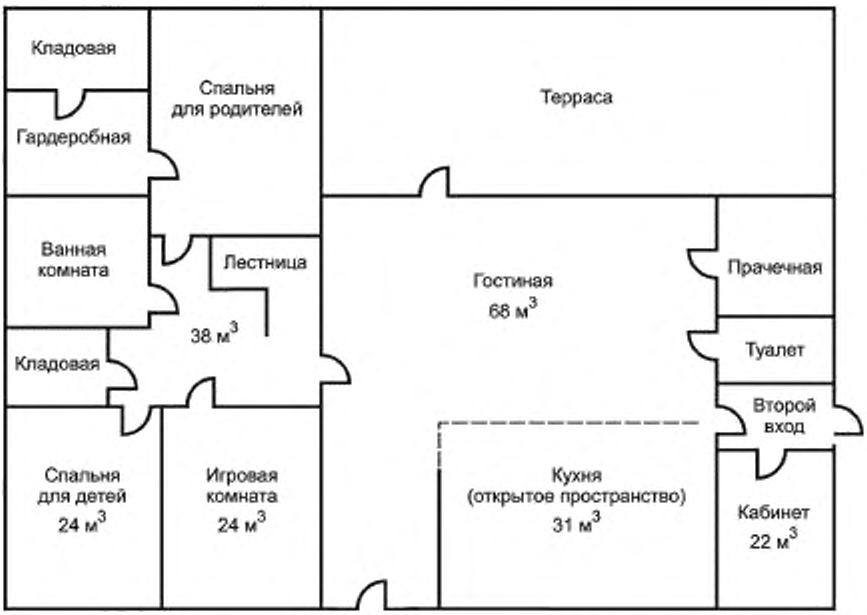


Рисунок D.7 — Эскиз плана жилого дома в качестве дополнения к протоколу измерений для указания местоположения источников индикаторного газа и пробоотборников, используемый при оценке распределения индикаторного газа

Полученные данные по объему помещений были отправлены в фирму, предоставившую двенадцать отрегулированных маркированных источников индикаторного газа, восемь из которых были установлены на первом этаже, четыре — в подвале.

D.3.4.3 Порядок испытания

Двенадцать маркированных источников индикаторного газа и пять диффузионных пробоотборников были размещены на стенах помещений в соответствии с инструкциями фирмы-поставщика. После установки источников были размещены и открыты диффузионные пробоотборники (в кухне, зале, детской спальне, кабинете и подвале). Источники, пробоотборники и датчики температуры были размещены на недоступной для детей высоте. Обитатели помещения были проинформированы о цели измерений и о том, что оборудование нельзя трогать. Обитателям был оставлен протокол измерений и контейнер для возврата оборудования, чтобы они могли сами остановить измерение по истечении недели, закрыть пробоотборники и вместе с датчиками отослать их в лабораторию на анализ. Источники были отправлены в отдельной упаковке на следующий день во избежание загрязнения пробоотборников.

D.3.4.4 Результаты

В таблице D.4 приведены значения объема зон, скорости введения, массы отобранного пробоотборниками индикаторного газа и вычисленные значения ЛСВВ в различных зонах исследуемого жилого дома. Общее время экспозиции составило 164 ч. Эквивалентная скорость отбора проб диффузионными пробоотборниками к составила 16 мл/ч.

Таблица D.4 — Значения объема зон, скорости введения, массы отобранного пробоотборниками индикаторного газа и ЛСВВ в разных зонах исследуемого жилого дома

Зона	Объем зоны V, м^3	Скорость выделения q_m, мкг/ч	Масса индикаторного газа M, кг	Средний возраст воздуха $\overline{\tau}$, ч
Гостиная	68	35		
Кухня	31	16	3,6	2,7
Зал	38	19	3,7	2,8
Игровая комната	24	12		
Детская спальня	24	12	4,5	3,4
Спальня родителей	41	21		
Кабинет	22	11	3,4	2,5
Подвал	140	70	1,9	1,4

Усредненную массовую концентрацию индикаторного газа ρ_a в месте размещения пробоотборника определяют на основе массы отобранного индикаторного газа M, вычисляемой по формуле

$$M = k \cdot T \cdot \rho_a, \tag{D.21}$$

ЛСВВ вычисляют по формуле

$$\overline{\tau} = \frac{\rho_a}{q_m / V}, \tag{D.22}$$

где q_m / V — средняя скорость введения индикаторного газа на единицу объема (например, в мкг · ч$^{-1}$ · м$^{-3}$).

D.3.4.5 Оценка неопределенности локального среднего «возраста» воздуха

Оценку общей неопределенности ЛСВВ (s) вычисляют по формуле

$$s = \sqrt{s_{source}^2 + s_{sampl}^2 + s_{meas}^2 + s_{inhom}^2}. \tag{D.23}$$

где s_{source} — полная неопределенность скорости введения. Она состоит из неопределенности скорости введения индикаторного газа в вентилируемую систему, которую следует вычислять по относительному стандартному отклонению для отдельных источников (определенному при градуировке), деленному на квадратный корень из числа источников в системе, и неопределенности, обусловленной неточным выставлением температуры;

s_{sampl} — относительная неопределенность отбора проб. Ее следует оценивать по относительному стандартному отклонению скорости отбора проб, определенной при градуировке, плюс неопределенность, обусловленная непредставительностью отбора проб из-за неполноты перемешивания воздуха в зоне;

s_{meas} — относительная неопределенность анализа (воспроизводимость + дрейф + неопределенность градуировки) (максимум 0,08);

s_{inhom} — относительная неопределенность, обусловленная любым отклонением скорости введения индикаторного газа в отдельных зонах от равномерной. Погрешность, обусловленная этими отклонениями, зависит от существующей взаимосвязи (в смысле взаимодействия потоков воздуха) между конкретной зоной и остальной вентилируемой системой. Поскольку обычно интенсивность этого взаимодействия неизвестна, оценка ЛСВВ будет иметь неопределенность (вычисление s_{inhom} см. в D.3.3.3).

D.3.4.6 Оценка неопределенности в приведенном примере

Для приведенного примера с двенадцатью источниками, неопределенность каждого из которых оценена в 5 %, и при относительной неопределенности из-за неточного выставления температуры, оцененной в 3 %, полная неопределенность скорости выделения s_{source} составит:

$$s_{source} = \sqrt{0{,}05^2 / 12 + 0{,}03^2}. \tag{D.24}$$

Неопределенность отбора проб вычисляют по формуле

$$s_{sample} = \sqrt{0{,}05^2 + s_{mix}^2/(n-1)}, \quad (D.25)$$

где неопределенность калибровки системы отбора проб принята равной 5 %.

s_{mix}^2 — составная дисперсия, обусловленная использованием разных трубок для отбора проб и недостаточной представительностью отбора проб в зоне, которую определяют по стандартному отклонению для n пробоотборников в зоне. Если используют только один пробоотборник (например, в небольшой зоне), то $s_{mix}^2/(n-1)$ заменяют на $0{,}05^2$ в зоне с нормальным перемешиванием воздуха.

s_{meas} = 0,03 (3 %) — типичное значение относительной неопределенности анализа индикаторного газа при экстракции его жидкостью и анализе на ГХ с ДЭЗ. Однако относительная неопределенность быстро возрастает при увеличении массы отобранного индикаторного газа.

Если отклонением от равномерного распределения скорости выделения пренебречь, то типичная общая неопределенность ЛСВВ в данном примере составит 11 %.

$$s = \sqrt{s_{source}^2 + s_{sampl}^2 + s_{meas}^2 + s_{inhom}^2} = \sqrt{(0{,}05^2/12 + 0{,}03^2) + (0{,}05^2 + 0{,}05^2) + 0{,}08^2 + 0} = 0{,}11.$$

Следует отметить, что оценка общей неопределенности относится только к значениям ЛСВВ, усредненным за период измерения. Здесь не учтены никакие колебания кратности воздухообмена и распределения воздуха во времени. Они могут быть оценены только путем анализа изменений содержания индикаторного газа во времени.

Приложение Е
(справочное)

Локальный средний «возраст» воздуха в оценке качества воздуха и представление результатов

Е.1 Локальный средний «возраст» воздуха в оценке качества воздуха

Е.1.1 Средний «возраст» воздуха и качество воздуха

«Локальный средний «возраст» воздуха» определяет средний срок пребывания воздуха, окружающего конкретную точку в пространстве, в вентилируемой системе. Чем дольше воздух находится в замкнутом помещении, тем больше вероятность накопления им загрязняющих веществ, поступающих из источников в замкнутом помещении. Таким образом, ЛСВВ может быть показателем качества воздуха. Однако воздух, окружающий точку, может находиться в различных зонах вентилируемой системы в течение разного времени.

Схема распределения значений среднего «возраста» воздуха в здании показывает, как распределяется приточный воздух внутри здания. На основе ЛСВВ также можно оценить время, необходимое для обновления воздуха в конкретном помещении здания.

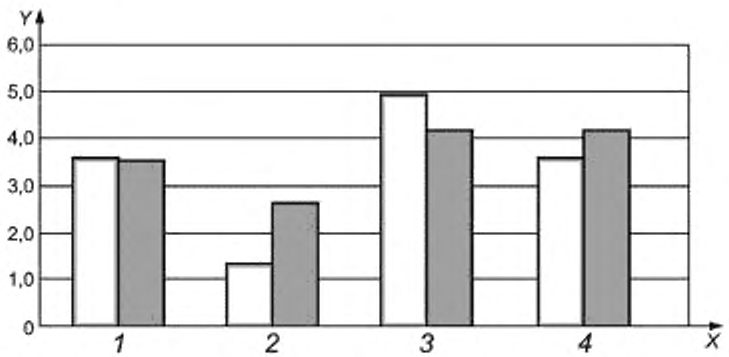
Е.1.2 Пример: оценка скорости выделения загрязняющего вещества

Приблизительное значение общей скорости выделения $\langle q_{Cw} / V \rangle$ загрязняющего вещества С на кубический метр объема, содержание которого определяют одновременно со средним «возрастом» воздуха, может быть получено следующим способом.

Сначала вычисляют среднюю массовую концентрацию $\langle \rho_C \rangle$ загрязняющего вещества С в вентилируемой системе на основе средневзвешенных по объему значений массовой концентрации. Затем делят это значение на усредненное значение среднего «возраста» воздуха в системе $\langle \bar{\tau} \rangle$, которое вычисляют по средневзвешенным по объему значениям ЛСВВ. Таким образом, $\langle q_{Cw} / V \rangle$ вычисляют по формуле

$$\langle q_{Cw} / V \rangle = \frac{\langle \rho_C \rangle}{\langle \bar{\tau} \rangle}. \qquad (E.1)$$

Невозможно установить, каким образом значения скорости выделения загрязнителя распределены между зонами, не имея дополнительной информации о характеристиках потоков воздуха в вентилируемой системе. Однако можно сравнить распределение ожидаемых значений содержания с реальным распределением. Ожидаемые значения массовой концентрации загрязняющего вещества в зоне при равномерном распределении значений скорости его выделения могут быть вычислены умножением полученного значения $\langle q_{Cw} / V \rangle$ на значения ЛСВВ в различных зонах.



X – помещение: *Y* — массовая концентрация ρ_C, мг $\cdot$ м$^{-3}$; — измеренная массовая концентрация; — ожидаемая массовая концентрация; *1* — гостиная; *2* — спальня; *3* — кухня; *4* — ванная комната

Рисунок Е.1 — Диаграмма сравнения измеренного и вычисленного ожидаемого содержания загрязняющего вещества при допущении, что при равномерном введении индикаторного газа может быть получена информация о распределении источников загрязняющего вещества

В помещениях, где было получено содержание индикаторного газа выше ожидаемого, была более высокая скорость выделения на кубический метр по сравнению с вычисленной $\langle q_{Cw} / V \rangle$, а в помещениях с более низкими значениями — более низкая скорость выделения на кубический метр по сравнению с вычисленной.

Е.2 Представление результатов измерений

В соответствии с настоящим стандартом основными результатами измерений являются значения ЛСВВ в разных зонах. Однако есть дополнительные величины или величины, выражаемые через параметры условий вентиляции в здании, которые также могут быть приведены в качестве результатов испытаний:

a) кратность воздухообмена в конкретном помещении ($ч^{-1}$);
b) усредненный средний «возраст» воздуха (ч);
c) номинальная постоянная времени (ч);
d) эффективность воздухообмена;
e) показатели локального воздухообмена;
f) удельная кратность воздухообмена ($ч^{-1}$);
g) общий расход приточного воздуха ($м^3 \cdot ч^{-1}$).

В некоторых случаях эти параметры могут быть вычислены на основе известных значений объема и ЛСВВ в разных зонах, на которые делится вентилируемая система.

Ниже приведены определения и способ вычисления этих дополнительных величин.

Кратность воздухообмена в конкретном помещении ($ч^{-1}$) — величина, обратная ЛСВВ в зоне. Ранее эту величину называли «локальная кратность воздухообмена». Преимущество использования этого параметра связано с его близким сходством с хорошо известной величиной удельной кратности воздухообмена, которую определяют для вентилируемой системы только как для единого целого.

Усредненный средний «возраст» воздуха показывает насколько «стар», в среднем, воздух в вентилируемой системе. Его вычисляют как средневзвешенное по объему значение ЛСВВ в различных зонах по формуле

$$\langle \tau \rangle = \Sigma (V_j \tau_j) / \Sigma V_j,$$

где V_j — объем зоны;

τ_j — локальный средний «возраст» воздуха.

В этой формуле учтены только те зоны, для которых был определен ЛСВВ (т. е. зоны, в которых были установлены источники индикаторного газа и пробоотборники).

Время воздухообмена представляет собой удвоенный усредненный средний «возраст» воздуха в вентилируемой системе.

Номинальная постоянная времени равна общему объему вентилируемой системы, деленному на общий расход приточного воздуха. Она также равна среднему «возрасту» воздуха, покидающего вентилируемую систему. Ее следует вычислять, если это возможно, по усредненным значениям среднего «возраста» воздуха для потоков отработавшего воздуха, полученным с помощью пробоотборников, размещенных вблизи идентифицированных вытяжных отверстий. Если расход вытяжного воздуха неизвестен, то вычисляют среднее арифметическое измеренных значений среднего «возраста» воздуха вблизи вытяжных отверстий. Если вытяжные отверстия невозможно идентифицировать, то для приблизительной оценки номинальной постоянной времени может быть взято усредненное значение среднего «возраста» воздуха для всей вентилируемой системы. Однако при использовании одного из этих приближенных методов следует приводить значение неопределенности, равное стандартному отклонению отдельных значений среднего «возраста» воздуха от среднего значения.

Эффективность воздухообмена определяется как отношение номинальной постоянной времени ко времени воздухообмена в системе. Этот параметр описывает, насколько хорошо используется приточный воздух по сравнению с идеальным «поршневым режимом потока» при той же самой кратности воздухообмена. Для системы с полным перемешиванием воздуха эффективность воздухообмена составляет 50 %.

Показатель локального воздухообмена — это отношение номинальной постоянной времени к ЛСВВ. Этот показатель описывает, как хорошо вентилируется локальный участок пространства по сравнению с вентиляцией в системе с полным перемешиванием воздуха при той же самой кратности воздухообмена.

Удельная кратность воздухообмена определяется как отношение общего расхода наружного воздуха, попадающего в вентилируемую систему, к объему вентилируемой системы. Эта величина эквивалентна ранее использовавшейся величине «скорости воздухообмена». Удельную кратность воздухообмена не определяют локально для зоны (см. также «кратность воздухообмена в конкретном помещении»). Ее следует вычислять как величину, обратную номинальной постоянной времени.

Общий расход приточного воздуха вычисляется как отношение общего объема вентилируемой системы к номинальной постоянной времени. Общий объем должен включать объем всех участков вентилируемой системы, а не только исследуемых зон.

Е.3 Замечания по измерению и интерпретации «расхода воздуха при продувке»

Е.3.1 Определение

«Расход воздуха при продувке» U — параметр вентиляции, показывающий, насколько эффективно происходит удаление загрязняющих веществ, выделившихся на конкретном участке, из вентилируемой зоны. Эту величину определяют по формуле

$$\rho_C = \frac{q_{Cw}}{U}, \tag{Е.2}$$

где ρ_C — содержание загрязняющего вещества в зоне в установившемся состоянии;

q_{Cw} — скорость выделения загрязняющего вещества в этой зоне.

Эта формула справедлива только в том случае, если загрязняющее вещество не выделяется больше нигде в вентилируемой системе.

Если то же самое загрязняющее вещество выделяется также и в других зонах j вентилируемой системы, то содержание загрязняющего вещества в установившемся состоянии в зоне i вычисляют по формуле

$$\rho_{Ci} = \frac{(q_{Cw})_i + \sum_{j \neq i} P_{ij}(q_{Cw})_j}{U_i}, \tag{Е.3}$$

где P_{ij} — вероятность переноса загрязняющих веществ, выделяющихся со скоростью $(q_{Cw})_j$ из зон j в зону i.

Расход воздуха при продувке в зоне может быть измерен простым способом с использованием индикаторного газа, вводимого в одну (но ни в какую другую) зону с известной постоянной скоростью, и измерения его содержания в зоне в установившемся состоянии. Когда для определения ЛСВВ используют метод равномерного введения, параллельно расход очищающего воздуха в зоне может быть определен одновременно при использовании индикаторных газов различного типа в этой зоне.

Е.3.2 Интерпретация расхода воздуха при продувке

Расход очищающего воздуха U рассматривают как расход наружного воздуха в вентилируемой системе, поступающего в конкретную зону для разбавления загрязняющих веществ. Максимальное значение U, равное общему расходу приточного воздуха в системе, наблюдается, например, если происходит хорошее перемешивание воздуха между зонами.

В соответствии с многозональной теорией расход очищающего воздуха можно интерпретировать как состоящий из расходов приточного воздуха q_i, попадающего напрямую извне в различные зоны, и вычислить по формуле

$$U_i = q_i + \sum_{j \neq i} P_{ij} q_j, \tag{Е.4}$$

где P_{ij} — вероятность переноса воздуха из зоны j в зону i;

q_i — расход наружного воздуха, напрямую попадающего в зону i.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 12569	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Библиография

[1] ISO 16000-1 Indoor air — Part 1: General aspects of sampling strategy[1] (ИСО 16000-1, Воздух замкнутых помещений. Часть 1. Отбор проб. Общие положения)

[2] ISO 16017-1 Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 1: Pumped sampling[2] (ИСО 16017-1, Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках. Часть 1. Отбор проб методом прокачки)

[3] ISO 16017-2 Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 2: Diffusive sampling[3] (ИСО 16017-2, Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках. Часть 2. Диффузионный метод отбора проб)

[1] Стандарту ИСО 16000-1 соответствует ГОСТ Р ИСО 16000-1—2006 «Воздух замкнутых помещений. Часть 1. Отбор проб. Общие положения».

[2] ИСО 16017-1 соответствует ГОСТ Р ИСО 16017-1—2007 «Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках. Часть 1. Отбор проб методом прокачки».

[3] ИСО 16017-2 соответствует ГОСТ Р ИСО 16017-2—2007 «Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярных колонках. Часть 2. Диффузионный метод отбора проб».

УДК 504.3:006.354 ОКС 13.040.20 Т58

Ключевые слова: воздух, помещения замкнутые, вентиляция, локальный средний «возраст» воздуха, вентилируемая система, зона, условия вентиляции, индикаторный газ, источники выделения, отбор проб, анализ

Редактор *А. В. Маркин*
Технический редактор *Н. С. Гришанова*
Корректор *Л. Я. Митрофанова*
Компьютерная верстка *А. П. Финогеновой*

Сдано в набор 13.08.2012. Подписано в печать 25.10.2012. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,40. Тираж 131 экз. Зак. 1303.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru