

**Doc 9501  
AN/929**



# **Техническое руководство по окружающей среде**

---

**Том II  
Методики сертификации  
авиационных двигателей по эмиссии**

Утверждено Генеральным секретарем  
и опубликовано с его санкции

Издание второе — 2014

Международная организация гражданской авиации



**Doc 9501  
AN/929**



# **Техническое руководство по окружающей среде**

---

**Том II  
Методики сертификации авиационных двигателей  
по эмиссии**

Утверждено Генеральным секретарем  
и опубликовано с его санкции

Издание второе — 2014

**Международная организация гражданской авиации**

Опубликовано отдельными изданиями на русском, английском,  
арабском, испанском, китайском и французском языках  
МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ  
999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

Информация о порядке оформления заказов и полный список агентов по  
продаже и книготорговых фирм размещены на веб-сайте ИКАО [www.icao.int](http://www.icao.int)

*Издание первое, 2010.*

*Издание второе, 2014.*

**Дос 9501 ИКАО. Техническое руководство по окружающей среде**  
**Том II. Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии**  
Номер заказа: 9501-2  
ISBN 978-92-9249-673-9

© ИКАО, 2014

Все права защищены. Никакая часть данного издания не может воспроизводиться,  
храниться в системе поиска или передаваться ни в какой форме и никакими  
средствами без предварительного письменного разрешения  
Международной организации гражданской авиации.





# ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Страница</i>
Термины, обозначения и сокращения .....	(vii)
<b>РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>1-1</b>
1.1 Цель руководства .....	1-1
1.2 Структура руководства .....	1-1
1.3 План демонстрации соответствия по эмиссии .....	1-2
1.4 Отчет о сертификации по эмиссии .....	1-3
<p>Структура раздела 2 повторяет структуру тома II Приложения 16. Текст тома II Приложения 16 приведен в рамках, за которыми следует соответствующий инструктивный материал. В том случае, когда инструктивный материал отсутствует, пункт имеет пометку "Зарезервировано".</p>	
<b>РАЗДЕЛ 2. ИНСТРУКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ .....</b>	<b>2-1</b>
<b>Часть I. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....</b>	<b>2-1</b>
ГЛАВА 1. Определения .....	2-1
ГЛАВА 2. Условные обозначения [Зарезервировано] .....	2-1
<b>Часть II. ВЫБРОС ТОПЛИВА [Зарезервировано] .....</b>	<b>2-2</b>
<b>Часть III. СЕРТИФИКАЦИЯ ПО ЭМИССИИ .....</b>	<b>2-2</b>
ГЛАВА 1. Административные вопросы [Зарезервировано] .....	2-2
ГЛАВА 2. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, предназначенные для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях .....	2-2
2.1 Общие положения .....	2-2
2.2 Дым .....	2-12
2.3 Эмиссия газообразных веществ .....	2-12
2.4 Требуемая информация .....	2-12
ГЛАВА 3. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, предназначенные для обеспечения полетов на сверхзвуковых скоростях .....	2-13

**ДОБАВЛЕНИЯ**

ДОБАВЛЕНИЕ 1. Измерение исходной степени повышения давления.....	2-14
1. Общие положения .....	2-14
ДОБАВЛЕНИЕ 2. Оценка эмиссии дыма .....	2-15
1. Введение и определения [Зарезервировано].....	2-15
2. Измерение эмиссии дыма .....	2-15
3. Расчет числа дымности на основе данных измерения .....	2-21
4. Сообщение данных полномочному сертифицирующему органу [Зарезервировано] .....	2-21
ДОБАВЛЕНИЕ 3. Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ.....	2-21
1. Введение .....	2-21
2. Определения [Зарезервировано].....	2-21
3. Требуемые данные .....	2-21
4. Общая компоновка системы.....	2-22
5. Описание составных частей .....	2-23
6. Общая методика испытаний.....	2-27
7. Расчеты.....	2-27
Дополнение А к добавлению 3. Технические требования к анализатору HC .....	2-31
Дополнение В к добавлению 3. Технические требования к анализаторам CO и CO <sub>2</sub> .....	2-37
Дополнение С к добавлению 3. Технические требования к анализатору NO <sub>x</sub> .....	2-45
Дополнение Д к добавлению 3. Тарировочные и испытательные газы.....	2-48
Дополнение Е к добавлению 3. Расчет параметров эмиссии: основные положения, внесение поправок в результаты измерения и альтернативный числовой метод .....	2-50
Дополнение F к добавлению 3. Требования в отношении дополнительных данных .....	2-52
ДОБАВЛЕНИЕ 4. Технические требования к топливу, используемому при проведении испытаний авиационных газотурбинных двигателей на эмиссию .....	2-53
ДОБАВЛЕНИЕ 5. Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ при использовании газотурбинных двигателей с форсажной камерой [Зарезервировано].....	2-54
ДОБАВЛЕНИЕ 6. Порядок демонстрации соответствия по эмиссии газообразных веществ и дыму.....	2-54
1. Общие положения .....	2-54



# ТЕРМИНЫ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

## Определения и условные обозначения

Определения и условные обозначения, используемые в данном руководстве, соответствуют определениям и условным обозначениям, содержащимся в томе II *"Эмиссия авиационных двигателей"* Приложения 16 *"Охрана окружающей среды"* (третье издание, июль 2008 г.).

---



## Раздел 1

### ВВЕДЕНИЕ

#### 1.1 ЦЕЛЬ РУКОВОДСТВА

1.1.1 Цель настоящего руководства заключается в обеспечении единообразия выполнения положений тома II "Эмиссия авиационных двигателей" Приложения 16 "Охрана окружающей среды" ИКАО путем предоставления сертифицирующим полномочным органам и заявителю инструктивного материала, касающегося надлежащего понимания содержащихся в томе II Приложения 16 Стандартов эмиссии и конкретных методик, которые считаются приемлемыми для демонстрации соответствия этим Стандартам.

1.1.2 Методики тома II Приложения 16 являются обязательными для использования за исключением тех случаев, когда сертифицирующий полномочный орган утверждает эквивалентную методику. Настоящее руководство предоставляет инструктивный материал по более широкому применению эквивалентных методик, принятых в качестве технических методов демонстрации соответствия требованиям к сертификации по эмиссии, содержащимся в томе II Приложения 16. Эти эквивалентные методики упоминаются в соответствующих главах тома II Приложения 16, однако не освещаются так подробно, как методики, приведенные в добавлениях к Приложению, где описаны методы оценки соответствия эмиссии требованиям соответствующих глав.

1.1.3 Приведенные в настоящем руководстве методики не следует считать исчерпывающими, поскольку данное Руководство будет расширяться по мере разработки новых методик. Кроме того, опубликование методик не означает только такое их применение или обязательное их последующее использование сертифицирующими полномочными органами.

#### 1.2 СТРУКТУРА РУКОВОДСТВА

1.2.1 Раздел 1 настоящего руководства содержит общую информацию, а в разделе 2 приведен инструктивный материал, касающийся применения Стандартов тома II Приложения 16, регламентирующих эмиссию. Структура раздела 2 повторяет структуру тома II Приложения 16. Для удобства пользования, требования тома II Приложения 16 приведены в рамках, за которыми следует соответствующий инструктивный материал. В том случае, когда инструктивный материал отсутствует, соответствующий пункт Приложения 16 "зарезервирован" для будущего использования. Цель такого представления заключается в сведении к минимуму повторений текста Приложения 16, с тем чтобы упростить содержание руководства, снизить затраты на его обновление и уменьшить опасность появления несоответствий между Приложением и руководством при последующих пересмотрах.

1.2.2 Инструктивный материал включает три вида информации (пояснительную информацию, эквивалентную методику и техническую методику), как это показано ниже.

##### *Пояснительная информация*

- а) поясняет формулировку Стандартов Приложения 16, регламентирующих эмиссию;

- b) освещает текущую политику регулирующих полномочных органов, касающуюся соблюдения Стандартов Приложения 16, регламентирующих эмиссию;
- c) предоставляет сведения по важнейшим аспектам утверждения предложений заявителей в отношении методологии обеспечения соответствия.

#### *Эквивалентная методика*

- a) Эквивалентная методика представляет собой методику испытаний или анализа, которая, хотя и отличается от установленной в томе II Приложения 16, по техническому заключению сертифицирующего полномочного органа дает фактически такие же уровни эмиссии, как и установленная методика.
- b) Применение эквивалентных методик может потребоваться заявителю по многим причинам, в том числе, чтобы:
  - 1) использовать ранее полученные данные сертификационных испытаний для соответствующего типа двигателя и
  - 2) сократить затраты на демонстрацию соответствия требованиям тома II Приложения 16 за счет сведения к минимуму сроков испытаний двигателя, времени использования испытательного комплекса и расходов на оборудование и персонал.

#### *Техническая методика*

Техническая методика представляет собой методику испытаний или анализа, которая подробно не определена в регламентирующих эмиссию Стандартах Приложения 16, но которая утверждена сертифицирующими полномочными органами в качестве приемлемой для демонстрации соответствия общим положениям Стандартов эмиссии.

### **1.3 ПЛАН ДЕМОНСТРАЦИИ СООТВЕТСТВИЯ ПО ЭМИССИИ**

1.3.1 До проведения каких-либо демонстраций при сертификации по эмиссии заявитель обычно должен представить сертифицирующему полномочному органу план демонстрации соответствия по эмиссии, содержащий метод, с помощью которого заявитель предполагает показать соблюдение требований к эмиссии. Полномочный сертифицирующий орган утверждает план демонстрации соответствия и предлагаемое использование любой эквивалентной методики. Установление эквивалентности любой методики или группы методик должно основываться на учете всех соответствующих аспектов применения методики.

1.3.2 Планы демонстрации соответствия по эмиссии должны включать следующие виды информации:

- a) *Введение*: описание нормативного базиса сертификации двигателя по эмиссии, т. е. применяемая поправка и глава тома II Приложения 16.
- b) *Описание двигателя*: тип, номер модели и конкретные сведения о базовой конфигурации, подлежащей сертификации.
- c) *Методология сертификации двигателя по эмиссии*: концепции испытаний, эквивалентные методики и технические методики.

- d) *Описание испытаний:* методы испытаний по оценке соблюдения Стандартов эмиссии.
- e) *Система измерения:* описание компонентов системы и методик измерения и отбора проб, включая методики калибровки, которые планируется использовать для демонстрации соблюдения Стандартов эмиссии.
- f) *Методики оценки данных:* методики оценки и корректировки эмиссии (включая эквивалентные и технические методики, аналогичные приведенным в настоящем руководстве), подлежащие использованию в соответствии с положениями тома II Приложения 16 применительно к сертифицируемому типу двигателя.

#### 1.4 ОТЧЕТ О СЕРТИФИКАЦИИ ПО ЭМИССИИ

1.4.1 После завершения демонстрационных испытаний при сертификации по эмиссии заявитель обычно должен представить отчет о сертификации по эмиссии, содержащий полное описание процесса и результатов испытаний, касающихся выполнения положений тома II Приложения 16.

1.4.2 Отчеты о сертификации по эмиссии должны включать следующие виды информации:

- a) *Основа утверждения испытаний:* утвержденный план демонстрации соответствия по эмиссии сертифицируемого типа и модели двигателя.
  - b) *Описание испытаний:* фактические испытанные конфигурации и отдельные несоответствия требованиям (с обоснованием того, что они не являются существенными для эмиссии или, если являются таковыми, могут быть сняты с помощью утвержденного метода), методология испытаний (включая эквивалентные методики и технические методики), проведенные испытания, использовавшиеся методы подтверждения, анализа и корректировки данных испытаний.
  - c) *Результаты испытаний:* данные о максимальных уровнях эмиссии сертифицируемого типа двигателя, свидетельствующие о соблюдении положений тома II Приложения 16.
  - d) *Справочный материал.*
-



## Раздел 2

### ИНСТРУКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ

#### ЧАСТЬ I. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

##### ГЛАВА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Выхлопное сопло.** При отборе проб эмиссии выхлопных газов газотурбинных двигателей, когда реактивные струи не смешиваются (как это происходит, например, в некоторых турбовентиляторных двигателях), за сопло принимается сопло, через которое проходит поток газа только от газогенератора (основной контур). Однако в тех случаях, когда происходит смешение реактивной струи, за сопло принимается общее выхлопное сопло.

#### ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Такое определение выхлопного сопла, когда сопло вентилятора и сопло основного контура не лежат в одной плоскости, представляется проблематичным. При недостаточном знании характеристик потока из вентилятора, который выводится выше по потоку относительно выхлопного сопла основного контура, эффективный размер сопла может оказаться неопределенным. Это влияет на самое удаленное вниз по потоку расположение пробоотборника или гребенки и вызывает проблемы с получением подробной эпюры замеров в сечении общего выхлопного сопла. Для получения эквивалентных, но более точных, замеров и репрезентативных проб эмиссии газообразных веществ, считается целесообразным сформировать конфигурацию двигателя таким образом, чтобы разделить потоки из вентилятора и основного контура, исключив негативное влияние этого на характеристики двигателя, и отбирать пробы только потока газов из основного контура. Сказанное выше в равной степени относится к замерам эмиссии как газообразных веществ, так и дыма; однако при замерах дыма необходимо также учитывать разбавление и смешивание с воздухом из второго контура, и данный вопрос рассматривается в п. 2.1 добавления 2.

##### ГЛАВА 2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

[Зарезервировано]

## **ЧАСТЬ II. ВЫБРОС ТОПЛИВА**

[Зарезервировано]

## **ЧАСТЬ III. СЕРТИФИКАЦИЯ ПО ЭМИССИИ**

### **ГЛАВА 1. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ВОПРОСЫ**

[Зарезервировано]

### **ГЛАВА 2. ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ И ТУРБОВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ТОЛЬКО НА ДОЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ**

#### **2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

##### **2.1.1 Применимость**

#### **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Применительно к сертификации по эмиссии, в части I тома II Приложения 16 содержится определение термина "производный вариант"<sup>1</sup>, однако это определение упоминается в Приложении только в контексте предоставления освобождений и не оговаривает порядок применения данной практики к модификациям уже сертифицированных типов двигателей. Ряд изменений сертифицируемого двигателя, которые считаются главными с точки зрения летной годности, требует выпуска изменения или дополнения к сертификату типа (ТС). Однако такие изменения могут не оказывать никакого влияния или почти не влиять на характеристики эмиссии этого двигателя. Если Приложение 16 интерпретировать буквально, то такое незначительное влияние потребует проведения полномасштабного анализа соответствия двигателя сертификационным требованиям к эмиссии. Во многих случаях это может не требоваться. Приведенный ниже материал разработан с целью оказания помощи в определении того, может ли модификация классифицироваться как "изменение, не влияющее на эмиссию", или что она будет влиять на уровни эмиссии в такой степени, что двигатель данного типа потребует повторно сертифицировать в соответствии с требованиями тома II Приложения 16. Естественно, изготовители могут в любое время сами решить провести повторную сертификацию в соответствии с последними требованиями Приложения 16.

1. *Производный вариант.* Авиационный газотурбинный двигатель того же типа, что и первоначальный сертифицированный двигатель, в котором сохранены основные конструктивные особенности внутреннего контура и камеры сгорания первоначальной модели и у которого, по мнению сертифицирующего органа, не изменены и другие параметры.



## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

### 1. Изменение, не влияющее на эмиссию

Принцип "изменения, не влияющего на эмиссию" заключается в том, что двигатель не потребует повторно сертифицировать в соответствии с требованиями к эмиссии, если изготовитель сможет показать, что модификация (модификации) повлечет незначительное совокупное изменение существующих уровней эмиссии сертифицированного двигателя. Совокупное изменение может являться результатом более, чем одного изменения в определенный период времени, или ряда изменений более, чем одного производного варианта того же двигателя. К определению "изменения, не влияющего на эмиссию" относятся следующие условия:

- a) Если все уровни эмиссии до любой модификации превышают или равняются 95 % существующего Стандарта ИКАО, изготовитель должен представить новые данные испытаний эмиссии двигателя для демонстрации того, что результирующие уровни эмиссии вследствие совокупных изменений, внесенных после первоначальных испытаний, не будут превышать существующий Стандарт ИКАО, регламентирующий эмиссию.
- b) Если все уровни эмиссии являются менее 95 % существующего Стандарта ИКАО, новые и относящиеся к рассматриваемому случаю данные испытаний эмиссии, а также надлежащая инженерная оценка, основанная на предметном анализе, могут оказаться приемлемым способом демонстрации того, что результирующие уровни эмиссии вследствие совокупных изменений, внесенных после первоначальных испытаний, не будут превышать существующий Стандарт ИКАО, регламентирующий эмиссию.<sup>2</sup> Анализ должен включать рассмотрение вопросов, касающихся изменений цикла, конструкции камеры сгорания и топливных форсунок, а также значительных изменений профиля скоростей на входе камеры сгорания или потоков охлаждения турбины, как это рассматривается в п. 5 ниже.
- c) Любые новые данные испытаний эмиссии и/или инженерного/технического анализа, о которых идет речь в п. 1 a) и b), должны показывать, что совокупные изменения абсолютных уровней эмиссии относительно уровней, полученных при первоначальной сертификации, находятся в пределах:<sup>3</sup>

$\text{NO}_x \pm 3 \text{ г/кН};$   
 $\text{HC} \pm 1 \text{ г/кН};$   
 $\text{CO} \pm 5 \text{ г/кН};$   
дым  $\pm 2 \text{ SN}.$

Для отслеживания совокупных изменений заявитель должен официально документировать техническую основу всех утвержденных "изменений, не влияющих на эмиссию" данной модели двигателя. Эта сопроводительная документация будет включаться в каждый комплект данных сертификации по эмиссии.

Если модификация классифицируется как "изменение, не влияющее на эмиссию", уровни характеристик эмиссии производного варианта двигателя будут считаться аналогичными уровням характеристик исходного двигателя.

2. Надлежащая инженерная оценка означает оценку, которая соответствует общепринятым научным и инженерным принципам и учитывает всю имеющуюся соответствующую информацию.

3. Абсолютный уровень эмиссии означает среднее значение замеренных уровней эмиссии, приведенных к стандартным условиям. Его получение не включает применение статистических коэффициентов добавления б, используемых для определения уровней характеристик.

## 2. Изменения, требующие определения новых уровней эмиссии

Изменение (или совокупность изменений) типовой конструкции, которое не считается "изменением, не влияющим на эмиссию" и которое, следовательно, влияет на эмиссию, будет требовать определения новых уровней характеристик эмиссии. Это будет, как правило, осуществляться путем проведения новых сертификационных испытаний эмиссии.

## 3. Существующий нормативный базис сертификации по эмиссии сохраняется

Если на модифицированный двигатель по-прежнему распространяется существующий сертификат типа, применительно к нему может быть сохранен существующий нормативный базис сертификации исходного двигателя<sup>4</sup>, если модификация(и):

- a) отвечает(ют) критериям, указанным в п. 1 a) или b);
- b) приводит(ят) к уменьшению абсолютных уровней эмиссии;
- c) приводит(ят) к увеличению абсолютных уровней эмиссии менее предусмотренного в п. 1 c);
- d) является(ются) необходимой для повышения безопасности полетов и поддержания летной годности (например, предусмотрена директивами по летной годности).

## 4. Применение последних Стандартов эмиссии

Соответствие типа двигателя последним Стандартам эмиссии необходимо показать, когда:

- a) двигатель требует выдачи нового ТС;
- b) модификация(и) двигателя предусматривает(ют) значительные технические изменения и когда, по мнению сертифицирующего полномочного органа, двигатель не будет отвечать определению производного варианта, приведенному в томе II Приложения 16;
- c) модификация(и) двигателя не отвечает(ют) критериям, указанным в п. 1 a) или b);
- d) модификация(и) двигателя приводит(ят) к увеличению какого-либо абсолютного уровня эмиссии менее предусмотренного в п. 1 c), однако вызывает превышение существующего Стандарта ИКАО;
- e) модификация(и) двигателя приводит(ят) к увеличению какого-либо абсолютного уровня эмиссии более предусмотренного в п. 1 c); или
- f) существуют значительные последствия в будущем для окружающей среды.<sup>5</sup>

---

4. Применительно к сертификации по эмиссии должно быть продемонстрировано соответствие исходного двигателя требованиям к эмиссии, и сам он не считается производным вариантом с точки зрения даже более раннего Стандарта.

5. Использование двигателя старого типа на воздушном судне новой конструкции может означать срок службы типа двигателя 30 лет или более и поэтому иметь более серьезные последствия для окружающей среды в сравнении с тем случаем, когда такой двигатель произведен только в качестве запасного.

## 5. Примеры инженерного анализа

С точки зрения инженерного анализа основное допущение при оценке влияния конструктивных изменений на эмиссию заключается в том, что на эмиссию главным образом влияют изменения цикла, конструкции камеры сгорания и топливных форсунок, а также значительные изменения профиля скоростей на входе камеры сгорания или потоков охлаждения турбины. В целях иллюстрации ниже приведен ряд примеров.

### *Изменение цикла*

Том II Приложения 16 предусматривает измерение массового расхода топлива путем только прямых замеров с точностью  $\pm 2\%$  (п. d) дополнения F к добавлению 3) и определение тяги с точностью  $\pm 1\%$  при взлетной мощности и  $\pm 5\%$  при минимальной тяге. Может оказаться, что влияние на эмиссию сверх предусмотренного в п. 1 с) будет отсутствовать, если изменения отношения воздуха к топливу не приводят к изменению удельного расхода топлива более чем на  $1\%$ .

В отношении температуры на входе камеры сгорания (ТЗ), в Приложении также указывается, что желательно измерять параметры на входе камеры сгорания, однако они могут и рассчитываться с учетом внешних условий по соответствующим формулам. После сравнения подробных эпюр ТЗ с типичными изменениями при сертификационных испытаниях было установлено, что измерения укладываются в допуск  $\pm 6^\circ\text{F}$  (примерно  $3,5^\circ\text{C}$ ) относительно теоретических расчетов. Можно полагать, что влияние на эмиссию сверх предусмотренного в п. 1 с) будет отсутствовать, если изменение цикла ТЗ будет находиться в пределах  $\pm 6^\circ\text{F}$ .

### *Камера сгорания и топливная форсунка*

Изменения элементов камеры сгорания и топливных форсунок затрагивают важнейшие характеристики двигателя, которые могут значительно влиять на эмиссию (например, пропускная способность вихревых форсунок, пропускная способность первичного отверстия, поток охлаждения входного каскада, инжекторное распыление). Изменения в рамках производственных допусков или с выходом за такие рамки, разброс параметров по деталям могут дать представление о том, когда изменение будет важным для эмиссии и когда оно может считаться незначительным. Никакого влияния на эмиссию сверх предусмотренного в п. 1 с) не будет предполагаться, если изменения будут находиться в пределах обычного разброса параметров по деталям или установленных производственных допусков.

### *Граничные условия*

Ограничения, аналогичные касающимся важнейших характеристик конструкции, могут применяться в отношении изменений граничных условий. Например, если охлаждение турбины меняется на  $2\%$ , можно рассчитывать на результирующее изменение распределения потока в камере сгорания, при этом, если изменение потока будет того же порядка, что и обусловленное типичным разбросом параметров деталей, может оказаться приемлемым считать, что будет отсутствовать какое-либо влияние на эмиссию свыше предусмотренного в п. 1 с).

2.1.1.1 Содержащиеся в настоящей главе положения применяются в отношении всех турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях, как это указано в разделах 2.2 и 2.3, за исключением тех случаев, когда полномочные сертифицирующие органы делают исключение в отношении:

- a) конкретных типов двигателей или производных вариантов таких двигателей, для которых был выдан сертификат типа для первого основного образца или была выполнена другая аналогичная установленная процедура до 1 января 1965 года, и
- b) ограниченного количества двигателей, изготовленных после дат, оговоренных в разделах 2.2 и 2.3, в отношении изготовления первого серийного образца двигателя.

2.1.1.2 В таких случаях сертифицирующим органом выдается документ, подтверждающий исключение, а на табличку с обозначением двигателя наносится надпись "ОСВОБОЖДЕН", причем предоставление такого исключения фиксируется в постоянном формуляре двигателя...

## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

### 1. Введение

1.1 В существующем издании тома II Приложения 16 упоминаются две различные даты применимости:

- a) "дата изготовления первого серийного образца", которая относится к сертификации типа двигателя, и
- b) "дата изготовления конкретного двигателя", которая относится к дате изготовления двигателя с конкретным серийным номером.

1.2 Вторая дата используется применительно к прекращению производства двигателей по Стандартам  $NO_x$ , устанавливающим дату, после которой все серийные модели двигателей должны отвечать определенному Стандарту эмиссии  $NO_x$ . Например, все двигатели, изготовленные после 31 декабря 1999 года, должны соответствовать Стандарту  $NO_x$  CAEP/2. Следует отметить, что эти требования применимы к укомплектованным "двигательным установкам", выпускаемым в эксплуатацию в качестве запасных или для установки на новых воздушных судах, как это рассматривается ниже, а не к компонентам двигателей, необходимым для технического обслуживания, ремонта, замены частей и т. д.

1.3 Признается возможность таких ситуаций, когда целесообразно разрешить изготовителям продолжать производство новых, не отвечающих требованиям, двигательных установок после даты прекращения производства. Такие разрешения называются освобождениями из-под действия соответствующих положений тома II Приложения 16.

1.4 Для обеспечения согласованного глобального подхода к предоставлению, применению и контролю таких освобождений, в настоящей главе приведен инструктивный материал, касающийся порядка и критериев выдачи освобождений из-под действия Стандарта  $NO_x$ , определяющего прекращение производства.

### 2. Порядок освобождения

#### 2.1 Заявка

Заявитель должен представить компетентному полномочному органу<sup>6</sup> официальное письмо-заявку в отношении дальнейшего производства освобождаемых двигателей, которое подписано соответствующим

6. В большинстве случаев таким органом будет являться сертифицирующий полномочный орган, хотя это может меняться в зависимости от практики, принятой отдельными государствами-членами.

руководителем и копии которого разосланы всем другим соответствующим организациям и причастным компетентным полномочным органам. Это письмо должно включать следующую информацию, позволяющую компетентному полномочному органу рассмотреть заявку:

а) Административные сведения:

название, адрес и контактные данные заявителя.

б) Сфера применения освобождений:

- 1) тип двигателя (обозначение модели, номер сертификата типа (ТС), дата выдачи ТС, нормативный базис ТС в отношении эмиссии, индивидуальный идентификационный (UID) номер согласно банку данных ИКАО об эмиссии двигателей);
- 2) количество запрашиваемых освобождений двигателей;
- 3) продолжительность (конечная дата) дальнейшего производства освобождаемых двигателей;
- 4) указание о том, являются ли предлагаемые освобождаемые двигатели "запасными" или "новыми"<sup>7</sup> и кому эти двигатели будут первоначально поставлены.

с) Обоснование освобождений. Обращаясь за соответствующим освобождением, заявитель должен, насколько это возможно, осветить с использованием количественных показателей следующие аспекты, с тем чтобы обосновать целесообразность запрашиваемого освобождения:

- 1) технические вопросы с точки зрения окружающей среды и летной годности, которые задерживают выполнение требований к прекращению производства;
- 2) экономические последствия для изготовителя, эксплуатанта(ов) и авиационной отрасли в целом;
- 3) воздействие на окружающую среду. Следует дать количественную оценку дополнительных  $\text{NO}_x$ , которые будут выбрасываться в результате освобождения, включая такие аспекты, как:
  - количество, на которое двигатель данной модели превышает Стандарт, принимая во внимание любые другие модели в данном семействе двигателей, на которые распространяется один сертификат типа, и их связь со Стандартом;
  - количество  $\text{NO}_x$ , которое будет выбрасываться альтернативным двигателем для аналогичного применения;
  - влияние изменений на снижение  $\text{NO}_x$  и на другие экологические факторы, включая воздействие шума и эмиссию  $\text{CO}_2$ ;
- 4) влияние непредвиденных обстоятельств и трудностей, связанных с ведением бизнеса и независящих от изготовителя (например, забастовки сотрудников, нарушение поставок или чрезвычайные ситуации);

---

7. В том, случае, когда двигатели являются "новыми" (устанавливаются на новые воздушные суда) и будут, следовательно, оказывать большее негативное воздействие на окружающую среду в сравнении с "запасными" двигателями, может потребоваться дополнительное обоснование.

- 5) прогнозируемые будущие объемы производства и планы по выпуску отвечающего требованиям варианта модели двигателя, для которого запрашиваются освобождения;
- 6) обеспечение справедливости при регулировании прекращения производства конкурирующими в экономической сфере сторонами (например, подготовка обоснования освобождений в том случае, когда другой изготовитель выпускает отвечающий требованиям двигатель и не нуждается в освобождении, учитывая при этом соответствующие последствия для парка воздушных судов эксплуатантов, обеспечение унификации и другие вопросы, возникающие при отсутствии двигателя, для которого запрашивается освобождение);
- 7) любые другие соответствующие факторы.

## 2.2 Оценка

Оценка заявки на освобождение должна основываться на представленном обосновании и следующих определениях и критериях:

### а) Использование двигателей

"Запасные двигатели" определяются как укомплектованные новые двигательные установки, предназначенные для установки на эксплуатируемых воздушных судах при техническом обслуживании и замене двигателей. Можно полагать, что заявки, связанные с предназначенными для такой цели двигателями, будут удовлетворяться до тех пор, пока характеристики эмиссии этих двигателей будут аналогичны или превосходить характеристики эмиссии двигателей, которые они заменяют. Заявка должна также освещать другие вопросы, упомянутые в п. 2.1 а) и б), однако в ней не требуется отражать аспекты, оговоренные в п. 2.1 с). В случае запасных двигателей, оценка заявки на освобождение будет осуществляться в целях регистрации освобождения и обеспечения отчетности, а не для утверждения освобождения.

"Новые двигатели" определяются как укомплектованные новые двигательные установки, которые предназначены для установки на новые воздушные суда. Они могут освобождаться из-под действия требования к прекращению производства по эмиссии NO<sub>x</sub> только в том случае, если они уже отвечают предыдущему Стандарту (например, освобождение из-под действия требования CAEP/6 к прекращению производства по эмиссии NO<sub>x</sub> возможно только в том случае, если двигатель данного типа уже отвечает Стандарту NO<sub>x</sub> CAEP/4). Кроме того, для получения утверждения освобождения заявители должны продемонстрировать выполнение ими критериев освобождения, осветив аспекты, оговоренные в п. 2.1 а), б) и с). Компетентный полномочный орган может запросить дополнительную информацию, касающуюся целесообразности возможного освобождения.

### б) Количество освобождений новых двигателей

Освобождения должны основываться на общем количестве двигателей и сроках поставки этих двигателей; эти вопросы согласовываются при утверждении заявки, при этом учитываются факторы, упомянутые в п. 2.1 с). Количество освобождаемых двигателей будет, как правило, не превышать 75 на сертификат типа двигателя, а продолжительность не будет превышать 4 лет с даты вступления в силу прекращения производства. Освобождения будут распространяться только на несоответствующие требованиям модели двигателя, указанные в сертификате типа двигателя.

Освобождения новых двигателей должны рассматриваться и утверждаться компетентными полномочными органами для представления их изготовителю освобождаемых двигателей, а также первоначальному эксплуатанту воздушного судна, на которое они должны устанавливаться. Учитывая международный характер авиации, администрации гражданской авиации государств-членов должны сотрудничать и консультироваться по вопросам предоставления освобождений. В том случае, когда сертификация типа двигателя осуществляется на основе соглашения между государствами-членами, такие государства должны координировать рассмотрение освобождений и приходить к единому мнению до их утверждения.

В рамках процесса утверждения освобождений из-под действия требования к прекращению производства, связанного со Стандартом NO<sub>x</sub> CAEP/6, компетентные полномочные органы могут в некоторых случаях потребовать предусмотреть механизм компенсации дополнительной эмиссии NO<sub>x</sub>, который представляется целесообразным в контексте деятельности авиации, учитывая при этом способность заявителя использовать такой механизм. Однако компенсационные меры должны применяться только в том случае, когда это необходимо, исходя из количества двигателей, для которых запрашиваются освобождения (например, более 30), продолжительности освобождения и/или превышения установленных уровней согласно заявке.

с) Исключения

В отношении запасных двигателей с характеристиками эмиссии, эквивалентными или лучшими, чем характеристики двигателей, которые они заменяют, должно предоставляться неограниченное количество освобождений. Двигатели, используемые на государственных воздушных судах (например, военных, таможенных или полицейских), не подпадают под действие Чикагской конвенции, и в этой связи на них не распространяются требования гражданской авиации к прекращению производства по эмиссии NO<sub>x</sub>.

### 2.3 Рассмотрение

Компетентный полномочный орган должен своевременно рассмотреть заявку, принимая во внимание информацию, упомянутую в п. 2.1, и определения/критерии, указанные в п. 2.2. Результаты анализа и заключение по итогам рассмотрения должны быть сообщены заявителю в официальном ответе. Если заявка утверждена, в ответе следует четко оговорить сферу применения предоставленных освобождений. Если заявка отвергается, то в ответе следует привести подробное обоснование.

## 3. Регистрация и уведомление

3.1 Контроль предоставленных освобождений должен включать следующие элементы:

- a) Компетентный полномочный орган должен опубликовать в официальном общедоступном реестре данные об освобожденных двигателях, указав модель двигателя, максимальное количество разрешенных освобождений и сведения об использовании двигателя.
- b) Заявитель должен располагать механизмом управления качеством, обеспечивающим контроль и регулирование производства двигателей, которым предоставлены освобождения из-под действия Стандарта прекращения производства по эмиссии NO<sub>x</sub>.
- c) На табличках с обозначением освобожденных двигателей следует указать: "ОСВОБОЖДЕН [ЗАПАСНОЙ] или [НОВЫЙ]".

- d) Освобождение следует отразить в свидетельстве о годности к эксплуатации двигателя, которое подтверждает его соответствие сертификату типа (например, форма 1 Европейского агентства по безопасности полетов (ЕАБП), форма 8130-3 Федерального авиационного управления (ФАУ) Соединенных Штатов Америки). Предлагаемый стандартный текст выглядит следующим образом: "[Новый] или [Запасной] двигатель освобожден из-под действия требования к прекращению производства по эмиссии  $\text{NO}_x$ ".
- e) Заявитель должен регулярно или в соответствии с установленным в утверждении ограничением предоставлять компетентному полномочному органу данные о фактически выпущенных освобожденных двигателях (например, модель, серийный номер, сведения об использовании двигателя, тип и серийный номер воздушного судна, на котором установлены новые двигатели).

2.1.1.3 Положения настоящей главы применяются также в отношении двигателей, предназначенных для практических целей, которые в иных случаях обеспечиваются турбореактивными и турбовентилляторными двигателями.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В п. 2.1.1.3 предполагается внедрение будущих технологий изготовления двигателей. Определяющие эмиссию Стандарты главы 2 будут также применяться к будущим типам двигателей, не относящихся к категории турбореактивных или турбовентилляторных двигателей, но предназначенных для использования в международных авиатранспортных перевозках. Например, приведенные выше положения не относятся непосредственно к турбовинтовым двигателям.

2.1.2 Рассматриваемая эмиссия  
[Зарезервировано]

2.1.3 Единицы измерения

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Уровень дыма определяется косвенно путем оценки снижения отражательной способности фильтра, используемого для улавливания частиц дыма из установленной массы выхлопных газов, на единицу поверхности фильтра. В результате получается безразмерное число дымности "SN", которое выступает в качестве идентификатора или указателя непрозрачности выхлопной струи. Процедуры отбора проб и замера дыма, указанные в добавлении 2 Приложения 16, вытекают из авиационной рекомендуемой практики (ARP) 1179 "Измерение дыма в выхлопной струе газотурбинных авиационных двигателей" SAE.

Данный стандарт измерения дыма был разработан для двигателей, которые дымят значительно сильнее современных двигателей. Это влияет на относительную точность данного метода. По имеющимся оценкам (Комитета E-31 SAE International, который разработал данный метод), точность измерений не будет превышать  $\pm 3$  SN. При уровнях дыма 50–60 SN это соответствует точности результатов 5–6 %. В случае предусмотренных стандартами уровней 30 и менее, относительная точность становится равной 10–20 % или более.



## 2.1.4 Стандартные условия

### 2.1.4.1 Атмосферные условия

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

За стандартные атмосферные условия, к которым должны приводиться выбросы газообразных веществ (НС, СО и NO<sub>x</sub>), принимаются следующие стандартные дневные условия: температура = 15 °С, влажность = 0,00634 кг Н<sub>2</sub>О/кг сухого воздуха, давление = 101,325 кПа.

### 2.1.4.2 Установка режимов тяги [Зарезервировано]

### 2.1.4.3 Стандартный цикл эмиссии при посадке и взлете (LTO)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Цель испытаний уровней эмиссии заключается в измерении концентраций углеводородов, окиси углерода, двуокиси углерода и окислов азота, а также определении путем расчета массы выбросов в течение имитируемого цикла посадки и взлета воздушного судна (LTO). Цикл LTO основан на типичных для периодов высокой активности крупных аэропортов данных о продолжительности работы двигателя на четырех режимах: руление/малый газ, взлет, набор высоты и заход на посадку. Значения массы выбросов на этих режимах складываются для получения заявляемых сертификационных уровней эмиссии.

### 2.1.4.4 Характеристики топлива

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Авиационные газотурбинные двигатели используют различные типы топлива. Конкретный тип и состав топлива могут оказывать и зачастую оказывают большое влияние на эмиссию двигателей. В этой связи данные аспекты играют важную роль при сравнении уровней эмиссии разных двигателей. Это особенно важно при оценке уровней эмиссии двигателя относительно норматива, который основан, отчасти, на предполагаемых характеристиках топлива. Характеристики топлива, определяемые ИКАО в добавлении 4, являются типичными, но более строгими в сравнении с обычными характеристиками авиационного топлива Jet A. Требование к проведению сертификационных испытаний эмиссии с использованием топлива, характеристики которого соответствуют определенной спецификации, обеспечивает четкую точку отсчета для двигателя. Оно позволяет контролировать в определенной мере влияние состава топлива на образование дыма и эмиссии. Это также помогает проводить оценку влияния технологических изменений.

2.1.5 Условия испытаний  
[Зарезервировано]

## 2.2 Дым

2.2.1 Применимость  
[Зарезервировано]

2.2.2 Нормативное число дымности  
[Зарезервировано]

## 2.3 Эмиссия газообразных веществ

2.3.1 Применимость  
[Зарезервировано]

2.3.2 Нормативные уровни

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Дата применения приведенных в п. 2.2 и 2.3 Стандартов при проведении сертификации увязана с "датой изготовления первого серийного образца". Поскольку эта дата не всегда точно известна, сертифицирующие полномочные органы используют вместо нее дату выдачи ТС двигателя. Эта дата является точной, так как она указана в ТС, и данная практика подтвердила свою полезность при определении сертификационного базиса типа или модели двигателя.

Приведенное в главе 1 части 1 определение "дата изготовления" относится к дате выдаче документа на конкретный серийный двигатель, подтверждающего соответствие двигателя сертификату типа.

## 2.4 Требуемая информация

2.4.1 Общая информация  
[Зарезервировано]

2.4.2 Информация об испытании  
[Зарезервировано]

2.4.3 Производная информация

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

"Максимальное число дымности" формально определяется как наибольшее значение SN, замеренное при любом из четырех уровней тяги, указанных в п. 2.1.4.2. Однако если в процессе сертификационных испытаний эмиссии замеряется в каких-либо условиях более высокое число дымности при уровнях тяги от 7 до 100 % номинальной, рекомендуется указывать это более высокое значение в качестве "максимального числа дымности".

## ГЛАВА 3. ТУРБОРЕАКТИВНЫЕ И ТУРБОВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ НА СВЕРХЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В рамках программы работы совещания CAEP/7 Рабочая группа 3 (РГ3) CAEP изучила исходную информацию, касающуюся разработки стандартов эмиссии для турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов на сверхзвуковых скоростях, и рассмотрела общие аспекты технологии двигателей для сверхзвуковых скоростей в сравнении их с технологией двигателей для дозвуковых скоростей. Результаты этой работы изложены в *Докладе седьмого совещания Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации* (Дос 9886), февраль 2007 года.

Хотя было сочтено необходимым провести дополнительную работу по оценке совершенствования технологии воздушных судов и двигателей, с тем чтобы получить более четкие рекомендации в отношении будущих изменений главы 3, были одобрены следующие предварительные замечания и выводы:

- a) Существующий Стандарт для сверхзвуковых скоростей представляется устаревшим.
- b) Этот Стандарт не должен применяться к проектам новых двигателей.
- c) Главу 3 части III тома II Приложения 16 необходимо пересмотреть.
- d) Сроки обновления должны учитывать технологические разработки, касающиеся любого нового проекта двигателя для сверхзвуковых скоростей, и быть согласованы с проведением работ по совершенствованию Стандартов шума.
- e) Любое снижение требований в сравнении с существующим Стандартом для дозвуковых скоростей потребует детального технического анализа.
- f) Для доведения этих выводов до уровня рекомендаций необходимо провести работу по определению возможности применения для сверхзвуковых скоростей существующего цикла LTO, применяемого для дозвуковых скоростей.
- g) Влияние эмиссии, обусловленной потенциальным парком сверхзвуковых деловых реактивных самолетов, требует дополнительных научных данных.

РГ3 продолжает следить за развитием ситуации в отрасли и научном сообществе, касающейся данного вопроса. РГ3 также согласилась не обновлять главу 3 до тех пор, пока какой-либо новый проект двигателя для сверхзвуковых скоростей не достигнет достаточного уровня готовности, позволяющего получить информацию для рассмотрения возможных будущих изменений.

## ДОБАВЛЕНИЕ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ИСХОДНОЙ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- 1.1 При определении степени повышения давления используется двигатель в штатной компоновке.
- 1.2 Исходная степень повышения давления определяется посредством корреляции измеренной степени повышения давления с тягой двигателя, приведенной к внешнему давлению стандартного дня, и введения этой корреляции при номинальной взлетной тяге стандартного дня.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Степень повышения давления двигателя и поправки на стандартный день могут основываться на апробированной модели характеристик двигателя, который используется в качестве исходного двигателя.

- 2.1 Полное давление измеряется в выходной плоскости последней ступени компрессора и на входе первой ступени компрессора путем установки по крайней мере четырех датчиков с целью разделения зоны воздушного потока на четыре равных сектора и принятия затем среднего значения от четырех полученных величин.

*Примечание. Полное давление на выходе компрессора может быть получено на основе полного или статического давления, измеренного в точке, расположенной как можно ближе к выходной плоскости компрессора. Однако если двигатель сконструирован таким образом, что при проведении сертификационного испытания по эмиссии установка датчиков указанным выше способом практически невозможна, то полномочный сертифицирующий орган по своему усмотрению может утвердить другие методы оценки полного давления на выходе компрессора.*

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Полное давление на входе и выходе компрессора измеряется при помощи многочисленных датчиков при проведении апробации модели характеристик двигателя. Данные о технических характеристиках двигателя как часть процесса апробации наряду с подробным анализом потока между компрессором и камерой сгорания также используются для выработки методов расчета полного давления на входе и выходе компрессора на основании измерений статического давления, используемого системой управления двигателем. Устройства для отбора статического давления в целях измерения давления на выходе компрессора обычно находятся на кожухе двигателя между выходом компрессора и входом камеры сгорания. Во время проведения натурных испытаний при сертификации по эмиссии давление на выходе компрессора обычно рассчитывается на основании этих измерений статического давления системы управления.

## ДОБАВЛЕНИЕ 2. ОЦЕНКА ЭМИССИИ ДЫМА

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Методика оценки эмиссии дыма заключается в косвенном измерении видимости шлейфа дыма, которое осуществляется путем использования фильтра для улавливания частиц дыма, содержащихся в определенной массе выхлопных газов, и измерения снижения отражательной способности, т. е. степени загрязнения, этого фильтра относительно абсолютной отражательной способности фильтра, когда он является чистым или загрязнение отсутствует. Считается, что неопределенность оценки эмиссии дыма составляет  $\pm 3$  SN (числа дымности).

#### 1. ВВЕДЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

[Зарезервировано]

#### 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИССИИ ДЫМА

##### 2.1 Пробоотборник эмиссии дыма

- a) Материалом пробоотборника, в контакт с которым вступает проба эмиссии выхлопных газов, являются нержавеющая сталь или любой другой химически неактивный материал.
- b) Если используется пробоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр...

### ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Нержавеющая сталь является предпочтительным материалом пробоотборника, однако другие химически неактивные материалы могут оказаться более приемлемыми в конкретных условиях, например, при температурах выхлопных газов двигателя, превышающих предельные значения для физических характеристик нержавеющей стали. Сплавы Inconel 625 и Nimonic 75 были ранее приняты в качестве химически неактивных материалов пробоотборников, используемых для измерения регламентируемых выбросов. Могут оказаться приемлемыми другие материалы, однако они должны утверждаться сертифицирующим полномочным органом.

- b) ...Пробоотборник конструируется таким образом, чтобы по крайней мере 80 % падения давления, проходящего через него потока, приходилось на отверстия.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Размер частиц дыма составляет менее микрона, что при отборе проб эмиссии газотурбинных двигателей препятствует обеспечению изокINETического отбора проб. Тем не менее, насколько это возможно, следует обеспечить изокINETический отбор проб. Обеспечение падения давления на 80 % на отверстиях пробоотборника является обоснованным компромиссом. Дополнительная информация по конструкции пробоотборников приведена в п. 5.1.1 добавления 3.

- c) Число точек для отбора проб составляет не менее 12.  
[Зарезервировано]
- d) Плоскость отбора проб располагается настолько близко к плоскости выхлопного сопла двигателя, насколько это позволяют характеристики двигателя, однако в любом случае она находится на удалении от выходной плоскости не более чем на расстоянии, равном 0,5 диаметра сопла.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Определение выхлопного сопла двигателя приведено в главе 1 "Определения" части 1.

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

(для конфигураций двигателей, предусматривающих смешивание потоков)

Для получения точных данных измерений и репрезентативных проб газообразных выбросов считается целесообразным сформировать конфигурацию двигателя таким образом, чтобы разделить потоки из вентилятора и основного контура, исключив влияние этого на характеристики двигателя, и отбирать пробы только потока газов из основного контура. Такой подход в равной степени применим к измерению эмиссии дыма; однако для конфигураций двигателей, предусматривающих смешивание потоков, необходимо также учитывать, применительно к расположению выхлопного сопла, разбавление и смешивание выхлопных газов с воздухом из второго контура. Это означает, что замеренные значения SN потока из основного контура необходимо скорректировать аналитически для учета такого разбавления и смешивания, с тем чтобы их можно было сравнить с исходными критериями видимости дыма.

В настоящее время том II Приложения 16 не содержит какого-либо метода или процедуры такой коррекции, что приводит к непоследовательному применению требований. В тех случаях, когда конкретные данные по двигателю отсутствуют, в качестве типичного метода коррекции для учета разбавления, как это показано в приведенной ниже процедуре, используется вариант 3 аппроксимации первого порядка (FOA) данных об эмиссии конкретного вещества (PM), который определяет корреляционную связь SN и нелетучего PM. В том случае, когда можно показать, что для рассматриваемого типа двигателя существует лучший метод корреляции или более совершенный вариант FOA, то применяется более совершенная методика корреляции, утверждаемая сертифицирующим полномочным органом. На данный момент неизвестна какая-либо типовая методика коррекции для учета смешивания, и в этой связи сертифицирующие полномочные органы должны рассматривать данный вопрос применительно к каждому проекту отдельно. В идеальном случае, замеренное значение SN основного потока будет соответствовать ограничениям на SN. Когда это не обеспечивается, могут потребоваться дополнительные данные для получения технически обоснованного инженерного заключения о том, может ли шлейф выхлопных газов считаться невидимым. Это может предусматривать получение подробной эюры замеров в плоскости смешения потоков выхлопного сопла для проведения контурного анализа и определения уровня смешения.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

Приведенная ниже методика предоставляет инструкции, касающиеся коррекции чисел дымности потока из основного контура, для учета разбавления при смешивании потоков в выхлопном сопле двигателя:

*Шаг 1.* Преобразование замеренного числа дымности потока из основного контура в эквивалентную концентрацию массы углерода (см. рис. 2-1)

По результатам различных исследований получено следующее уравнение FOA корреляции углерода:

$$CI = 0,0694(SN)^{1,23357} \text{ для } SN < 30.$$

*Пример.* Для двигателя с максимальным замеренным числом дымности 20 потока выхлопных газов из основного контура расчетная кривая FOA дает эквивалентную массовую концентрацию углерода  $2,8 \text{ мг/м}^3$  в плоскости выхода основного потока.

**Шаг 2.** Приведение концентрации массы углерода к эквивалентному значению при смешении потоков

Теперь концентрацию углерода можно скорректировать с учетом объема воздуха из второго контура, используя следующую формулу:

$$\text{Масса углерода в смешанном потоке} = \frac{\text{Масса углерода в потоке основного контура}}{1 + \text{степень двухконтурности}}.$$

*Пример.* Принимая степень двухконтурности равной 5, концентрация массы углерода в смешанном потоке составляет  $2,8/(1+5) = 0,47 \text{ мг/м}^3$  в плоскости выхлопного сопла.

**Шаг 3.** Обратное преобразование массы углерода в смешанном потоке в число дымности

Используя расчетную кривую FOA, масса углерода в смешанном потоке (рассчитанная выше) преобразуется в эквивалентное число дымности.

*Пример.* Используя расчетную кривую FOA, получаем число дымности при разбавлении, обусловленном воздухом из вентилятора, в плоскости выхлопного сопла при смешении потоков, равное 4,8.

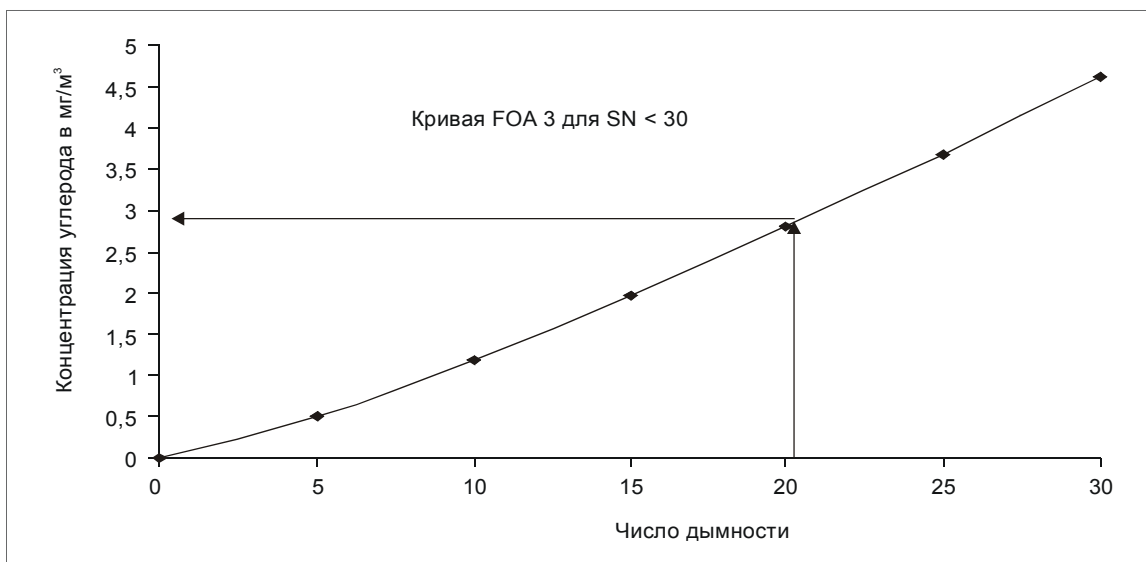


Рис. 2-1. Зависимость между SN и концентрацией углерода

- е) Подающий заявку представляет полномочному сертифицирующему органу, с помощью подробных эпюр распределения чисел дымности, доказательство того, что предлагаемая им конструкция пробоотборника и его местоположение обеспечат получение представительных проб для каждой из установленных величин тяги.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Замеры дыма могут осуществляться с помощью одноточечного пробоотборника, который для получения репрезентативной выборки проб обеспечивает достаточную плотность замеров в плоскости отбора проб. Такие замеры могут также осуществляться, используя пробоотборник с несколькими отверстиями, который продемонстрировал возможность получения репрезентативной выборки проб на основании их сравнения с данными одноточечного пробоотборника. Работа, проводимая при поддержке Комитета E-31 SAE International, показала, что наилучшее согласование подробной эпюры одноточечных замеров, используемых для определения среднего значения эмиссии дыма в плоскости отбора проб, и данных пробоотборника с несколькими отверстиями достигается в том случае, когда отверстия пробоотборника располагаются в центрах одинаковой зоны. Наиболее типичная конфигурация является крестообразной, при этом отдельные отверстия равномерно распределяются и размещаются в центрах одинаковой зоны.

### 2.2 Линия подачи проб эмиссии дыма

2.2.2 *Примечание. Нержавеющая сталь или заземленный насыщенный углеродом политетрафторэтилен (PTFE) отвечают этим требованиям.*

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В том случае, когда используется насыщенный углеродом заземленный политетрафторэтилен (PTFE), необходимо обеспечить достаточное охлаждение поступающей из пробоотборника в линию PTFE пробы выхлопного газа, с тем чтобы предотвратить повреждение линии PTFE и возможное ухудшение качества проб.

### 2.3 Система анализа дыма

- a) *Измерение объема проб*  
[Зарезервировано]
- b) *Измерение расхода газов, содержащихся в пробах*  
[Зарезервировано]
- c) *Фильтр и держатель*  
[Зарезервировано]
- d) *Клапаны*  
[Зарезервировано]



- e) *Вакуумный насос*  
[Зарезервировано]
- f) *Регулирование температуры*  
[Зарезервировано]
- g) Если через пробоотборник желательнее обеспечить более высокий расход отбираемых проб газов, чем через держатель фильтра, между пробоотборником и клапаном А (рис. А2-1) можно дополнительно разместить произвольный разделитель потока для сброса излишнего потока газов. Линия сброса располагается по возможности ближе к газоотводу пробоотборника и не влияет на способность системы отбора проб обеспечить требуемое падение давления на 80 % в пределах блока пробоотборника. Сбрасываемый поток газов может направляться в анализатор CO<sub>2</sub> или систему анализа видов эмиссии.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Падение давления на 80 % в блоке пробоотборника может привести к неприемлемо высокому расходу проб газов через держатель фильтра вследствие падения давления в фильтре. В таких случаях может потребоваться разделитель потока.

- h) Если используется разделитель потока, то проводятся испытания для демонстрации того, что этот разделитель потока не изменяет уровень дыма, поступающего в держатель фильтра. Это может обеспечиваться путем поворота выходных линий в противоположную от разделителя потока сторону и показа того, что в пределах точности метода уровень дыма не меняется.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Выделяемый газотурбинными двигателями дым, хотя и состоит из мельчайших частиц, может быть очень чувствителен к конструкции разделителя потока или другим элементам тракта отбора проб вследствие центробежного разделения при очень высоких скоростях потока газов. Данное испытание решает эти вопросы и обеспечивает исключение негативного влияния конструкции разделителя на оценку эмиссии дыма.

- i) *Утечка*  
[Зарезервировано]
- j) *Рефлектометр*

### ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Рекомендуемая практика ARP 1179 Rev. C предусматривает применение зеленого светового фильтра для компенсации влияния различных источников света, используемых разными изготовителями рефлектометров. Хотя аналогичное требование в томе II Приложения 16 отсутствует, считается целесообразным следовать такому подходу.

## 2.4 Характеристики топлива

[Зарезервировано]

## 2.5 Методы измерения характеристик дыма

### 2.5.1 Работа двигателя

[Зарезервировано]

### 2.5.2 Проверка на утечку и чистоту

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Проверки на утечку проводятся для подтверждения того, что чистый воздух не проникает в систему, разбавляя пробы газа и снижая число дымности. Проверки на чистоту показывают, что система отбора проб является приемлемо чистой и сборный фильтр не загрязнен. В том случае, когда пробоотборник невозможно изъять из тракта отбора проб при запуске двигателя, пробоотборник линии подачи проб необходимо продуть соответствующим чистым газом, например сухим азотом, для сведения к минимуму загрязнения.

### 2.5.3 Измерение характеристик дыма

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Общепринятая практика заключается в том, что при отборе проб дыма измеряются также и уровни  $\text{CO}_2$  как эксплуатационная проверка системы отбора проб. По результатам измерений  $\text{CO}_2$  рассчитывается отношение топлива к воздуху и сравнивается с таким отношением, полученным по данным о характеристиках двигателя. Эти отношения должны совпадать в пределах  $\pm 10\%$  при мощности двигателя, превышающей мощность на режиме малого газа, и в пределах  $\pm 15\%$  при мощности на режиме малого газа.

Пункты 2.5.3 а) – d) оговаривают регулировку и установку расхода отбираемых проб газов через держатель фильтра. Для воспроизведения потери давления в держателе фильтра в фактических условиях отбора проб, в держатель вставляется чистый фильтр. Этот фильтр следует удалить и выбросить перед установкой в держатель чистого фильтра, как это указывается в п. 2.5.3 d).

В пунктах 2.5.3. h) и 3 описаны два варианта определения размера пробы:

Вариант 1. Размеры пробы находятся в пределах  $12\text{--}21 \text{ кг/м}^2$ , а выбираемые значения либо больше, либо меньше  $16,2 \text{ кг/м}^2$ . В данном случае необходимо будет построить график зависимости  $\text{SN}'$  от  $\log W/A$ . Используя линейную зависимость, полученную методом наименьших квадратов, вычисляется значение  $\text{SN}'$  для  $16,2 \text{ кг/м}^2$ , которое будет представлять значение  $\text{SN}$  для данного режима.

Вариант 2. Альтернативный метод: выбираются последовательные пробы при  $16,2 \text{ кг/м}^2$ . В данном случае сообщаемое значение  $\text{SN}$  рассчитывается как среднее арифметическое трех выбранных значений  $\text{SN}'$ . Рекомендуются, чтобы размеры проб находились в пределах  $16,2 \text{ кг/м}^2 \pm 0,7 \text{ кг/м}^2$ , а три пробы  $\text{SN}'$  находились в пределах  $\pm 3 \text{ SN}$  (см. также ARP 1179C).

### 3. РАСЧЕТ ЧИСЛА ДЫМНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯ

#### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Необходимо определить абсолютную отражательную способность каждого чистого и загрязненного фильтра. В работе Диека "Неопределенность измерений дыма авиационных газотурбинных двигателей с использованием метода SAE/EPA", опубликованной в *Journal of Aircraft*, том 15, № 4, апрель 1978 года, указывается, что "основным источником инструментальной погрешности при измерении дыма с использованием метода SAE/EPA является точность измерения отражательной способности чистого фильтра. Это является прямым следствием разброса отражательной способности фильтра относительно используемого среднего значения".

Подстилающий материал должен быть ровным и обеспечивать одинаковое давление на поверхность фильтра.

### 4. СООБЩЕНИЕ ДАННЫХ ПОЛНОМОЧНОМУ СЕРТИФИЦИРУЮЩЕМУ ОРГАНУ [Зарезервировано]

## ДОБАВЛЕНИЕ 3. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

### 1. ВВЕДЕНИЕ

#### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Методики отбора и анализа проб, описанные в томе II Приложения 16, второе издание, 1993 год, были взяты из рекомендуемой практики ARP 1256 "Методика непрерывного отбора проб и измерения эмиссии газообразных веществ авиационными газотурбинными двигателями" SAE. Методики расчета взяты из рекомендуемой практики ARP 1533 "Методика анализа и оценки эмиссии газообразных веществ авиационными двигателями". Рекомендуемая практика ARP 1256 и ARP 1533 разработана и обновляется Комитетом E-31 (Измерение эмиссии выхлопных газов воздушных судов, SAE International).

### 2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ [Зарезервировано]

### 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

#### 3.1 Эмиссия газообразных веществ

- а) Углеводородов (HC): оценка всех соединений углеводорода, присутствующих в выхлопных газах.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Выхлопные газы газотурбинных двигателей, как правило, содержат различные углеводородные соединения. Конкретные присутствующие соединения и их относительные концентрации обычно неизвестны. Пламеионизационные детекторы (FID), используемые для обнаружения углеводородов, не реагируют одинаковым образом на все углеводородные соединения. Такая различная реакция на углеводород должна соответствовать конкретным допускам, и результирующее измерение является мерой присутствия углеводородных соединений в выхлопных газах.

### 3.2 Прочая информация [Зарезервировано]

## 4. ОБЩАЯ КОМПОНОВКА СИСТЕМЫ

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вода является основным продуктом сгорания. Ее удаление из потока перед измерительными инструментами выглядит привлекательным. Такое удаление сведет к минимуму возможные эффекты интерференции, когда приборы реагируют на наличие воды, а также на измеряемый газ или пар. Это также исключит или сведет к минимуму конденсацию воды на приборах, что может вызывать неравномерность потока и/или загрязнение. В худшем случае, прибор станет невозможно использовать, пока он не будет тщательно очищен. Однако известно, что устройства, удаляющие воду, удаляют углеводороды и окислы азота, и поэтому их разрешается использовать только при измерениях CO и CO<sub>2</sub>. Если проба является сухой, необходимо выполнить соответствующее приведение "сухая/полусухая – влажная".

Для большинства газотурбинных двигателей на воздушных судах и большинства выпускаемых моделей двигателей потребуется использовать дополнительные насосы для выполнения требования к падению давления в системе отбора проб (на 80 % на входе отверстий пробоотборника), обеспечения необходимого времени пребывания проб и падения давления в линии подачи проб, а также отвода излишнего потока газов из системы отбора проб. Любой насос, используемый для прокачки отбираемых проб газов, должен подогреваться. Обычно, вследствие физических свойств проб газа и необходимости обеспечить регулирование температуры и потока в FID, используемом для анализа углеводородов, в системе приборов используются внутренние, нагреваемые, инерциальные насосы подачи проб. Применение выше по потоку разделителя для сброса части проб газов также является приемлемой практикой, помогающей регулировать поток газов, поступающий в аналитический тракт отбора проб.

В том случае, когда потеря углеводородов в системе отбора проб вызывает определенную обеспокоенность, FID при его стыковке с нагреваемым насосом подачи проб, можно расположить выше по потоку относительно системы насоса настолько близко к ней, насколько это позволят физические ограничения (например, температура, шум, вибрация). Необходимость установки откачивающего насоса и/или насоса для подачи горячих проб будет зависеть от возможности выполнить требования, касающиеся времени подачи проб и массового расхода отобранных проб газов в подсистеме их анализа. Это, в свою очередь, зависит от давления подачи отобранных проб выхлопных газов и потерь в линиях. В этой связи размер и расположение насосов, а также соответствующие устройства управления потоком определяются, как правило, конкретной конфигурацией системы отбора проб.

## 5. ОПИСАНИЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

### 5.1 Система отбора проб

#### 5.1.1 Пробоотборник

- a) Материалом пробоотборника, в контакт с которым вступает проба эмиссии выхлопных газов, является нержавеющая сталь или другой химически неактивный материал.
- b) Если используется пробоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр...

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Схема пробоотборника с несколькими отверстиями (смешивающий пробоотборник) может включать либо несколько отверстий для отбора проб, поступающих в одну камеру, либо несколько отверстий для отбора проб, поступающих в отдельные линии подачи проб, которые соединяются до поступления в пробоотборник, как это показано на рис. 2-2. Отверстия для отбора проб должны быть одинакового размера и располагаться в центрах одинаковой зоны для всех смешивающих пробоотборников. Если используется пробоотборник с несколькими консолями, то в каждой консоли должно располагаться одинаковое количество отверстий. Информация о конструкции пробоотборников, положенная в основу этих критериев, приведена в работе "Аспекты отбора проб эмиссии газовых турбин", Информационный доклад по аэрокосмическим проблемам (AIR) 4068A, SAE International, 1996 г. Наиболее распространенной является крестообразная конфигурация с индивидуальными отверстиями, расположенными в центрах одинаковой зоны.

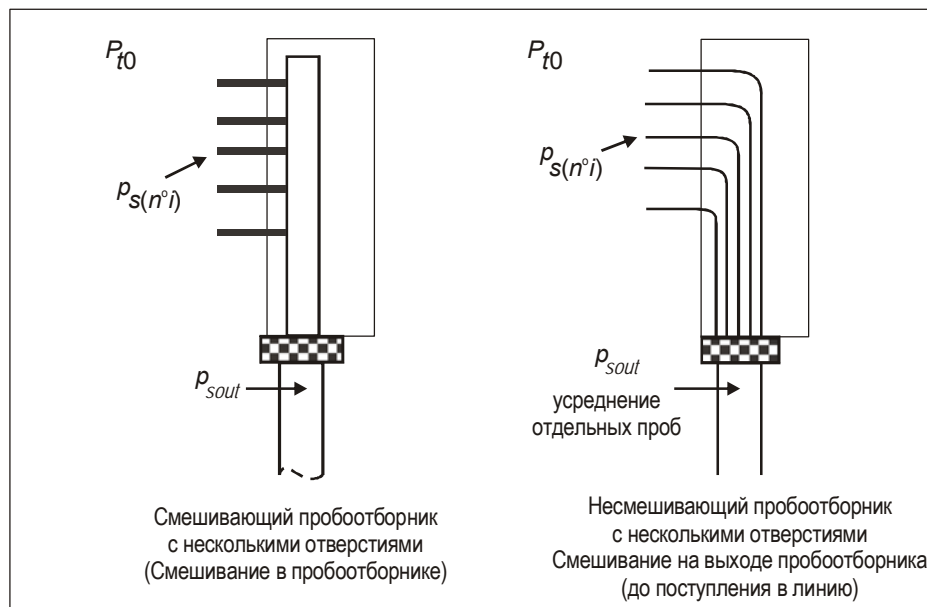


Рис. 2-2. Схемы пробоотборников

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Предпочтительным материалом пробоотборника является нержавеющая сталь, однако другие химически неактивные материалы могут оказаться более подходящими в определенных условиях, например при температурах выхлопных газов двигателя, которые превышают ограничения для физических характеристик нержавеющей стали. Сплавы Inconel 625 и Nimonic 75 были приняты, применительно к регламентируемым выбросам, в качестве химически неактивных материалов пробоотборников. Могут оказаться приемлемыми другие материалы, однако они должны утверждаться сертифицирующим полномочным органом.

- b) ...Пробоотборник конструируется таким образом, чтобы по крайней мере 80 % падения давления проходящего через него потока приходилось на отверстия.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Падение давления необходимо для обеспечения изокINETического отбора проб газов, проходящих через различные отверстия. Предполагается, что отверстие имеет малый размер и располагается непосредственно на входе пробоотборника. Для получения требуемого падения давления необходимо обеспечить резкое расширение на пути газового потока к трубке отбора проб.

Падение давления относится к скоростному напору, а не к полному давлению и необходимо для обеспечения того, чтобы пропускная способность каждого отверстия была пропорциональна скоростному напору на отверстии для отбора проб. Таким образом, когда взятые отдельными отверстиями пробы смешиваются в пробоотборнике, результирующая проба характеризует поток массы газообразных выбросов через плоскость отбора проб выхлопного сопла двигателя.

$$\frac{P_{t0} - P_{s(n^{\circ}i)}}{P_{t0} - P_{sout}} > 0,8 \quad P_{t0} - P_{s(n^{\circ}i)} > 0,8 P_{t0} - P_{sout} .$$

- c) Число точек для отбора проб составляет не менее 12.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Хотя 12 отверстий является минимальным предусмотренным в томе II Приложения 16 числом отверстий гребенки пробоотборника, более приемлемое число отверстий равняется 20, что подтверждается подробными эпюрами дискретных замеров.

- d) Плоскость отбора проб располагается настолько близко к плоскости выхлопного сопла двигателя, насколько это позволяют характеристики двигателя, однако в любом случае она находится в пределах 0,5 диаметра сопла от выходной плоскости.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Дополнительные рекомендации, касающиеся "выхлопного сопла", приведены в разделе определений главы 1 части 1.

- е) Подающий заявку представляет полномочному сертифицирующему органу, с помощью подробных эпюр распределения концентраций, доказательства того, что предлагаемая им конструкция и местоположение пробоотборника обеспечат получение представительных проб для каждой из установленных величин тяги.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Измерения для получения подробных эпюр, хотя и являются дорогостоящими, могут быть выполнены с помощью пробоотборника с одним отверстием, который замеряет установившиеся концентрации в различных точках. Эти дискретные замеры могут затем использоваться для получения средних значений и репрезентативной выборки проб. Проверка баланса углерода осуществляется аналогичным образом. Условие "падения давления на 80 %", которое ранее предусматривалось для обеспечения репрезентативности проб, является неоправданным в случае пробоотборника с одним отверстием.

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

В том случае, когда данный аналитический метод используется применительно только к потоку газов из основного контура, доказавшие свою надежность схемы гребенок с несколькими отверстиями, по-видимому, будут предусматривать четыре консоли для отбора проб, разнесенные на угол 90°, с отверстиями, расположенными в центрах одинаковой зоны. Отверстия для отбора проб равномерно распределяются по консолям, и контурный анализ определит минимальное количество точек отбора проб, необходимое для получения репрезентативной выборки.

Подробные эпюры одноточечных замеров не требуются в случае поворотных гребенок, поскольку эти гребенки при правильном применении позволяют использовать такое же (или большее) количество точек отбора проб, как это имеет место при типичных одноточечных замерах, обеспечивая, тем самым, репрезентативные пробы. Однако для демонстрации того, что зафиксированная гребенка установлена в правильном положении для получения репрезентативной пробы, необходимо проводить дискретные замеры в поперечном сечении. Конкретные детали (одноточечные замеры, положения гребенки, число различных уровней мощности) таких измерений могут зависеть от количества отверстий на гребенке для отбора проб и накопленного опыта оценки аналогичных двигателей или их модификаций. Данные требования к схемам гребенок дополняются проверкой системы, осуществляемой в соответствии с критериями оценки баланса углерода. В том случае, когда для пробы характерны низкие индексы эмиссии (EI) и сравнительно большие (в процентах) расхождения между подробной эпюрой дискретных замеров и замеров с помощью зафиксированной гребенки, проба может быть принята в качестве репрезентативной без демонстрации того, что  $\text{NO}_x$ , CO и HC укладываются в допуск 10 % (15 % для режима малого газа), если обеспечивается достаточно большое количество отверстий и соответствие по AFR в пределах 10 % (15 % для режима малого газа).

Все данные, используемые при выборе схемы пробоотборника/гребенки, должны быть представлены сертифицирующему полномочному органу.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

Стандартное определение "репрезентативной пробы" эмиссии авиационных газотурбинных двигателей отсутствует, как отсутствует и требование, касающееся "подробной эпюры" замеров в поперечном сечении. В данном случае значения слов "репрезентативная" и "подробная" являются предметом переговоров между изготовителем и сертифицирующим полномочным органом. Вопрос заключается в том, насколько замеренная усредненная проба может отклониться от истинного среднего значения пробы, прежде чем проба не будет более считаться репрезентативной. Наиболее широко используемый критерий, основанный на опыте десятилетий испытаний и совместных аналитических работах различных групп пользователей, представляет собой допуск 10 % для режимов двигателя выше малого газа (т. е. заход на посадку, снижение, набор высоты и взлет) и  $\pm 15$  % для режима малого газа, как указано в п. 6.4 добавления 3 применительно к проверке баланса углерода. Однако имеется существенное различие. В случае проверки баланса углерода осуществляется сравнение выборок независимо связанных измеряемых значений. Зная физику процесса горения и отношение водорода к углероду используемого топлива, можно получить оценку по замеренным содержащим углерод соединениям, основную долю которых составляет  $\text{CO}_2$ , среднего значения отношения топлива к воздуху для данного двигателя. Фактическое отношение топлива к воздуху для двигателя можно независимо получить по соответствующим замерам параметров топлива и воздушного потока. Сравнение этих двух величин позволяет судить о качестве отбора проб потока выхлопных газов для оценки содержащих углерод соединений. Однако, поскольку  $\text{CO}_2$  значительно перевешивает влияние любых других углеродных соединений при расчете отношений топлива к воздуху, пространственное распределение  $\text{CO}_2$  будет определять необходимое количество точек отбора проб и их распределение. Установлено, что  $\text{CO}_2$  стабильно демонстрирует наименьшую вариабельность из всех представляющих интерес соединений, к которым относятся  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  и дым. Это означает, что можно удовлетворить касающиеся баланса углерода критерии в 10 и 15 % без получения репрезентативной, по тем же критериям в 10 и 15 %, пробы других соединений. Другими словами, определение баланса углерода, хотя и является необходимым предварительным условием репрезентативной пробы, не может само по себе рассматриваться как достаточная демонстрация репрезентативного отбора проб.

В прошлом изготовители двигателей и организации, занимающиеся испытаниями, подходили к решению данной проблемы разными путями. Признавая, что газотурбинные двигатели в основном являются осесимметричными, один приемлемый метод (для неподвижных гребенок) предусматривает точечный отбор проб выхлопных газов, используя достаточное количество точек, позволяющих оценить статистическими методами истинную среднюю концентрацию каждого представляющего интерес соединения. Как представляется, выделяемые двигателем продукты сгорания распределяются по практически нормальному (гауссовому) закону, что позволяет применять простые статистические методы. Используя точки отбора проб и замеренные значения концентрации каждого представляющего интерес соединения, для каждого режима мощности были аналитически получены контуры постоянной концентрации (изолинии). Существует много компьютерных программ для выполнения такой работы на рабочих станциях или с помощью персональных компьютеров. Данные пробоотборника или гребенки затем накладываются на такие контуры для оценки средних значений данных пробоотборника/гребенки и сравнения их с оцененным истинным средним значением, полученным из подробной эпюры замеров в поперечном сечении. В том случае, когда результаты сравнения отвечают критериям баланса углерода, т. е. выдерживается допуск 10 % для уровней мощности двигателя выше режима малого газа и  $\pm 15$  % для режима малого газа, можно считать, что пробоотборник/гребенка обеспечивает репрезентативный отбор проб. Может потребоваться повторить такой процесс несколько раз для выбора приемлемой схемы.

5.1.2 Линии подачи проб  
[Зарезервировано]

**5.2 Анализатор углеводородов (HC)**  
[Зарезервировано]



**5.3 Анализаторы окиси и двуокиси углерода (CO и CO<sub>2</sub>)**  
[Зарезервировано]

**5.4 Анализатор окислов азота (NO<sub>x</sub>)**  
[Зарезервировано]

**6. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ**

**6.1 Работа двигателя**  
[Зарезервировано]

**6.2 Основная тарировка приборов**  
[Зарезервировано]

**6.3 Пользование приборами**  
[Зарезервировано]

**6.4 Проверка баланса углерода**  
[Зарезервировано]

**7. РАСЧЕТЫ**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА**

Настоящая техническая методика иллюстрирует на простом рабочем примере порядок обработки данных измерений, полученных при сертификационных испытаниях эмиссии.

*Определения*

Эталонный двигатель. В данном примере сертификационные значения эмиссии рассчитываются на основе параметров на входе камеры сгорания (ТЗ, РЗ и расход топлива), полученных по апробированной модели характеристик двигателя.

*Испытываемый(ые) двигатель(и).* Рекомендуемая практика предусматривает использование двигателя, который соответствует производственному стандарту на изготовление. Если имеются отличия, эти отличия должны быть представлены на утверждение сертифицирующими полномочными органами. В том случае, если предполагается, что какое-либо из этих несоответствий повлияет на характеристики двигателя и его уровни эмиссии газообразных веществ и дыма, соответствующие пояснения и количественные оценки такого влияния будут представлены сертифицирующим полномочным органам на утверждение. Обычно изготовители будут сводить к минимуму отклонения от производственного стандарта. Замеренные уровни эмиссии будут приводиться к эталонному двигателю (производственный стандарт на изготовление) и стандартным дневным условиям.

*Подробная эпюра.* Для нового типа двигателя следующий этап работ до начала фактических сертификационных испытаний эмиссии заключается в получении подробной эпюры замеров выхлопа двигателя для демонстрации того, что обеспечивается получение репрезентативной пробы (см. приведенный в п. 5.1.1 добавления 3 инструктивный материал, касающийся подробной эпюры).

*Испытания на эмиссию.* Эмиссия обычно измеряется при более четырех уровнях потребной тяги (обычно 8–16 режимов) между тягой на режиме малого газа на земле и максимальной номинальной тягой.

Может потребоваться получить кривые тарировки приборов для различных анализаторов, с тем чтобы переходить от показаний приборов к значениям концентрации по тарировкам. Эти концентрации газов регистрируются, и по ним рассчитываются индексы эмиссии, используя уравнения в п. 7.1.2 добавления 3 тома II Приложения 16. Приведенный ниже простой пример иллюстрирует порядок расчета EI(CO). Предполагается, что все замеренные значения получены во влажных условиях:

$$\begin{aligned} n/m &= H/C = 2; \\ \text{CO} &= 500 \text{ ppm(v)}_{\text{wet}} = 0,000 5; \\ \text{HC} &= 800 \text{ ppm(v)}_{\text{wet}} = 0,000 8; \\ \text{CO}_2 &= 2,25\% = 0,022 5; \\ \text{NO}_2 &= 20 \text{ ppm(v)}_{\text{wet}} = 0,000 02; \\ h_{\text{amb}} &= 0,002 5 \text{ vol}_{\text{water}}/\text{vol}_{\text{dryair}}; \\ \text{C}_x\text{H}_y &= \text{CH}_4 \rightarrow x = 1, y = 4. \end{aligned}$$

Уравнение в п. 7.1.2 для EI(CO) будет выглядеть следующим образом:

$$\text{EI}(\text{CO}) = (\text{CO}/(\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{HC})) \times (10^3 \times 28,011 \text{ г}/(12,011 \text{ г} + n/m \times 1,008 \text{ г}) \times (1 + (0,000 3 \times (P_0/m))),$$

$$\begin{aligned} \text{где } (P_0/m) &= (2 \times Z - n/m) = 2 \times Z - 2; \\ Z &= \{2 - \text{CO} - (2/1 - 4/2 \times 1) \times \text{HC} + \text{NO}_2\} / \{\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{HC}\} \\ &= 2 - 0,000 5 - 0 \times \text{HC} + 0,000 02 = 1,999 52; \\ (P_0/m) &= 1,999 04. \end{aligned}$$

Таким образом, из приведенного выше уравнения получаем:

$$\begin{aligned} \text{EI}(\text{CO}) &= (0,000 5/0,022 5 + 0,000 5 + 0,000 8) \times (28,011/(12,011 + 2,016)) \times (1 + (0,000 3 \times 1,999 04)); \\ &= 0,021 008 \times 1 996,934 483 \times 1,000 056; \\ &= 41,98 \text{ г/кг}_{\text{fuel}}. \end{aligned}$$

Значения EI(HC) и EI(NO<sub>x</sub>) рассчитываются аналогичным образом, используя два других уравнения из п. 7.1.2. Для EI(NO<sub>x</sub>) и NO<sub>2</sub>/NO необходимо также учитывать эффективность конвертера. Значения EI рассчитываются для каждой точки измерения (режима тяги) и опробования двигателя.

Дополнение Е к добавлению 3 содержит детальный и точный численный метод, который часто используется в программном обеспечении изготовителей двигателей. Соответствующая дополнительная информация приведена в рекомендуемой практике ARP 1533 "Методика анализа и оценки эмиссии газообразных веществ авиационными двигателями" SAE, которая содержит два рабочих примера использования матричного метода решения уравнения химического процесса горения.

Для приведения этих значений EI, полученных по данным измерений, к эталонному двигателю и стандартным окружающим условиям рекомендуется использовать интерполирование. Один приемлемый альтернативный метод графического представления замеренных данных испытаний заключается в построении следующих графиков:

EI(CO) × P<sub>3</sub> в зависимости от T<sub>3</sub>;

EI(HC) × P<sub>3</sub> в зависимости от T<sub>3</sub>;

EI(NO<sub>x</sub>) × P<sub>3</sub><sup>-0,5</sup> × e<sup>19 × (h<sub>mass</sub> - 0,006 34)</sup> в зависимости от T<sub>3</sub>.

Затем можно получить аппроксимацию каждой кривой, используя, как правило, полиномиальную функцию. В некоторых случаях требуются два уравнения аппроксимации кривых, одно для данных при малой мощности, а другое для данных при большой мощности. В том случае, когда на двигателе выполнено несколько испытательных режимов, могут быть построены графики для каждого испытательного режима или может использоваться одна корреляционная зависимость для нескольких режимов. Однако если проводятся испытания нескольких двигателей, отдельный набор графиков следует построить для каждого испытываемого двигателя.

Порядок расчета скорректированных значений  $EI(CO)$  при значениях тяги, соответствующих четырем эксплуатационным режимам LTO, заключается в следующем (как показано на рис. 2-3):

- a) использовать апробированную модель характеристик двигателя для определения  $T3_{ref}$ ,  $P3_{ref}$  и расчетного расхода топлива;
- b) задав  $T3_{ref}$ , определить  $EI(CO) \times P3$  по кривой  $EI(CO) \times P3$  в зависимости от  $T3$ ;
- c) разделить на соответствующее значение  $P3_{ref}$  для получения скорректированного  $EI(CO) = EI(CO) \times P3/P3_{ref}$ .

Расчет скорректированного  $EI(HC)$  осуществляется по аналогии с расчетом  $EI(CO)$ , как и расчет скорректированного  $EI(NO_x)$ , за исключением того, что шаг 3 предусматривает умножение на  $P3_{ref}^{-0,5}$ , а не деление на  $P3_{ref}$ .

После расчета для каждого эксплуатационного режима скорректированных  $EI(CO)$ ,  $EI(HC)$  и  $EI(NO_x)$  рассчитывается  $Dp$ , используя стандартное время режимов LTO и соответствующие значения расчетного расхода топлива согласно апробированной модели характеристик двигателя.

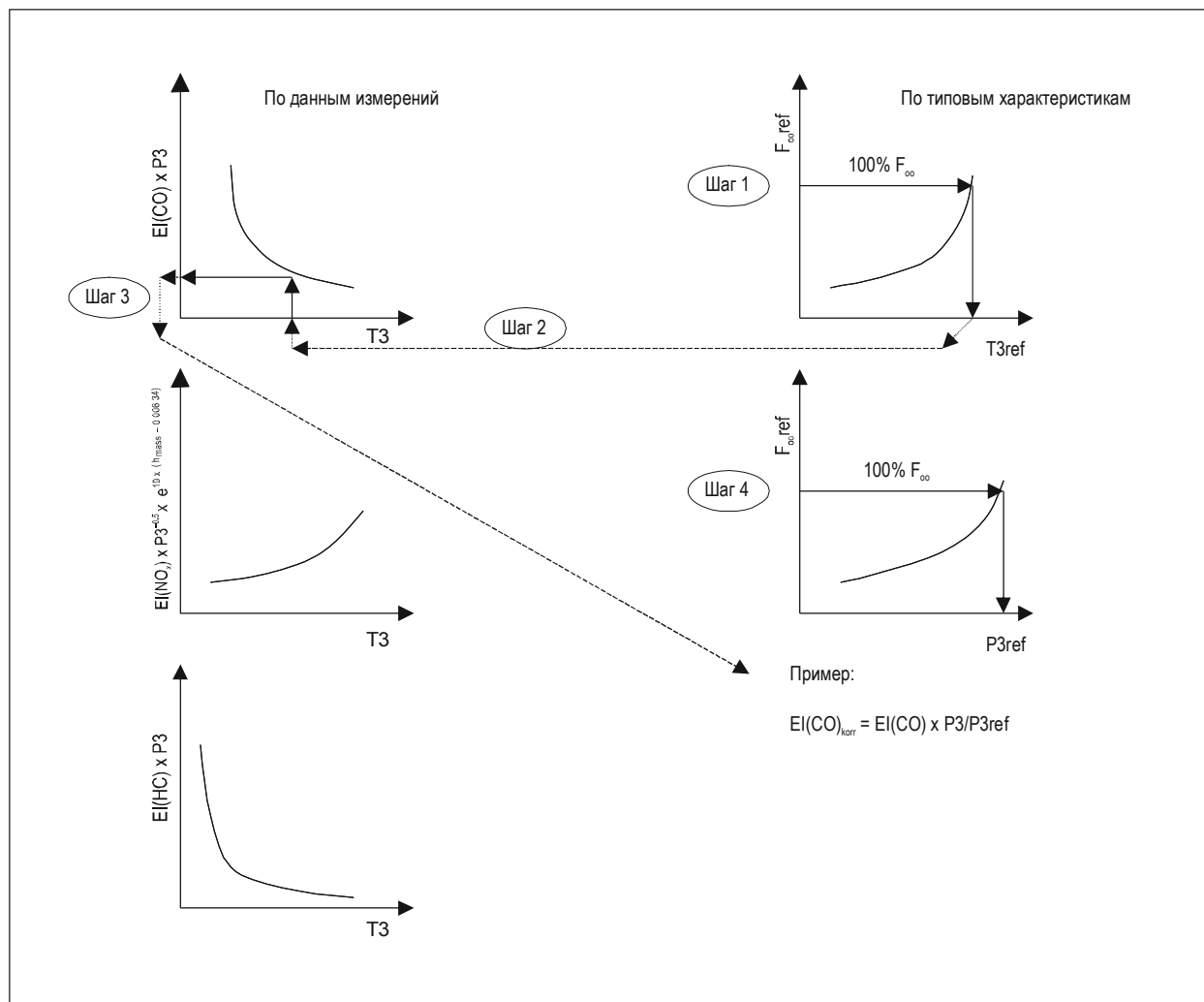


Рис. 2-3. Методика расчета эмиссии газообразных веществ

### 7.1 Эмиссия газообразных веществ

[Зарезервировано]

#### 7.1.1 Общие положения

[Зарезервировано]

#### 7.1.2 Основные параметры

[Зарезервировано]

#### 7.1.3 Приведение индексов эмиссии к стандартным условиям

[Зарезервировано]

### 7.2 Величины, входящие в контрольный параметр

[Зарезервировано]

### 7.3 Исключения из предлагаемых правил расчета

[Зарезервировано]

## ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ НС

*Примечание 1. Как указано в п. 5.2 добавления 3, чувствительным элементом этого анализатора является пламеионизационный детектор (FID), в котором весь объем пробы газа или его репрезентативная часть впрыскивается в водородное пламя. При соответствующем расположении электродов может быть определен ионизационный ток, который зависит от массового расхода углеводорода, вводимого в пламя. Этот ток, приведенный к соответствующему нулю, усиливается и ранжируется, чтобы получить результирующую характеристику, служащую мерой концентрации углеводородов, выраженной через эквивалентное число ppmC.*

*Примечание 2. Информацию о тарировочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

*Примечание. Данные технические требования предназначены для анализаторов, с помощью которых можно измерить полное содержание всех углеводородов (без их систематизации по классам) в пробе используя пламеионизационный детектор (FID), определение которого дано в разделе 2 "Определения" добавления 3.*

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно большую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитываются возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Требования к характеристикам этих анализаторов, относящиеся к показаниям в полном диапазоне, могут оказывать значительное отрицательное влияние на измерения в части шкалы. В экстремальных ситуациях, концентрации НС при большой (например, взлетной) мощности могут на порядки отличаться от концентраций на режиме малого газа. В целом, всегда целесообразно использовать многодиапазонный прибор и подбирать диапазоны таким образом, чтобы измерения приходились на верхние 30 % диапазона показаний прибора. Следует также проводить, при необходимости, калибровку измерений в каждом используемом диапазоне.

Подлежащий использованию прибор обеспечивает поддержание в нем заданной температуры детектора и частей, вступающих в непосредственный контакт с пробой газа, не менее 150 °С.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В том II Приложения 16 в прошлом было введено требование (поправка 6 и предшествующие ей поправки) о поддержании температуры в точке контакта в интервале 155–165 °С при стабильности  $\pm 2$  °С. Это требование было взято из рекомендуемой практики ARP 1256 "Методика непрерывного отбора проб и измерения эмиссии газообразных веществ авиационными турбинными двигателями" SAE (1971). Рекомендуемая практика ARP 1256 оговаривала этот диапазон, поскольку требовалось свести к минимуму конденсацию углеводородов в приборе, обеспечить стабильность работы приборов, а также обеспечить учет эксплуатационных характеристик тогдашних анализаторов полного содержания углеводородов (ТНА). После этого коммерческие анализаторы существенно изменились, а рекомендуемая практика ARP была пересмотрена, и в настоящее время она рекомендует, чтобы все части анализаторов суммарного содержания углеводородов, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, размещались в корпусе термостата с регулированием температуры, где поддерживается температура в интервале 423–483 °К (159–210 °С, 302–410 °F). Четкого требования к стабильности температуры не существует (хотя оно косвенно содержится в спецификациях изготовителя на рабочие характеристики прибора). Стабильность работы прибора находится под контролем до тех пор, пока выполняются эксплуатационные требования (почасовые проверки, проверки диапазона и дрейфа нуля в соответствии с требованиями Приложения 16 и инструкций по использованию приборов, предоставляемых изготовителем) к анализаторам. Такое увеличение в заданном диапазоне температур не влияет на эмиссию.

а) *Полный диапазон измерения: 0–5000 ppmC в соответствующих интервалах измерения.*

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Полный диапазон измерения 0–5000 ppmC, хотя и подходит для двигателей, которые использовались при выпуске тома II Приложения 16 в 1981 году, является более широким, чем это необходимо для современных двигателей, имеющих гораздо более низкие значения концентраций. Следует использовать соответствующие приборы, обеспечивающие возможность измерений в верхних 30 % шкалы. Таким образом, прибор с верхним пределом диапазона 5000 ppmC может не требоваться и может фактически оказывать отрицательное влияние на возможность обеспечения приемлемого интервала измерений вследствие конструктивных ограничений прибора.

- b) *Разрешающая способность:*  
[Зарезервировано]
- c) *Повторяемость:*  
[Зарезервировано]
- d) *Стабильность:* не хуже  $\pm 2\%$  используемого диапазона измерения прибора или  $\pm 1,0$  ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Стабильность, относящаяся к стабильности диапазона и иногда называемая дрейф диапазона, представляет собой максимальную вариацию показаний прибора за конкретный период времени и в конкретных внешних условиях, когда через прибор проходят идентичные пробы концентраций, соответствующие отклонению стрелки почти на полную шкалу, и проведено выставление нуля отсчета. Стабильность представляет собой сумму зависящего от времени смещения, т. е. изменений выходных данных в неизменных лабораторных условиях, и изменений выходных данных, обусловленных другими факторами, например внешней температурой и/или колебаниями температур в корпусе FID. Стабильность чрезвычайно зависит от параметров среды, в которой используется анализатор. В этой связи изготовители не могут управлять стабильностью, и они устанавливают значение зависящего от времени сдвига для определенного диапазона внешних температур, т. е. по существу для лабораторных условий. В результате усовершенствования приборов за счет использования твердотельных элементов требования к смещению показаний современных анализаторов ТНС оговаривают меньшие значения смещения ( $<1\%$  полной шкалы за 8 ч в лабораторных условиях) в сравнении с требованиями к стабильности, предусмотренными в стандарте. Обусловленные этим фактором погрешности являются пренебрежимо малыми. Поскольку измерения проводятся не в лабораторных условиях и изменение внешних условий является скорее нормой, чем исключением, необходимо соблюдать эксплуатационные процедуры, описанные в п. 6.3.2 d) добавления 3.

- e) *Дрейф нуля:*  
[Зарезервировано]
- f) *Шумы:* 0,5 Гц и больше, менее  $\pm 1\%$  от всего используемого диапазона измерений прибора или  $\pm 0,5$  ppmC, в зависимости от того, что больше.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Для работы FID требуются газообразное топливо и окислительный газ. Газообразное топливо обычно представляет собой смесь водорода/азота или водорода/гелия. В том случае, когда невозможно выполнить требование к шуму и в качестве газообразного топлива используется смесь водорода/азота, может оказаться целесообразным перейти на смесь водорода/гелия.

g) *Время срабатывания:*  
[Зарезервировано]

h) *Линейность:*  
[Зарезервировано]

## 2. СИНЕРГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

*Реакция на кислород:* измерить реакцию на две следующие смеси пропана с содержанием приблизительно 500 ppmC определенным с относительной точностью до  $\pm 1\%$ :

- 1) смесь пропана с  $10\% \pm 1\% \text{ O}_2$  (остальное  $\text{N}_2$ );
- 2) смесь пропана с  $21\% \pm 1\% \text{ O}_2$  (остальное  $\text{N}_2$ ).

Если  $R_1$  и  $R_2$  – соответствующие значения нормализованной реакции, то  $(R_1 - R_2)$  меньше  $3\% R_1$ .

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Типичный диапазон концентраций  $\text{O}_2$  в выхлопном газе из основного контура составляет от 18 % на режиме малого газа до 15 % на взлетном режиме. Требование к реакции составлять  $<3\%$  применительно к выборкам смесей с содержанием кислорода 10 и 21 % является консервативным и фактически ограничивает дифференциальную реакцию величиной  $<1\%$  в представляющем интерес диапазоне. При необходимости реакцию на  $\text{O}_2$  можно минимизировать путем регулировки отношения топливо/воздух горелки FID.

*Дифференциальная реакция прибора на углеводород:* измерить реакцию прибора на четыре следующие смеси различных углеводородов в воздухе с концентрацией приблизительно 500 ppmC с относительной точностью до  $\pm 1\%$ :

- a) пропан в нулевом воздухе,
- b) пропилен в нулевом воздухе,
- c) толуол в нулевом воздухе,
- d) n-гексан в нулевом воздухе.

Если  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  и  $R_d$  – соответствующие нормализованные реакции прибора на пропан, то  $(R_a - R_b)$ ,  $(R_a - R_c)$  и  $(R_a - R_d)$ , каждая разность в отдельности, меньше  $5\% R_a$ .



## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Хотя считается, что реакция FID является пропорциональной содержанию углерода, она несколько меняется по отдельным измеряемым углеводородам или классам углеводородов. Например, три молекулы метана ( $\text{CH}_4$ ) не обязательно вызовут такую же реакцию прибора, как одна молекула пропана ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ). Вследствие такой дифференциальной реакции, целесообразно считать, что FID реагирует на "эффективное количество углерода". Важно обеспечить, чтобы реакция прибора была приемлемой для всех углеводородов, присутствующих в выхлопных газах двигателей. Группа углеводородов (пропилен, толуол и п-гексан) с пропаном в качестве базисного соединения была выбрана представлять, применительно к дифференциальной реакции, группу углеводородов, которые будут присутствовать в выхлопных газах двигателей.

### 3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАКЦИИ ДЕТЕКТОРА И РЕГУЛИРОВКА

3.1 Необходимо соблюдать инструкции изготовителя о порядке первоначальной настройки и о требуемом вспомогательном обслуживании и обеспечении и обеспечить стабилизацию прибора. Регулировка настройки включает в себя периодическую проверку установки на нуль и, при необходимости, введение поправок. Используя в качестве пробы воздушно-пропановую смесь с концентрацией пропана приблизительно 500 ppmC, для выбора оптимального прибора определяется его реакция на изменение сначала расхода топлива, а затем при расходе топлива, близком к оптимальному, реакция на изменение расхода воздуха в горелке. После этого определяются реакция прибора на кислород и дифференциальная реакция на углеводород, как указано выше.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Реакцию и регулировку детектора FID можно оптимизировать путем регулирования расхода топлива и воздуха в горелке FID при использовании смеси, содержащей примерно 500 ppmC пропана. При изменении расхода топлива надо следить, чтобы не сместился нуль прибора. Если это происходит, необходимо выставить нуль прибора. На рис. 2-4 и 2-5 показаны иллюстрирующие этот процесс кривые, взятые из рекомендуемой практики ARP 1256 "Методика непрерывного отбора проб и замера эмиссии газообразных веществ авиационными газотурбинными двигателями" SAE.

Цель этой методики заключается в выборе параметров расхода, которые будут обеспечивать близкую к максимальной реакцию с наименьшими изменениями при незначительной вариации расхода топлива. Может потребоваться несколько раз повторить процесс:

- a) выставить расход топлива на максимальное выходное значение;
- b) выставить нуль, если необходимо;
- c) выставить расход воздуха на максимальное выходное значение;
- d) при необходимости, повторно выставить расход топлива;
- e) повторять процесс, пока выходные параметры горелки не будут оптимизированы.

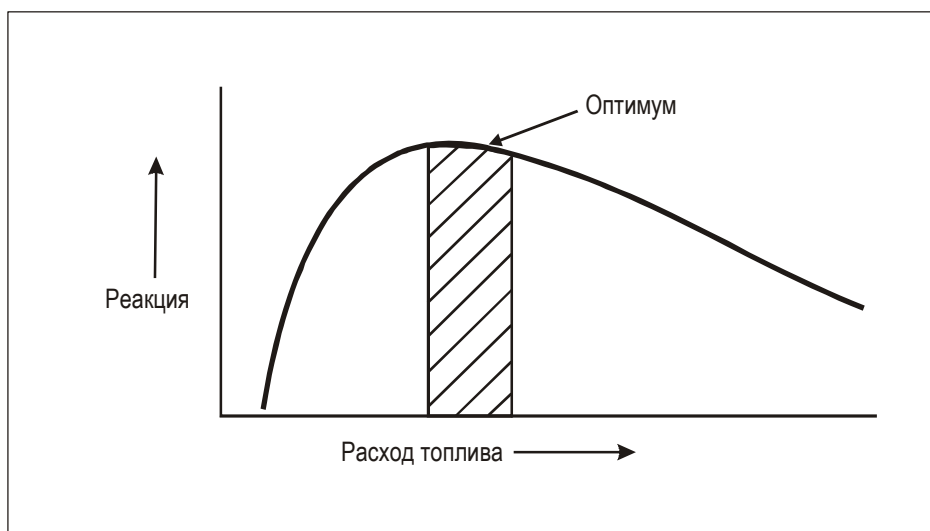


Рис. 2-4. Типичная кривая реакции по расходу топлива

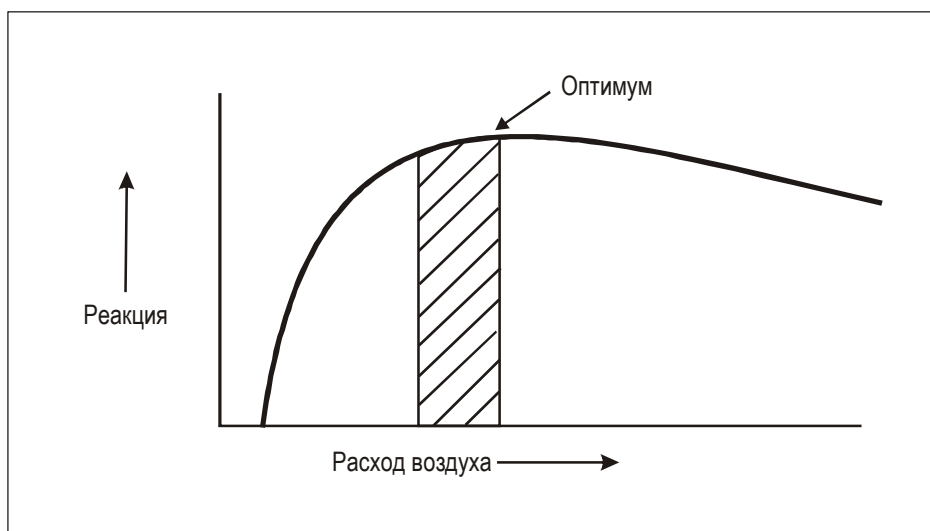


Рис. 2-5. Типичная кривая реакции по расходу воздуха

### ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРАМ CO И CO<sub>2</sub>

*Примечание 1. [Зарезервировано]*

*Примечание 2. [Зарезервировано]*

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно бóльшую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитываются возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

#### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Требования к характеристикам этих анализаторов, относящиеся к показаниям в полном интервале измерений, могут оказывать значительное отрицательное влияние на измерения в части шкалы. Это необходимо учитывать при планировании и проведении испытаний, а также при оценке точности измерений после проведения испытаний. При смене режима с малого газа на взлетный режим концентрация CO<sub>2</sub> может меняться в десятки раз. Как правило, если известно, что концентрация веществ, подлежащих измерению, меняется таким образом, то всегда целесообразно использовать многодиапазонный прибор и подбирать интервалы измерения таким образом, чтобы измерения приходились на верхние 30 % шкалы в используемом диапазоне, где это возможно. Измерение, выполненное на 20 % полной шкалы, может привести к погрешности, в пять раз превышающей погрешность, определенную как процент от полной шкалы. Это общая мера предосторожности. Некоторые современные приборы, имеющие встроенные функции электронного установления шкалы измерений и тарировки, могут использоваться во всем своем диапазоне без ухудшения характеристик. Следует также проводить, при необходимости, калибровку измерений в каждом используемом диапазоне. Помимо мер предосторожности, приведенных выше, интервалы измерения необходимо выбирать таким образом, чтобы реакция прибора попадала в верхние 30 % шкалы в используемом диапазоне. Несмотря на то что это не всегда возможно, к этому следует стремиться.

К основным техническим характеристикам относятся следующие:

*Анализатор CO*

- a) *Полный диапазон измерения:* [Зарезервировано].
- b) *Разрешающая способность:* [Зарезервировано].
- c) *Повторяемость:* [Зарезервировано].
- d) *Стабильность:* [Зарезервировано].
- e) *Дрейф нуля:* [Зарезервировано].

- f) *Шум*: [Зарезервировано].
- g) *Интерференция*: должна быть ограничена следующим образом в зависимости от зарегистрированной концентрации CO:
  - 1) менее 500 ppm на каждый процент концентрации этилена;..

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Обнаружить этилен в высокой концентрации в выхлопе газотурбинного двигателя маловероятно. Самая высокая концентрация углеводородов (что соответствует наивысшей концентрации CO) наблюдается на режиме малого газа. Если бы все углеводороды были этиленами (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), а за 100 % концентрации было принято максимальное значение в принятом интервале измерений (5000 ppmC, что соответствует 2500 ppm этилена), то допустимая интерференция была бы меньше 125 ppm или, иными словами, меньше 5 % максимальной концентрации CO, равной 2500 ppm. Поскольку пределы интерференции даны в абсолютных значениях, относительная погрешность будет увеличиваться для измерений, проводимых не на полной шкале. В случае присутствия этилена в значительной концентрации необходимо скорректировать полученные значения.

- 2) менее 2 ppm на каждый процент концентрации CO<sub>2</sub>;
- 3) менее 2 ppm на каждый процент концентрации водяных паров.\*

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Эти два мешающих компонента (CO<sub>2</sub> и водяные пары) являются сопутствующими веществами. Поскольку они являются основными продуктами горения, их содержание увеличивается и уменьшается одновременно, а их максимальное количество наблюдается на режимах максимальной тяги. К сожалению, минимальная концентрация CO чаще всего наблюдается на режимах максимальной тяги. Все это может вызвать существенные проблемы с точностью измерений, даже если соблюдаются пределы интерференции. Нередко испытания проводятся на высушенной перед измерениями пробе при компенсации остаточного мешающего компонента (CO<sub>2</sub>) при помощи газовых и оптических фильтров. Стоит отметить, что вклад CO с концентрацией, характерной для режимов высокой тяги, в суммарный выброс CO, измеренный в течение цикла LTO, относительно мал.

#### *Анализатор CO<sub>2</sub>*

- a) *Полный диапазон измерения*: 0–10 % в соответствующих интервалах измерения.

\* Нет необходимости применять в случае проведения измерений в "сухом" состоянии.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Несмотря на то что полный диапазон измерений для CO<sub>2</sub> задан как 0–10 %, значения концентрации чаще всего варьируются в интервале 1–5 %. Данный диапазон гораздо уже диапазона для CO. Тем не менее целесообразно использовать такие интервалы измерений, чтобы реакция прибора в соответствующих случаях оставалась в верхних 30 % шкалы измерений.

### *Анализатор CO<sub>2</sub>*

- b) *Разрешающая способность:* [Зарезервировано]
- c) *Повторяемость:* [Зарезервировано]
- d) *Стабильность:* [Зарезервировано]
- e) *Дрейф нуля:* [Зарезервировано]
- f) *Шум:* [Зарезервировано]
- g) Проверяется влияние кислорода (O<sub>2</sub>) на чувствительность анализатора CO<sub>2</sub>. При изменении содержания O<sub>2</sub> от 0 до 21 % чувствительность при данной концентрации CO<sub>2</sub> не должна меняться более чем на 2 % от показания. Если данное ограничение невозможно выполнить, то применяется соответствующий коэффициент коррекции.

*Примечание. В соответствии с общепринятой практикой рекомендуется применять такую методику коррекции во всех случаях.*

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Газотурбинные двигатели используют существенное количество воздуха для внутреннего охлаждения, который смешивается с продуктами горения перед выходом из двигателя. Пробы выбросов, насыщенные кислородом, требуют пристального внимания из-за того влияния, которое кислород оказывает на измерение CO<sub>2</sub>.

В Приложении 16 не указаны способы учета этого влияния. Однако в рекомендуемой практике ARP 1533 приведены все необходимые шаги для определения коэффициента J, характеризующего влияние O<sub>2</sub> на измерение CO<sub>2</sub>. Для учета влияния кислорода показатель P<sub>1</sub> (CO<sub>2</sub>) в основном уравнении горения из п. 2.1 дополнения E примет следующий вид:

$$P_1 [\text{CO}_2] = [\text{CO}_2]_{\text{measured}} \times P_T + J \times ([\text{CO}_2]_{\text{measured}} \times P_3),$$

- где P<sub>1</sub> – фактическое количество молей CO<sub>2</sub> в выхлопной пробе на моль топлива;  
P<sub>3</sub> – фактическое количество молей O<sub>2</sub> в выхлопной пробе на моль топлива;  
P<sub>T</sub> – суммарное количество молей в выхлопе;  
J – коэффициент воздействия кислорода, характеризующий влияние O<sub>2</sub> на измерение CO<sub>2</sub> (коэффициент концентрации).

При наличии воздействия "коэффициента концентрации" (другими словами, при воздействии на чувствительность) взаимодействующие вещества меняют кривую реакции анализатора, а, следовательно, это воздействие пропорционально измеренной концентрации. Именно такова природа взаимодействия O и CO. Необходимо определить коэффициент воздействия, который позволил бы количественно выразить изменение измеренных частей в объеме.

То же самое уравнение можно выразить в значениях концентрации, а не в молях:

$$[\text{CO}_2]_{\text{real}} = [\text{CO}_2]_{\text{measured}} \times (1 + J \times ([\text{O}_2]_{\text{measured}})).$$

Случай 1

Если недисперсионный инфракрасный (NDIR) анализатор был оттарирован по CO<sub>2</sub> в условиях очищенного воздуха (смесь O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>), где количество кислорода было равно измеренному количеству кислорода в выхлопе, то воздействие кислорода будет равно нулю.

$$[\text{CO}_2]_{\text{real}} = [\text{CO}_2]_{\text{measured}} \times (1 + J \times ([\text{O}_2]_{\text{test}} - [\text{O}_2]_{\text{cal}})).$$

Случай 2

В тех случаях, когда концентрация кислорода в выхлопе либо неизвестна, либо варьируется, предпочтительно проводить тарировку анализатора NDIR при помощи калибровочного газа CO<sub>2</sub>, сбалансированного чистым азотом, и проводить корректировку в соответствии с технической методикой, приведенной ниже, для учета влияния O<sub>2</sub>.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

В Приложении 16 не приводится методика корректировки с учетом влияния кислорода.

В случае, если необходимо провести корректировку для учета влияния кислорода на измерение CO<sub>2</sub>, корректировка может быть выражена следующим образом (эквивалентно уравнениям для CO и NO в п. 3.3 дополнения E):

$$[\text{CO}_2] = [\text{CO}_2]_{\text{m}} \times (1 + J \times [\text{O}_2]),$$

где  $[\text{CO}_2]$  – средняя концентрация CO<sub>2</sub> в выхлопной пробе (объем/объем);  
 $[\text{CO}_2]_{\text{m}}$  – среднее измерение концентрации, снятое до тарировки прибора (объем/объем);  
 J – коэффициент учета воздействия O<sub>2</sub> на анализатор;  
 $[\text{O}_2]$  – средняя концентрация O<sub>2</sub> в выхлопной пробе (объем/объем).

Кислород меняют кривую реакции анализатора NDIR. Следовательно, это воздействие пропорционально измеренной концентрации.

Репрезентативное значение коэффициента J приведено в рекомендуемой практике ARP 1533B. Тем не менее это условное значение, поэтому рекомендуется измерять коэффициент J для каждого анализатора в отдельности. Этот коэффициент можно взять из расчетов, приведенных в рекомендуемой практике ARP 1533B. Также его можно получить в лабораторных условиях путем проведения первого измерения (m1) при помощи калибровочного газа CO<sub>2</sub> в N<sub>2</sub> ([O<sub>2</sub>]=0) в соответствующем диапазоне измерений анализатора и второго измерения (m2) при помощи испытательного газа с высокой концентрацией O<sub>2</sub>. Коэффициент J можно рассчитать с помощью следующего уравнения:

$$J = ([\text{CO}_2]_{\text{m1}} / [\text{CO}_2]_{\text{m2}} - 1) / [\text{O}_2].$$

Вместе с тем часто анализаторы тарируются изготовителем приборов для того, чтобы автоматически корректировать воздействие  $O_2$ . Перед тем, как проводить любые корректировки, необходимо выяснить, существуют ли уже подобные автоматические корректировки.

*Анализаторы CO и CO<sub>2</sub>*

- a) *Время срабатывания:* [Зарезервировано]
- b) *Температура пробы газа:* нормальным режимом работы является анализ пробы газа в необработанном, "влажном" состоянии. Для этого необходимо, чтобы элемент, заполненный отобранным газом, и другие компоненты этой подсистемы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, сохраняли постоянную температуру не менее 50 °C при стабильности  $\pm 2$  °C. Допускается измерение CO и CO<sub>2</sub> в сухом состоянии (с использованием соответствующих водоотделителей); в этом случае разрешается использовать ненагретые анализаторы, при этом нет необходимости определять пределы интерференции для паров H<sub>2</sub>O, однако требуется введение поправок на влажность окружающего воздуха и на содержание водяных паров в продуктах горения.

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Стабильность определяется в значениях интервала времени, который (в связи с наличием заданного температурного режима) может быть принят за длительность испытаний или за один час, что позволит соответствовать ограничениям по стабильности, накладываемым на систему обнаружения.

Температура, упоминаемая для подсистем CO и CO<sub>2</sub> (50 °C), находится в самом низу спецификации для пробоотборной линии (65 °C  $\pm$  15 °C). В соответствии с общепринятой практикой температура подсистемы будет примерно такая же, как и температура пробы газа. Если пробы высушены, а анализаторы не нагреты, то целесообразно будет снизить температуру пробы до температуры анализатора. Если вода удалена до проведения анализа, то необходимо ввести соответствующие поправки для того, чтобы скомпенсировать потерю воды в водяных парах горения и входящих водяных парах. Методики выполнения поправок подробно описаны в дополнении F к добавлению 3.

- c) *Калибровочные кривые:*
  - i) Анализаторы с линейными характеристиками выходного сигнала проверяются во всех рабочих диапазонах с использованием калибровочных газов в известных концентрациях примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. Максимальное отклонение характеристик срабатывания анализатора в любой из этих точек от прямой линии, подобранной по методу наименьших квадратов для этих точек и нулевого показания, не превышает  $\pm 2$  % от величины полной шкалы. Если это не обеспечивается, то строится калибровочная кривая для практического применения.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

Аппроксимация прямой линий для набора линейных данных может быть получена и графически, и аналитически. В случае использования графического метода результаты подвергаются определенной интерпретации, т. е. индивидуальной оценке "на глаз". В случае использования аналитического метода существует

уверенность в том, что в каждом отдельном случае все данные будут оценены таким же образом, как и в предыдущий раз. Наиболее целесообразно применять метод линейной регрессии или аппроксимацию методом наименьших квадратов к линии. Значения калибровочных газов являются независимыми "переменными", и принимается, что они верны (т. е. имеют пренебрежимо малую погрешность) для целей данного анализа. Значения реакции прибора являются "зависимыми" переменными, поэтому принимается, что они имеют погрешности и что данные погрешности имеют нормальное (Гауссово) распределение по истинной линии. Ниже приведено уравнение прямой линии:

$$y_i = A + B \cdot x_i,$$

истинное значение реакции  $y_i = A$  (постоянная) +  $B$  (другая постоянная) \* (значение калибровочного газа  $x_i$ )

Для приборов, настроенных таким образом, что нулевые входные значения дают нулевые выходные значения, и где известно, что дисперсия пропорциональна показаниям, можно продемонстрировать, что наклон, характеризуемый значением  $B$ , равен отношению средних величин и может быть выражен следующим образом:

$$\frac{\bar{y}}{\bar{x}}.$$

Часто величины  $A$  и  $B$  не являются простыми значениями, характеризующими точку пересечения с осью и угол наклона, и их необходимо рассчитывать, как если бы не было известно, что дисперсия пропорциональна реакции прибора. И опять же, если мы выставляем прибор на ноль для нулевого значения газа на входе, тогда  $A = 0$ , что некоторым образом упрощает расчеты. Обобщенное уравнение для величины  $B$  можно найти в любом тексте по элементарной статистике или по анализу погрешностей, и оно выглядит следующим образом:

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2},$$

где  $x_i$  – это значение калибровочного газа;  $y_i$  – реакция прибора;  $N$  – количество точек, использованных для анализа.

При  $N = 4$ , что соответствует 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы, данное равенство может быть записано следующим образом:

$$B = \frac{4 \sum_{i=1}^4 x_i y_i - \sum_{i=1}^4 x_i \sum_{i=1}^4 y_i}{4 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^4 x_i \right)^2}.$$

Для упрощения расчетов можно использовать простую таблицу по значениям четырех параметров, которая позволит систематизировать информацию:



Номер измерения $i$	$X_i$ i-е значение калибровочного газа	$Y_i$ i-я реакция	$X_i^2$	$X_i Y_i$
1				
2				
3				
4				
$N = 4$	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i Y_i$

Если прибор не выставлен на ноль-ноль (нулевая реакция на нулевые входные данные), тогда необходимо определить величину А. Уравнение для вычисления величины А (при  $N = 4$ ) выглядит следующим образом:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^4 x_i \sum_{i=1}^4 y_i}{4 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^4 x_i \right)^2}$$

Для систематизации записи элементов данного уравнения можно также использовать таблицу, приведенную выше.

Обычно следующим шагом будет расчет неопределенности  $u_i$  в отношении данной линии. Тем не менее вместо того, чтобы контролировать неопределенность по всей линии, ИКАО решила установить ограничение в абсолютных величинах, равное  $\pm 2\%$  отклонения от полной шкалы, для каждой точки. Это должно четко указать на преимущество использования верхней области (верхние 30 %) диапазона для всех измерений.

- ii) Для анализаторов с нелинейными характеристиками выходного сигнала, а также для тех анализаторов, которые не отвечают приведенным выше требованиям к линейности, подготавливаются калибровочные кривые, построенные для всех рабочих диапазонов с использованием калибровочных газов в известных концентрациях примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. При необходимости используются дополнительные смеси для точного определения вида кривой.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

Для анализаторов с нелинейными характеристиками выходного сигнала должны быть подготовлены калибровочные кривые опять же с использованием калибровочных газов примерно на 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. Если в итоге получена, по сути, нелинейная кривая, то рекомендуется использовать дополнительные калибровочные газы со значениями, попадающими между указанными величинами. Данные калибровочные кривые можно определить аналитически, используя аппроксимацию по методу наименьших квадратов, но в этом случае аппроксимация будет выполняться по полиномиальной или экспоненциальной кривой. Уравнения для выполнения такой аппроксимации можно найти в любом тексте по статистике или по анализу погрешностей. Необходимо отметить, что при выполнении аппроксимации экспонентой часто бывает удобно работать с логарифмом выражения, что сводит решение к выполнению аппроксимации по методу

наименьших квадратов, как описано выше. (Данная методика используется для анализа дымовых фильтров в соответствии с требованиями п. 3.0 добавления 2). Хотя это явно не отмечено, но подразумевается, что отклонение реакции на  $\pm 2\%$  от полной шкалы справедливо не только для приборов для нелинейных, но и для приборов для линейных измерений. Использование распределителя газа является приемлемым альтернативным методом получения и сохранения дополнительных газовых ресурсов.

В таблице 2-1 обобщены технические требования для анализаторов CO и CO<sub>2</sub>. Эти требования являются характерными для анализаторов, поставляемых крупнейшими изготовителями анализаторов.

**Таблица 2-1. Технические требования к анализатору NDIR**

Параметр	Значение	
	CO <sub>2</sub>	CO
Полный диапазон измерения	0–10 % в соответствующих интервалах измерения	0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения
Разрешающая способность	менее 0,5 % от всего используемого диапазона измерения или 100 ppm, в зависимости от того, что больше	менее 0,5 % от всего используемого диапазона измерения или 1 ppm, в зависимости от того, что больше
Повторяемость	менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 100$ ppm, в зависимости от того, что больше	менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 2$ ppm, в зависимости от того, что больше
Стабильность	менее $\pm 2\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 100$ ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше	менее $\pm 2\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 2$ ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше
Дрейф нуля	$< \pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 100$ ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше	$< \pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 2$ ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше
Шум	$> 0,5$ Гц, $< \pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 100$ ppm, в зависимости от того, что больше	$> 0,5$ Гц, $< \pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения или $\pm 1$ ppm, в зависимости от того, что больше
Интерференция	$\leq 2\%$ от показания при изменении содержания O <sub>2</sub> от 0 до 21 %	$< 500$ ppm на каждый процент концентрации этилена $< 2$ ppm на каждый процент концентрации CO <sub>2</sub> $< 2$ ppm на каждый процент концентрации водяных паров
Время срабатывания	$\leq 10$ с с момента ввода пробы в прибор до отклонения стрелки на 90 % от всего диапазона	$\leq 10$ с с момента ввода пробы в прибор до отклонения стрелки на 90 % от всего диапазона
Температура пробы	для проб во "влажном" состоянии $\geq 50$ °C стабильность $\pm 2\%$	для проб во "влажном" состоянии $\geq 50$ °C стабильность $\pm 2\%$

### ДОПОЛНЕНИЕ С К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ NO<sub>x</sub>

*Примечание. Информацию о тарировочных и испытательных газах см. в дополнении D.*

- 1) [Зарезервировано]
- 2) [Зарезервировано]

**Меры предосторожности.** Указанные технические требования к характеристикам относятся в основном к полной шкале анализатора. Ошибки на части шкалы могут составлять значительно бóльшую долю в процентах от показаний. При подготовке к проведению измерений учитываются возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

#### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Требования к характеристикам этих анализаторов, относящиеся к показаниям в полном интервале измерений, могут оказывать значительное отрицательное влияние на измерения в части шкалы. Это необходимо учитывать при планировании и проведении испытаний, а также при оценке точности измерений после проведения испытаний. При смене режима с малого газа на взлетный режим концентрация NO<sub>x</sub> может меняться в десятки раз. В целом, если известно, что концентрация веществ, подлежащих измерению, меняется таким образом, то всегда целесообразно использовать многодиапазонный прибор и подбирать интервалы измерения таким образом, чтобы измерения приходились на верхние 30 % шкалы в используемом диапазоне. Измерение, выполненное на 20 % полной шкалы, может привести к погрешности, в пять раз превышающей погрешность, определенную как процент от полной шкалы. Это общая мера предосторожности. Некоторые современные приборы, имеющие встроенные функции электронного установления шкалы измерений и тарировки, могут использоваться во всем своем диапазоне без ухудшения характеристик. Следует также проводить, при необходимости, калибровку измерений в каждом используемом диапазоне.

3. К основным техническим характеристикам, определяемым для прибора, работающего при температуре окружающей среды, стабильной в пределах 2 °С, относятся следующие:
  - а) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.

#### ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Принимая во внимание концентрацию выбросов NO<sub>x</sub> современных двигателей, анализаторы с низким полным интервалом измерений (обычно 0–1000 ppm) могут считаться приемлемыми.

- b) *Разрешающая способность*: [Зарезервировано].
- c) *Повторяемость*: [Зарезервировано].
- d) *Стабильность*: [Зарезервировано].
- e) *Дрейф нуля*: [Зарезервировано].
- f) *Шум*: [Зарезервировано].
- g) *Интерференция*: [Зарезервировано].
- h) *Время срабатывания*: [Зарезервировано].
- i) *Линейность*: [Зарезервировано].
- j) *Конвертер*: проектируется и эксплуатируется таким образом, что содержащаяся в пробе  $\text{NO}_2$  эффективно преобразуется в  $\text{NO}$ , первоначально содержащуюся в пробе.

Коэффициент полезного действия (кпд) конвертера составляет не менее 90 %.

Это значение кпд используется для приведения количества  $\text{NO}_2$ , содержащегося в пробе (т. е.  $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$ ), к тому количеству, которое было получено, если бы кпд не составлял 100 %.

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА

Необходимо следовать методикам изготовителей анализаторов  $\text{NO}_x$  по определению кпд конверторов  $\text{NO}_2$ , если таковые имеются. В качестве альтернативы (помимо оцениваемого анализатора  $\text{NO}_2$ ) можно использовать доступный в продаже тестер конвертера  $\text{NO}_2$ .

Третьей альтернативой, которая описана ниже, является использование методики, которая раньше была обязательной в соответствии с разделом 40CFR части 87 "Контроль загрязнения воздуха воздушными судами и авиационными двигателями" Агентства по охране окружающей среды США, а затем была включена в авиационную рекомендуемую практику ARP 1256 "Методика непрерывного отбора проб и измерения эмиссии газообразных веществ авиационными газотурбинными двигателями" SAE. В данной методике (в соответствии с описанием) используется прибор, который необходимо приобрести и собрать из комплектующих частей, а также значительный объем ручной настройки. И, тем не менее, практическая польза и универсальность данного прибора безусловна, принимая во внимание весь спектр его применения, для которого Агентство по охране окружающей среды либо требует его использования, либо допускает его использование в рамках альтернативной методики, например для наземных транспортных средств и систем непрерывного мониторинга выбросов от стационарных источников.

На рис. 2-6 схематично изображен данный прибор. Предполагается, что этот прибор должен использоваться совместно с анализатором  $\text{NO}_x$ , описанным в дополнении С. Принцип его действия основан на реакции  $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$ .

При известной концентрации  $\text{NO}$  в  $\text{N}_2$  измерения проводятся через (и обходя) конвертер хемилюминесцентного анализатора, вход в который обозначен на рис. 2-6 как "С3". Кпд конвертера анализатора может

быть определен при включении озонатора конвертера  $\text{NO}_x$  (что позволяет снизить концентрацию  $\text{NO}$  примерно на 80 %) и его выключении (что позволяет  $\text{NO}$  достигать анализатора в 100 % концентрации). Полученный кпд должен быть использован для внесения поправок в данные, если это требуется.

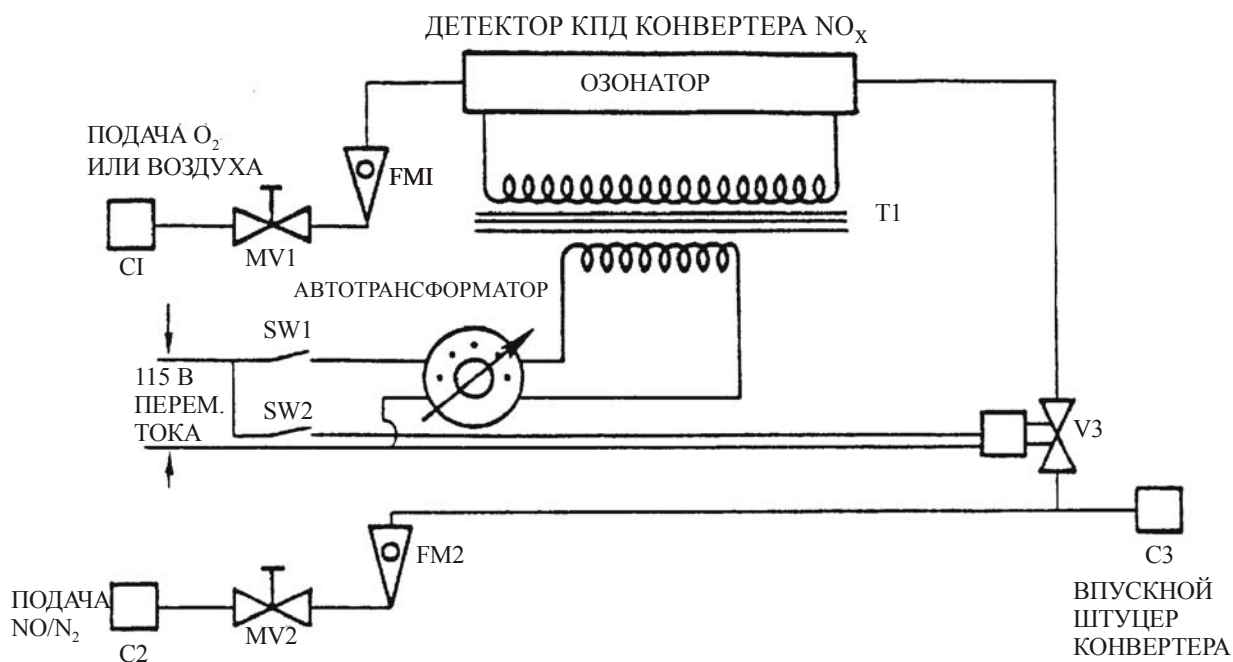


Рис. 2-6. Детектор кпд конвертера  $\text{NO}_x$

Ниже приведены конкретные инструкции по использованию прибора:

- i) Подсоедините источник  $\text{NO}/\text{N}_2$  (150–250 ppm) к "C2", источник  $\text{O}_2$  к "C1", а впускной штуцер анализатора к детектору кпд через C3. Если используется  $\text{NO}$  в пониженной концентрации, то вместо  $\text{O}_2$  можно использовать воздух, что позволит лучше контролировать  $\text{NO}_2$ , вырабатываемый на этапе (iv).
- ii) При выключенном автотрансформаторе детектора кпд переведите конвертер  $\text{NO}_x$  в режим обхода и закройте клапан "V3". Откройте клапан "MV2" и держите его открытым до тех пор, пока не будет обеспечен достаточный поток и не установятся стабильные показания анализатора. Задайте нулевое значение и диапазон измерений устройства вывода анализатора, для того чтобы отобразить используемое значение концентрации  $\text{NO}$ . Запишите это значение концентрации.
- iii) Откройте клапан V3 (двухпозиционный соленоидный клапан управления потоком  $\text{O}_2$ ) и отрегулируйте клапан "MV1" (регулятор подачи  $\text{O}_2$ ) для добавления  $\text{O}_2$  в объеме, достаточном для снижения концентрации  $\text{NO}$  (ii) примерно до 10 %. Запишите это значение концентрации.
- iv) Включите озонатор и увеличивайте его напряжение питания до тех пор, пока концентрация  $\text{NO}$ , полученная на этапе (iii), не снизится примерно до 20 % от значения, полученного на этапе (ii). Теперь  $\text{NO}$  образуется в результате реакции  $\text{NO} + \text{O}_2$ . На данном этапе всегда присутствует как минимум 10 % непрореагировавшего  $\text{NO}$ . Запишите это значение концентрации.

- v) После того как на этапе (iv) установятся стабильные показания, переведите конвертер  $\text{NO}_x$  в режим преобразования. Анализатор теперь будет показывать суммарное значение концентрации  $\text{NO}_x$ . Запишите это значение концентрации.
- vi) Выключите озонатор и дождитесь стабилизации показаний анализатора. Смесь  $\text{NO} + \text{O}_3$  все еще проходит через конвертер. Это показание соответствует суммарной концентрации  $\text{NO}_x$  в разбавленном калибровочном газе  $\text{NO}$ , который использовался на этапе (iii). Запишите это значение концентрации.
- vii) Закройте клапан V3. Значение концентрации  $\text{NO}$  должно быть равно или больше показания, полученного на этапе (ii), что будет свидетельствовать о том, содержится ли какое-то количество  $\text{NO}_2$  в  $\text{NO}$  или нет.

Рассчитайте КПД конвертера  $\text{NO}_x$ , подставив полученные в процессе испытаний значения концентрации в следующее уравнение:

$$\% \text{ КПД} = [(v)-(iv)] / [(vi)-(iv)] \times 100 \%$$

В целях повышения эффективности работы тепловых конвертеров (особенно тех конвертеров, которые имеют КПД менее 90 %) иногда целесообразно повысить температуру конвертера.

## ДОПОЛНЕНИЕ D К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТАРИРОВОЧНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ГАЗЫ

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Тарировочные и испытательные газы обычно поставляются коммерческими компаниями, занимающимися газами специального назначения, и их происхождение можно отследить до соответствующего Национального института метрологии (NMI), например NIST в США, NPL в Великобритании, NMI в Нидерландах или KRISS в Республике Корея. Эти институты работают в тесном сотрудничестве, для того чтобы обеспечивать и повышать точность стандартов на первичные газы.

За редким исключением, никакой тарировочный газ нельзя получить напрямую от NMI (хотя их и можно отследить до соответствующего NMI).

Отслеживаемость обеспечивается путем соответствия строгому протоколу, который устанавливает уровень неопределенности для концентрации газа (в цилиндрах высокого давления), предоставляемого компаниями (поставщиками), занимающимися газами специального назначения, относительно стандартного газа, который поддерживается в NMI.

В США назначенным NMI является NIST. NIST вырабатывает и поддерживает стандартные эталонные материалы (SRM), а также использует высокоточный аналитический метод ( $\leq 0,5\%$ ) для определения и валидации уровня неопределенности для газов, предоставляемых поставщиками. В соответствии с процедурой валидации требуется, чтобы поставщик проверил все газовые цилиндры в партии продукции и передал полученные данные в NIST, где (после анализа и одобрения данных) будет произведен отбор (случайным образом) 10 % цилиндров, которые будут проверены NIST. После этого NIST сертифицирует партию на

основании данных, полученных от поставщика и по результатам проверки NIST. Как только цилиндры прошли сертификацию, поставщик может либо продать эти цилиндры как NTRM – эталонный материал (RM), отслеживаемый до NIST, либо использовать их для производства отслеживаемых тарировочных газов других категорий. В описании программы проверки поставщиков протокольных газов EPA, подготовленном NIST, уровень неопределенности данной процедуры валидации описан следующим образом: "Если уровни неопределенности, полученные аналитически NIST ( $\leq 0,5\%$ ) и поставщиками газов ( $\leq 1,0\%$ ), достоверны и не приводят к ошибочному пониманию., то разница между результатами проведенного NIST анализа и сертифицированными поставщиком показателями концентрации проверяемых смесей должна быть в идеальном случае  $\leq 1,0\%$  в относительном выражении, а в худшем случае – не больше  $2\%$  в относительном выражении".

В Европе различные национальные институты метрологии используют сходные концепции точных стандартов, отслеживаемых в национальном масштабе тарировочных газов. Национальная физическая лаборатория (NPL) в Соединенном Королевстве подготавливает и поддерживает характеристики первичных стандартных газовых смесей (PSM), которые готовятся по абсолютным методам гравиметрии и производятся на основании прямых сравнений с национальными измерительными стандартами. Пользующиеся хорошей репутацией поставщики предоставляют смеси тарировочных газов по стандартам на газы вторичной очистки, используя сравнение с PSM ( $< 0,1\%$ ), и первичные смеси градуировочных газов ( $< 0,3\%$ ), полученные от NPL. Эти стандарты на газы вторичной очистки вносят долю неопределенности в диапазоне от  $\pm 0,5$  до  $\pm 1\%$  (95-процентный уровень достоверности). Эти стандарты обычно имеют маркировку согласно ИСО 6141 и соответствуют другим соответствующим техническим требованиям ИСО.

В связи с требуемой точностью и сложностью методов изготовления и анализа газов (на соответствие требуемым стандартам) большинство изготовителей двигателей опираются на данные анализа и сертификации отслеживаемости и уровня неопределенности, проведенных коммерческими поставщиками, и используют внутренние проверки, основанные на реакции прибора, для обеспечения состоятельности анализа. Целесообразно проверять все тарировочные и испытательные газы после их получения от поставщика и до их использования в качестве рабочих газов. Обычно это также прописано в существующих процедурах внутренней проверки в целях проведения периодической тарировки различных анализаторов.

В Приложении 16 технические требования в отношении точности тарировочных газов равны  $\pm 2\%$ , в то время как в рекомендуемой практике ARP 1256D это требование равно  $\pm 1\%$ . В Приложении 16 прописано более высокое значение по той причине, что изготовителям двигателей сложно выполнять перекрестную проверку сертифицированных значений, получаемых от поставщиков газов, с погрешностью менее  $2\%$ .

В Приложении 16 не содержится информация об особых проблемах, которые возникают при работе с газовыми цилиндрами. Особенно проблематичным может оказаться обеспечение стабильности работы цилиндров с очень низкой концентрацией газов. Даже принимая во внимание то, что поставщики очень внимательно относятся к изготовлению и подготовке цилиндров перед их заполнением, цилиндры могут иметь какие-то дефекты, которые приводят к изменению концентрации после передачи цилиндров поставщиком. К тому же практика заполнения бездефектных цилиндров соответствующим газом высокой концентрации и под высоким давлением может привести к поверхностному поглощению части газа, которая остается в цилиндре после его промывки и заполнения газом низкой концентрации. Определенное количество поглощенного газа может высвободиться при падении давления в цилиндре и при повышении температуры цилиндра.

Хотя горючие газы, используемые в FID, не являются тарировочными газами (да и, строго говоря, испытательными газами), они также должны соответствовать техническим характеристикам углеводородов. Для топливных смесей водорода/азота или водорода/гелия полное содержание углеводородов должно быть  $< 1$  ppmC. Окислителем должен служить нулевой воздух без содержания или с минимальным содержанием углеводородов ( $< 1$  ppmC).

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Смеси и состав тарировочных и испытательных газов различаются в документе ARP 1256D и дополнении D Приложения 16. В Приложении в качестве охладителя для испытательных газов, используемых для измерения CO и CO<sub>2</sub>, указан нулевой воздух, а в рекомендуемой практике ARP 1256D рекомендуется использовать нулевой азот (азот в качестве охладителя) в качестве предпочтительного испытательного газа для настройки диапазона анализатора NDIR, что позволит избежать необходимости вводить поправки на воздействие кислорода при определении или проверке калибровочной кривой анализатора.

Необходимо отметить, что выхлоп двигателя содержит значительные концентрации O<sub>2</sub>, поэтому при измерении CO<sub>2</sub> необходимо вводить поправки на воздействие O<sub>2</sub>. Тем не менее часто анализаторы тарируются изготовителем прибора, для того чтобы обеспечить автоматическую корректировку воздействия O<sub>2</sub>. Перед тем как проводить любые корректировки, необходимо выяснить, предусмотрены ли уже подобные автоматические корректировки.

В случае, если нулевой азот используется в качестве нулевого газа, он должен быть азотом высокой степени чистоты (99,99 % азота или более), содержащим менее 1 ppm C, 1 ppm CO, 100 ppm CO<sub>2</sub> и 1 ppm NO<sub>x</sub>.

### ДОПОЛНЕНИЕ Е К ДОБАВЛЕНИЮ 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭМИССИИ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНЕСЕНИЕ ПОПРАВОК В РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ЧИСЛОВОЙ МЕТОД

#### 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

...

$L, L'$  – коэффициент интерференции анализатора для интерференции CO<sub>2</sub>

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- $L$  – это влияние интерференции CO<sub>2</sub> на результаты измерения концентрации CO, выраженные в значениях дрейфа нуля;
- $L'$  – это влияние интерференции CO<sub>2</sub> на результаты измерения концентрации NO и NO<sub>x</sub>, выраженные в значениях изменения чувствительности.

*Примечание. Значения данных эффектов интерференции различны для каждого анализатора, поэтому должны определяться для каждого анализатора.*

$M, M'$  – коэффициент интерференции анализатора для интерференции H<sub>2</sub>O



## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

$M$  – это влияние интерференции  $H_2O$  на результаты измерения концентрации  $CO$ , выраженные в значениях смещения нуля;

$M'$  – это влияние интерференции  $H_2O$  на результаты измерения концентрации  $NO$  и  $NO_x$ , выраженные в значениях изменения чувствительности.

*Примечание. Значения данных эффектов интерференции различны для каждого анализатора, поэтому должны определяться для каждого анализатора.*

### 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ EI И AFR

2.1 Предполагается, что баланс между первоначальным состоянием топливоздушнoй смеси и результирующим состоянием отобранной выхлопной эмиссии может быть выражен с помощью следующего уравнения:

...

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{\text{ВОЗДУХА}}}{mM_C + nM_H} \right).$$

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Данная формула немного отличается от формулы расчета AFR, приведенной в п. 7.1.2 "Основные параметры" добавления 3. В данной формуле параметр  $m$  ("количество атомов C в характеристической молекуле топлива") внесен в скобки. Использование той или другой формулы никакого особого преимущества не дает.

2.2 [Зарезервировано]

2.3 [Зарезервировано]

2.4 [Зарезервировано]

2.5 Эффекты интерференции в основном обусловлены наличием  $CO_2$  и  $H_2O$  в пробе, которые могут совершенно различным образом повлиять на работу анализаторов  $CO$  и  $NO_x$ . Анализатор  $CO$  подвержен эффекту смещения нуля, а анализатор  $NO_x$  – эффекту изменения чувствительности, что учитывается следующими выражениями:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

и  $[NO_x]_c = [NO_x]_{cm}(1 + L'[CO_2] + M'[H_2O]).$

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

При наличии эффекта смещения нуля взаимодействующие вещества вызывают изменения в измерениях, которые не зависят от измеренной концентрации. Это справедливо для влияния  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  на  $\text{CO}$ .

При наличии эффекта изменения чувствительности взаимодействующие вещества видоизменяют кривую реакции анализатора; таким образом, данный эффект пропорционален измеренной концентрации. Это справедливо для влияния  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  на  $\text{NO}$ .

*Примечание. Значения данных эффектов интерференции различны для каждого анализатора, поэтому должны определяться для каждого анализатора.*

2.6 [Зарезервировано]

### 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ [Зарезервировано]

#### 4. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД: ЧИСЛОВОЕ РЕШЕНИЕ

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Подробное описание различных методик расчета можно найти в авиационной рекомендуемой практике (ARP) 1533В "Методика анализа и оценки эмиссии газообразных веществ авиационными двигателями" SAE. Помимо всего прочего ARP 1533В содержит выводы уравнений, уравнение химической реакции горения, а также матричный метод решения уравнения химической реакции горения.

### ДОПОЛНЕНИЕ F К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

В соответствии с требованиями, изложенными в п. 3.2 добавления 3, кроме измеренной концентрации компонентов отобранного газа, требуются также следующие данные:

- a) температура на входе: [Зарезервировано];
- b) влажность на входе (кг воды/кг сухого воздуха): измеряется в точке, расположенной в пределах 50 м по направлению от входного сечения воздухозаборника двигателя, с точностью  $\pm 5\%$  или  $\pm 0,000317$  кг воды/кг сухого воздуха, в зависимости от того, что больше.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Первоначально в томе II Приложения 16 содержалось требование измерять влажность в пределах 15 м от входного сечения воздухозаборника двигателя, но теперь данные пределы увеличились до 50 м на основании исследований измерений влажности, которые на текущий момент используются для испытаний работы двигателя. Данные измерения проводятся с целью измерить репрезентативную влажность воздуха, который будет входить в двигатель из вышерасположенной части потока, отсюда и формулировка "по направлению от входного сечения воздухозаборника двигателя" в Приложении.

Выбор подходящей площадки для измерения влажности зависит от топографии места проведения испытаний, преобладающих ветров и стендов для испытаний воздухозаборников. Исследование мест проведения испытаний изготовителями двигателей показало, что обычно измерения характеристик влажности производятся в пределах 50 м от воздухозаборника двигателя, поэтому требуемое расстояние между прибором измерения влажности и двигателем было увеличено (чтобы сделать возможным использование приборов, регистрирующих параметры работы).

Требование к точности измерений влажности также было изменено с " $\pm 5\%$ " на " $\pm 5\%$  от измеренной величины или  $\pm 0,000317$  кг воды/кг сухого воздуха, в зависимости от того, что больше". Это изменение было сделано для того, чтобы сделать возможным использование современных приборов измерения влажности, которые не могут поддерживать точность  $\pm 5\%$  при очень низких уровнях влажности. На практике изготовители двигателей выяснили, что реально достигаемая точность при штатной работе более новых систем столь же приемлема, как и при работе более старых систем.

При большинстве условий эксплуатации данные приборы имеют значительно более высокую точность измерения влажности, чем требуемые  $\pm 5\%$ ; однако точность данных измерений может быть больше  $\pm 5\%$  при очень низкой относительной влажности (при содержании в воздухе малого количества воды). Тем не менее в таких случаях влияние степени неопределенности по влажности имеет наименьшее влияние на заявленные значения эмиссии.

Более низкая граница точности была выбрана равной  $\pm 0,000317$  кг воды/кг сухого воздуха. Это соответствует  $\pm 5\%$  при стандартной эталонной влажности, равной  $0,00634$  кг воды/кг сухого воздуха. При использовании данной более низкой границы точности точность поправки на влажность находится в пределах  $\pm 0,604\%$ .

### **ДОБАВЛЕНИЕ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТОПЛИВУ, ИСПОЛЬЗУЕМОМУ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЭМИССИЮ**

Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4, за исключением тех случаев, когда сертифицирующий орган согласился с отклонением или необходимыми корректировками. Топливо не содержит присадок, используемых для подавления дыма (таких, как металлоорганические соединения).

## ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МЕТОДИКА

Следует как можно ранее представить сертифицирующему полномочному органу соответствующие материалы для обоснования любого отклонения от требований к топливу, указанных в добавлении 4.

Отклонение может быть принято, если будет доказано, что имеющееся местное топливо не отвечает техническим требованиям. В таком случае может допускаться использование местного топлива при условии обоснования поправок для компенсации влияния отклонения от требований на измеряемые уровни эмиссии. Данные измерений должны затем корректироваться для сопоставления с предельными параметрами требований к топливу, указанными в добавлении 4. Поправки будут, как правило, приниматься, если величина поправки к данным измерений является малой в сравнении с допуском на сертификационные ограничения.

Поправки к объявленным уровням эмиссии, связанные с отклонением параметров топлива при испытаниях, должны основываться на результатах испытаний двигателя или стендовых испытаний, которые относятся к конкретному типу камеры сгорания и подкрепляются, при необходимости, анализом их достоверности. Поправки должны быть консервативными, особенно в тех случаях, когда для конкретного типа сертифицируемой камеры сгорания данные испытаний отсутствуют. Изготовители должны избегать использования видов топлива, которые являются высоко гидрированными или получены на основе синтеза.

Отклонения от технических требований к топливу и соответствующие поправки должны быть согласованы с сертифицирующим полномочным органом.

## **ДОБАВЛЕНИЕ 5. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФОРСАЖНОЙ КАМЕРОЙ**

[Зарезервировано]

## **ДОБАВЛЕНИЕ 6. ПОРЯДОК ДЕМОНСТРАЦИИ СООТВЕТСТВИЯ ПО ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ И ДЫМУ**

### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

При соблюдении нормативных уровней, указанных в пп. 2.2, 2.3, 3.2 и 3.3 части III, придерживаются следующих общих принципов:

- a) [Зарезервировано]
- b) [Зарезервировано]
- c) [Зарезервировано]
- d) [Зарезервировано]
- e) [Зарезервировано]
- f) представленные для испытаний двигателя имеют эмиссионные характеристики, которые в целом типичны для сертифицируемого типа двигателя. Однако по крайней мере один из двигателей должен в значительной мере соответствовать конфигурации серийного образца данного типа двигателя и

обладать всеми типичными эксплуатационными и техническими характеристиками. Этот двигатель заявляется в качестве исходного стандартного двигателя. Методы внесения правок в этот исходный стандартный двигатель относительно любых других опробованных двигателей утверждаются национальным полномочным сертифицирующим органом. Методы внесения правок в результаты испытаний относительно окружающих условий приводятся соответственно в п. 7 добавления 3 или п. 7 добавления 5.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В соответствии с п. 1 f) добавления 6 тома II Приложения 16 ИКАО сказано, что "исходный стандартный двигатель" "должен в значительной мере соответствовать конфигурации серийного образца данного типа двигателя и обладать всеми типичными эксплуатационными и техническими характеристиками". В соответствии с п. 7 добавления 3 (или добавления 5, в зависимости от того, что применимо) характеристики "исходного стандартного двигателя" должны быть оценены в условиях МСА на уровне моря. В п. 7.2.2 добавления 3 тома II Приложения 16 ИКАО особо отмечено, что зависимости между  $W_f$  и  $T_B$ , а также между  $F_n$  и  $T_B$  могут быть получены с помощью апробированной модели характеристик двигателя. Таким образом, учитывая, что характеристики стандартного двигателя могут быть получены на основании измерений, проведенных на "реальном двигателе" или на нескольких "реальных двигателях" в указанной выше конфигурации (соответствующим образом скорректированных по условиям внешней среды), то равным образом может быть использована и "модель характеристик", основанная на измерениях, проведенных на одном или больше реальных двигателях.

"Модель характеристик" (называемая еще программой расчета характеристик или периодической программой) является компьютерной программой, которая предоставляет подробную информацию о воздушном потоке, расходе топлива, температуре, давлении и числе оборотов вала для всех элементов двигателя и которая при этом соответствует применимой отраслевой практике (например, соответствующим частям авиакосмического стандарта AS681 SAE). Возможны разные методы расчетов, но на практике на сегодняшний день данная программа рассчитывает весовую, энергетическую и импульсную балансировку при помощи специальных карт характеристик агрегатов и спектров потоков наружного контура. "Модель характеристик" калибруется в соответствии с данными, полученными при испытаниях двигателя (значения скорости, температуры, давления) и применимыми для конкретной модели двигателя, исследуемой в различных условиях внешней среды и высотных условиях. "Модель характеристик" анализируется в статических условиях МСА на уровне моря без отбора воздуха или дополнительной нагрузки, за исключением того, что необходимо для базовой работы двигателя.

Модель характеристик может быть использована для получения зависимостей между  $W_f$  и  $T_B$ , между  $F_n$  и  $T_B$ , а также между  $P_B$  и  $T_B$ , которые необходимы для определения "исходного стандартного двигателя".

"Модель характеристик" может быть создана на основе данных, полученных от двигателей, которые использовались для испытаний на эмиссию. Также модель характеристик может быть разработана на основе данных, полученных от двигателей сходной конструкции. В данном случае может быть продемонстрировано, что связанные параметры эмиссии ( $T_3$ ,  $P_3$ ,  $W_f$ ,  $F_n$ ), полученные от двигателей, которые использовались для испытаний на эмиссию, и скорректированные по тем же самым условиям внешней среды, а также учитывая такие явления, как ухудшение характеристик, вполне соответствуют параметрам, полученным при помощи "модели характеристик".





